



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

FLORE

Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

Alcune precisazioni sul consolidamento degli edifici storici

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

Original Citation:

Alcune precisazioni sul consolidamento degli edifici storici / S. Van Riel. - STAMPA. - (2012), pp. 24-34.

Availability:

The webpage <https://hdl.handle.net/2158/824075> of the repository was last updated on

Publisher:

ALINEA EDITRICE

Terms of use:

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

Publisher copyright claim:

La data sopra indicata si riferisce all'ultimo aggiornamento della scheda del Repository FloRe - The above-mentioned date refers to the last update of the record in the Institutional Repository FloRe

(Article begins on next page)



MAURIZIO DE VITA

ARCHITETTURE RURALI DELLA TOSCANA

ESPERIENZE DI UN LABORATORIO DI RESTAURO



ALINEA
EDITRICE

© Alinea editrice s.r.l. – Firenze 2012
Via Pierluigi da Palestrina 17/19 rosso 50144 Firenze
Tel +39 055333428 – Fax +39 0556285887

*Tutti i diritti sono riservati:
nessuna parte di questa pubblicazione
può essere riprodotta in alcun modo
(compresi fotocopie e microfilms)
senza il permesso scritto della Casa Editrice*

ordini@alinea.it
info@alinea.it
www.alinea.it

ISBN 978-88-6055-721-6
Finito di stampare nel mese di luglio 2012

Progetto di layout
Adriana Toti

Layout
Laura Fanfani

Stampa
Digital Book srl. - Città di Castello (Perugia)
www.stampalibridigitale.it

MAURIZIO DE VITA

con un contributo di SILVIO VAN RIEL

ARCHITETTURE RURALI DELLA TOSCANA

ESPERIENZE DI UN LABORATORIO DI RESTAURO

con la collaborazione di Laura Fanfani e Simone Bragaloni

AALINEA
EDITRICE

INDICE

Maurizio De Vita

UN LABORATORIO PER LA CONOSCENZA E IL RESTAURO DI EDIFICI RURALI	pag. 7
1. <i>Il Laboratorio di Restauro Architettonico: alcune considerazioni generali</i>	pag. 7
2. <i>Il Laboratorio di Restauro: riferimenti e indicazioni di metodo – la questione degli edifici rurali storicizzati</i>	pag. 10
3. <i>Il percorso del progetto per il Laboratorio di Restauro: aspetti tematici ed operativi</i>	pag. 15
4. <i>Riflessioni e indicazioni sintetiche finali</i>	pag. 22

Silvio Van Riel

ALCUNE PRECISAZIONI SUL CONSOLIDAMENTO DEGLI EDIFICI STORICI	pag. 24
---	---------

SCHEDE DI LAVORI SVOLTI PER IL LABORATORIO DI RESTAURO – FACOLTÀ DI ARCHITETTURA DI FIRENZE	pag. 35
1. Edificio rurale a San Vincenzo, Montespertoli (FI) – <i>Dario Arnone, Francesca Bastiani</i>	pag. 36
2. Edificio rurale a Pozzolatico, Impruneta (FI) – <i>Maria Carmela Baldassarra, Marta Caruso, Ilaria Festa, Tamara Gianotti</i>	pag. 40
3. Edificio rurale a San Galgano, Chiusdino (SI) – <i>Lorenzo Bardelli, Elisa Gori</i>	pag. 44
4. Edificio rurale a Capo di Ripa, Loro Ciuffenna (AR) – <i>Chiara Berlingozzi, Chiarastella Borgia</i>	pag. 48
5. Edificio rurale a Pisa – <i>Paola Brunamonti, Massimiliano Ravidà, Chiara Ruggieri</i>	pag. 52
6. Edificio rurale a San Miniato (PI) – <i>Maria Teresa Bruno, Giada De Cicco, Elena Del Fante</i>	pag. 56
7. Edificio rurale “La Cella”, Poggio di Loro, Loro Ciuffenna (AR) – <i>Simona Bucci, Agnese Gori, Sara Maestrini</i>	pag. 60
8. Edificio rurale a Casole d’Elsa (SI) – <i>Gezim Cani, Francesco Mocali, Stefano Mugnaini</i>	pag. 63
9. Podere “Pian di Sala”, San Gimignano (SI) – <i>Jari Cappellacci, Pietro Cozzi</i>	pag. 67
10. Edificio rurale a Travalle, Calenzano (FI) – <i>Elena Dalla Porta, Laura Zanieri</i>	pag. 70
11. Edificio rurale a Licciana Nardi (MS) – <i>Annalisa Faggiani, Federico Franzì</i>	pag. 74
12. Fattoria “Pietrafitta”, San Gimignano (SI) – <i>Andrea Farnelli, Claudio Granato, Giacomo Taddeini</i>	pag. 78
13. Edificio rurale a Volognano, Rignano sull’Arno (FI) – <i>Claudia Gemignani, Elena Marcucci, Cristian Maroli</i>	pag. 82
14. Edificio rurale a Montanelli, Palaia (PI) – <i>Luisa Guarguagli, Valentina Lari, Giulia Macchia</i>	pag. 86
15. Edificio rurale a Le Quattro Strade, San Casciano Val di Pesa (FI) – <i>Wei Ye, Leonardo Laffi, Marco Luciani</i>	pag. 90
16. Edificio rurale a Sant’Appiano, Barberino Val d’Elsa (FI) – <i>Irene Manfredi, Margherita Nencioni</i>	pag. 94
17. Edificio rurale a Perignano, Lari (PI) – <i>Valentina Mazzantini</i>	pag. 98
18. Edificio rurale a Monte San Quirico, (Lucca) – <i>Michela Petrone, Emerenziana Talenti</i>	pag. 102
19. Edificio rurale a Rocchetta, Acquasanta Terme (AP) – <i>Angelo Renna</i>	pag. 106
20. Edificio rurale “La Cinciallegra”, Bagno a Ripoli (FI) – <i>Barbara Serraglini, Martina Simonatti</i>	pag. 110

ALCUNE PRECISAZIONI SUL CONSOLIDAMENTO DEGLI EDIFICI STORICI

Silvio Van Riel

Il consolidamento o meglio la riabilitazione strutturale degli edifici storici costituisce un aspetto metodologico che nasce e si sviluppa nell'ambito del restauro architettonico e dei monumenti. È quindi all'interno di queste vaste e articolate problematiche che la disciplina deve essere ricondotta al fine di trovare una sua organica continuità sia ai fini didattici che applicativi. Nel campo del restauro e più in generale del recupero edilizio, l'aspetto del "consolidamento statico", come veniva in genere definito, si prestava ad una interpretazione progettuale alternativa alle "vetuste" strutture da restaurare. Per anni (1960-1990) gli architetti restauratori e gli ingegneri strutturisti, messi di fronte al problema, si sforzarono di trovare i modi migliori per sollevare da impegno statico le originali strutture, con altre in acciaio, in cemento armato e miste, comunque tutte di concezione nuova e realizzate con materiali attuali e non omogenei alle strutture originali. Gli originali impianti strutturali svuotati da ogni funzione finivano per risultare solo "elementi formali", portando spesso le realizzazioni ad inconvenienti pratici e ad errori concettuali.

Sempre limitandoci al settore del restauro ed in particolare del consolidamento risulta ovvio che strutture edilizie, realizzate nel tempo con metodi costruttivi e maestranze differenti, architravate o voltate, massive o nervate, staticamente equilibrate o spingenti; in pietra, in laterizio, lignee; con struttura mista o intelaiata rappresentano, nel panorama del costruito, una casistica quanto mai variegata e complessa.

Per la pluralità delle problematiche relative agli interventi, i progetti non possono e non devono essere legati a schemi approssimativi o peggio standardizzati; non esistono tecnologie e tecniche di consolidamento e conservazione strutturale applicabili in maniera acritica alla generalità dei casi.

Oggi possiamo valutare l'impostazione erronea del problema, ingenerata nella cultura del periodo da una convinzione di carattere essenzialmente "ingegneristico", sintetizzabile nel concetto che qualsiasi edificio, struttura, impianto architettonico possa essere conservato nel tempo con il semplicistico artificio di trasformare da "portanti" a "portate" intere strutture o parti rilevanti di esse, affiancando o inserendo nuovi elementi orizzontali o verticali in cemento o in ferro, capaci di sopportare l'impegno statico in origine delegato alle vecchie strutture. L'applicazione indifferenziata e spesso superficiale di queste tecniche hanno portato a mutati assetti statici, a differenze di assestamento e a modi di reagire ai carichi in una stessa struttura provocando concentrazioni di forze in nuovi punti non prestabiliti, tensioni interne incompatibili con i materiali originali, disomogeneità di comportamento fra le diverse parti, contribuendo a creare dissesti e degrado nelle strutture originali.

Se da una parte gli interventi che si realizzavano erano legati ai concetti sopra esposti è da segnalare che parallelamente la letteratura specialistica, in particolare con Sisto Mastrodicasa, cominciava a sviluppare una coerente impostazione scientifica del problema, elaborando la nota teoria sulla rottura dei prismi elementari quale elemento fondamentale nello studio degli edifici dissestati. Ripercorrendo la letteratura del periodo si evince chiaramente l'impegno degli studiosi a ricercare la possibilità di individuare il modello statico originale e le trasformazioni subite nel tempo quale elemento fondamentale a spiegare le azioni perturbatrici, causa della formazione di lesioni e deformazioni. Risulta evidente che, oggi, il modello statico originario può essere non facilmente identificabile; attraverso un accurato rilievo strutturale possiamo essere in grado di identificare le varie

componenti portanti del fabbricato al fine della individuazione del criterio di rottura, in relazione ai materiali ed allo schema statico della struttura. D'altro canto la ricerca storica sull'edificio permette, se correttamente effettuata, di individuare le trasformazioni che il fabbricato ha subito nel tempo e, attraverso il rilievo strutturale, saremo in grado di identificarle e valutarle staticamente.

Sotto il profilo scientifico l'indagine di approccio ha subito un affinarsi degli strumenti operativi finalizzati alla conoscenza sempre maggiore del manufatto da indagare con l'uso oramai corrente del ricorso all'indagine non distruttiva con gli ultrasuoni e la termovisione. Inoltre, nell'ambito del corso di Consolidamento tenuto nella Facoltà di Architettura di Firenze, sono state messe a punto delle tecniche di rappresentazione del rilievo strutturale quale elemento fondamentale per la conoscenza statica e, quindi, per la compilazione del quadro generale delle verifiche statiche e sismiche degli elementi che compongono la struttura portante. Allo stesso modo è possibile su quei modelli identificare il quadro generale dei dissesti caratterizzati dalle lesioni e deformazioni, che possono nel tempo aver modificato il sistema statico originale. È chiaro che affinando gli strumenti e le metodologie d'indagine si ottiene un quadro più rigoroso dello stato di conservazione architettonica e strutturale, elemento essenziale per una corretta scelta progettuale, avendo sempre presente che qualsiasi intervento di adattamento o risanamento conservativo finirà per interessare la parte strutturale dell'edificio. Il rilievo strutturale non serve, quindi, solo per determinare il modello statico ma, unitamente all'analisi dello stato di conservazione dei materiali, permetterà al momento delle verifiche di valutare l'andamento delle tensioni che interessano le membrane portanti e di ipotizzare quei rimedi, quando strettamente necessari, atti a garantire la sicurezza statica del manufatto.

Tutte queste operazioni servono per evitare, o perlomeno ridurre, gli errori compiuti nel passato quando, al settore operativo si sono avvicinati tecnici carenti della necessaria preparazione, sotto la spinta dell'entusiasmo per la "scoperta" di un nuovo e fruttuoso campo di azione per i progettisti, conseguente all'interesse mostrato dalle Istituzioni verso il restauro ed il recupero del

costruito. Questo portava, nella maggioranza dei casi, a intervenire sull'effetto piuttosto che sulla causa generatrice del dissesto e del conseguente degrado strutturale del manufatto. Si segnala che è diventato oramai termine corrente definire alcune forme di degrado strutturale "dissesti da consolidamento".

Se l'indagine è stata condotta con rigore il progettista è guidato nella definizione progettuale dal modello statico, dall'uso fatto dei materiali che lo compongono e dai modi di esecuzione che hanno permesso la realizzazione dell'intervento.

È quindi essenziale che alla base della formazione culturale degli operatori sia presente una buona conoscenza dell'architettura e dell'edilizia che formano il patrimonio del costruito, coscienza non solo degli elementi formali ma anche dei materiali e delle tecniche costruttive che lo hanno formato.

Questa coscienza unita alla sensibilità acquisita nel tempo deve guidarci nella scelta dei materiali e delle tecniche esecutive il più possibile "compatibili", per evitare comportamenti statici e deformativi anomali, o peggio, in contrasto con le membrane della struttura originale. Per questo è opportuno fare una precisazione; nella terminologia scientifica al termine "consolidamento", oggi viene preferito il termine "riabilitazione", questo ultimo più corretto e vicino ai principi del restauro portato avanti dalla scuola fiorentina.

Si ritiene che in generale la soluzione debba trovarsi nella individuazione del modello, o di un modello, statico, con riferimento maggiore, minore o nullo a quello originario; di conseguenza occorre anzitutto individuare tale modello statico originario e il suo sviluppo nel tempo, ponendo la necessaria attenzione al fatto che spesso il modello originario non è chiaro e che lo sviluppo nel tempo ha potuto produrre tali alterazioni, da far perdere ogni chiarezza della situazione originale se pure essa esisteva.

Il modello statico originario è spesso poco chiaro perché tale era anche agli occhi del suo 'creatore'. La chiara coscienza statica si è sviluppata infatti in tempi recenti; trattandosi di opere storiche occorre una particolare indagine atta a scoprire anzitutto se l'ideatore dell'opera ha risolto coscientemente il problema statico e in quale modo. Può verificarsi che l'ideatore abbia proceduto in base a vaghe cognizioni intuitive e quindi non abbia

stabilito una chiara struttura; può anche verificarsi che abbia creduto di stabilire una struttura e quindi un modello, mentre in realtà si è costituita un'altra struttura, un altro modello. Occorre perciò, in simili problemi, esercitare un'approfondita indagine critica per estrarre dalla realtà un modello, nato coscientemente o non, corrispondente o non all'intenzione dell'ideatore, ma tale che possa individuarsi e quindi servire da guida per le operazioni di restauro da compiere.

Gli antichi costruttori sentivano, molte volte con una discreta esattezza, il problema statico ma sempre in termine di strutture rigide, di meccanica dei sistemi rigidi; la considerazione della deformazione è avvenuta molto tardi e conseguentemente non si presta ad una visione intuitiva. Nelle antiche fabbriche dunque l'esame va condotto per ricercare se la struttura corrisponde ad un disegno statico proprio dei corpi rigidi e molte volte tale disegno è manifesto. Si porta spesso come esempio in proposito la struttura di tipo «gotico», volta - arco - contrafforte ma gli esempi si possono facilmente moltiplicare.

Ora, in tali casi, l'individuazione del modello originario è facile, ed è quindi facile il suo restauro se in qualche tratto esso stesso risulta alterato. Il caso considerato è però limite perché spesso, come si è detto, la situazione statica originaria non è stata esattamente intesa e quindi la struttura non presenta una chiara impostazione; altre volte essa, appunto perché non chiaramente impostata, si è andata alterando e adattando a nuovi schemi, ciò è reso possibile soprattutto dalla deformabilità del sistema, originariamente non considerata. Se la struttura è iperstatica, tale alterazione si verifica più facilmente perché la intuizione originaria si limita agli schemi rigidi, che escludono la possibilità di considerare sistemi iperstatici; questi, se di fatto esistenti all'origine, hanno prodotto uno schema statico diverso da quello intuito dal costruttore, il quale aveva escluso dalle sue considerazioni l'iperstaticità.

Se per risolvere problemi iperstatici si ricorre, come di regola, a pure considerazioni di congruenza, dedotte da un presunto teorico comportamento quale è quello stabilito dalla teoria dell'elasticità, non si può sostenere che l'antico costruttore abbia inteso interpretare tale situazione e abbia quindi coscientemente costruito ed adottato un modello statico corrispondente

a tale impostazione. È ormai riconosciuto, da vari decenni, che la teoria della elasticità offre soltanto una parziale interpretazione del comportamento delle strutture. La considerazione della fase plastica, ponendo e presupponendo un automatico rispetto della congruenza globale, esclude per conseguenza la considerazione della congruenza quale elemento determinante e riconduce il problema a un più semplice gioco di forze. Ipotizzare che una struttura, un elemento, una sezione portino quello che sono capaci di portare determina, com'è ovvio, il problema relativo alla distribuzione delle forze in gioco in funzione di tali capacità, che si suppone siano note.

Naturalmente il problema non è così semplice né così facile da risolvere quale potrebbe apparire. A noi ora interessa appunto soltanto una visione semplificatrice, che è la sola ad essere intuitivamente apparsa ad un antico costruttore, il quale faceva dell'esperienza il metodo determinante. Un costruttore vorrebbe affidare ad un'asta verticale un carico ad essa sospeso ma teme che l'asta sia insufficiente o forse pensa che sarebbe certamente opportuno avere una riserva di sicurezza; aggiunge allora altre due aste inclinate rispetto alla verticale, concorrenti con la prima nel punto in cui è applicato il carico. Se il sistema viene considerato come rigido, questa aggiunta non giova, almeno a causa dell'indeterminazione; se esso viene considerato come elastico, la distribuzione delle sollecitazioni dipende dalla deformazione delle aste nel solo rispetto della congruenza, per essere il punto in cui si è applicato il carico comune alle tre aste. In fase plastica invece, se si introduce la semplificazione di ammettere tensioni costanti per deformazioni indefinitamente crescenti (la cosiddetta bilatera) la congruenza è senz'altro assicurata e la decomposizione della forza applicata in quelle che sollecitano le tre aste dipende, com'è noto, dalla capacità di queste di assorbire sollecitazioni. Ma allora la possibilità di una concezione intuitiva si ripresenta. È ovvio che le aste aggiunte sono tanto più efficaci quanto più sono grosse e hanno direzione prossima alla verticale; ciò è vero, del resto, sia in regime elastico sia in regime plastico. Ma in quest'ultimo il fenomeno è molto più chiaro e più facilmente computabile, perché la capacità di resistenza delle aste viene interamente sfruttata, ed essa è facilmente intuibile.

Ciò premesso possiamo concepire all'origine può non è necessariamente rigido. In linguaggio attenti, oltre a concepire i sistemi e qualitativamente e qualitativamente concepire sistemi rigido. Appare quindi rilevante il genario e le modificazioni do che anche modesti lavincidevano in maniera si punto di visto statico ciò perché non sempre ad un i due modelli nel sovrappiù migliore dei casi, ad un a ne indefinibile, non facile. Il compito quindi di è complesso e si basa, es: «compositiva», statica di la sola base della decisio tentato della storia dell'edico e strutturale, l'analisi operative fondamentali i Sotto il profilo purament grado del materiale, cor mette: la proprietà di de la viscosità. Tenuta prese formazione nel comport ro come la viscosità sia statica che non può esse è stata ed è studiata sop particolare per quelle in ce approfonditi studi sulla particolarmente interess Si evince quindi che chi chiara visione e conosce La conoscenza della scie venta un'ovvia esigenza

Ciò premesso possiamo riconoscere che il modello strutturale concepito all'origine può essere anche piuttosto complesso e non è necessariamente legato alla considerazione del sistema rigido. In linguaggio attuale si direbbe che gli antichi costruttori, oltre a concepire i sistemi rigidi, sono riusciti, sempre intuitivamente e qualitativamente oltre che inconsciamente, a concepire sistemi rigido - plastici ma non sistemi elastici².

Appare quindi rilevante il tentativo di individuare il modello originario e le modificazioni che il tempo ha prodotto, considerando che anche modesti lavori di adattamento dell'edificio spesso incidono in maniera significativa sulle strutture originali. Dal punto di vista statico ciò complica maggiormente la situazione, perché non sempre ad un modello si è sostituito un altro; a volte i due modelli nel sovrapporsi si sono integrati dando vita, nel migliore dei casi, ad un altro modello, oppure ad una situazione indefinibile, non facilmente comprensibile e schematizzabile. Il compito quindi di estrarre un modello riproducibile è più complesso e si basa, essenzialmente, sulla sensibilità storica, «compositiva», statica di colui che opera il restauro diventando la sola base della decisione definitiva. Ecco perché lo studio attento della storia dell'edificio, il dettagliato rilievo architettonico e strutturale, l'analisi dei dissesti risultano essere metodiche operative fondamentali nella prassi restaurativa.

Sotto il profilo puramente statico veniva considerato solo il degrado del materiale, contrariamente a quello che oggi si ammette: la proprietà di deformazione sotto carico costante, cioè la viscosità³. Tenuta presente la funzione determinante della deformazione nel comportamento di una struttura, appare chiaro come la viscosità sia una componente della configurazione statica che non può essere trascurata. Vero è che tale proprietà è stata ed è studiata soprattutto per le strutture recenti, in particolare per quelle in cemento armato, e che mancano quindi approfonditi studi sulla viscosità nelle strutture murarie, che particolarmente interessano il campo del restauro.

Si evince quindi che chi compie un restauro deve avere una chiara visione e conoscenza della realtà statica delle strutture. La conoscenza della scienza e della tecnica delle costruzioni diventa un'ovvia esigenza per chi compie un restauro, al fine di

avere una chiara coscienza delle possibili situazioni statiche, in relazione a due elementi fondamentali e naturalmente diversi. Il primo consiste non soltanto nel giudicare una situazione statica in base a riconosciuti risultati scientifici, ma anche nel collocare tali risultati nella loro posizione storica e nell'interpretarne lo sviluppo. L'altro elemento, di stretta natura scientifico - tecnica, consiste nella individuazione del criterio di rottura, in relazione al materiale e anche allo schema statico della struttura. Acquista così maggiore interesse e importanza l'attenta valutazione e la previsione del modo della rottura attraverso l'interpretazione del cosiddetto quadro fessurativo; dal quadro fessurativo e deformativo è necessario partire per individuare le cause del dissesto. Questa operazione deve essere sempre preliminare e spesso decisiva nell'intervento tecnico di restauro.

I due aspetti pur diversi sono strettamente connessi; in relazione al primo, infatti, si compie l'operazione di ricerca e di individuazione del modello mentre in relazione al secondo, si effettua l'operazione di identificazione della causa del dissesto. Ovvero si cerca di determinare le cause del dissesto, valutazioni queste che inseriscono nel restauro il problema del consolidamento⁴. Un tale approccio metodologico permette di individuare in maniera organica i lineamenti che caratterizzano la disciplina del «Consolidamento degli edifici storici».

Dal 1 luglio 2009 sono operanti le Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008 e le relative Istruzioni contenute nella Circolare del 2 febbraio 2009, n. 617⁵, per cui si è ritenuto necessario elaborare le presenti note di chiarimento al fine di integrare le necessarie informazioni per comprendere le modifiche che, inevitabilmente, ogni aggiornamento tecnico porta con sé nella pratica operativa e nell'attività didattica. Nel confronto, l'attuale normativa porta una sostanziale modifica nel rapporto di approccio alla progettazione strutturale, in particolare nell'intervento sugli edifici esistenti che in buona sostanza è quello che maggiormente ci riguarda sotto il profilo didattico; il concetto di base è che da disposizioni prescrittive si passa a dover considerare gli aspetti prestazionali sia dell'unità strutturale sia dei materiali.

Quindi queste norme hanno provveduto a confermare l'impo-

stazione che da molti anni caratterizzava questo insegnamento definendo, finalmente, uno specifico percorso conoscitivo con il quale il tecnico deve cercare di capire in dettaglio le caratteristiche strutturali del fabbricato attraverso fasi di lavoro ben definite:

- l'analisi documentale con la quale individuare le fasi progettuali e realizzative dell'opera;
- l'approccio diretto al fabbricato con una accurata campagna fotografica, il rilievo architettonico e strutturale con la caratterizzazione dello stato di conservazione della struttura e dei materiali;
- la definizione di un modello strutturale il più possibile aderente alla realtà del costruito strettamente connesso all'analisi dei dissesti.

Per una migliore comprensione della finalità delle indagini preliminari e delle operazioni di rilevamento si riporta quanto raccomandato dal Comitato nazionale per la prevenzione del patrimonio culturale dal rischio sismico nella seduta del 14 luglio 1989:

«l'analisi storica dell'edificio assume un ruolo di importanza fondamentale da un doppio punto di vista:

- identificazione ai fini della conservazione;
- identificazione ai fini della comprensione del comportamento strutturale e della sua evoluzione nel tempo, da questo punto di vista è essenziale la conoscenza della "storia sismica" del monumento, in termini sia di caratteristiche degli eventi subiti nel tempo, che di risposta agli stessi (quadri di danno) e di eventuali interventi di riparazione effettuati.

Per la definizione di interventi di miglioramento antisismico l'analisi storica deve essere indirizzata verso almeno tre aspetti fondamentali della vita dell'edificio:

a) valutare l'evoluzione nel tempo dell'organismo edilizio, ponendo in evidenza:

- le parti costruite in tempi successivi;
- i collegamenti realizzati tra tali parti;
- le differenze dei materiali utilizzati;

b) analizzare i vari magisteri costruttivi evidenziando:

- luoghi di prelievo dei materiali;

- modalità di preparazione dei materiali;
- modalità di posa in opera;
- organizzazione della muratura.

c) rilevare i danni subiti nel tempo ad opera dei terremoti e le eventuali riparazioni effettuate evidenziando, nella misura del possibile:

- localizzazione dei danni e delle riparazioni;
- entità dei danni.

Da questa serie di dati si può ricavare già una indicazione sul comportamento globale del fabbricato, considerando i fenomeni che si sono succeduti nel tempo come una sperimentazione diretta al vero, assai indicativa e probante, soprattutto se gli eventi sismici subiti sono stati significativi.

La sequenza delle operazioni per l'indagine conoscitiva preliminare prevede una serie di prove e di studi non sempre facilmente quantificabili anche se, nella scelta, l'attuale cultura del restauro ha acquisito dei criteri validi; in tutti i casi comunque, le scelte devono sempre essere riferite alle caratteristiche architettoniche e strutturali dell'edificio oggetto della ricerca. Lo studio del comportamento statico dell'edilizia esistente può essere molto complesso e le difficoltà maggiori sono legate ad alcune particolari situazioni, quali la complessità del rilievo geometrico-strutturale, l'incertezza nella schematizzazione statica, nella definizione delle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali e degli elementi costruttivi e, in particolare, sulle cause di degrado statico. La conoscenza della geometria della struttura e del quadro dei dissesti devono risultare esaustivi ai fini della formulazione di ipotesi sul comportamento della struttura e sulle cause di degrado statico; inoltre, il rilievo strutturale deve servire quale schema di riferimento per modelli di comportamento statico. Una volta individuata la geometria e le caratteristiche dei materiali, si possono scegliere i modelli più adeguati per la determinazione dell'assetto tensodeformativo della struttura. Attraverso queste analisi fondamentali alla diagnosi dei dissesti, si dovrà cercare, con le necessarie approssimazioni, di ipotizzarne le cause e, conseguentemente, intervenire con adeguate tecniche per la eliminazione di questi elementi perturbatori della struttura originale.

Esempi di indagini preliminari di cui possiamo disporre con maggiore frequenza sono quelli a cui faremo riferimento in nota e che anche nella prassi professionale hanno acquisito modalità d'impiego nel campo del restauro e del consolidamento: la termografia⁶, le indagini elettromagnetiche⁷, le indagini soniche⁸ e, ultimamente le indagini endoscopiche⁹. Sempre fra le metodiche d'indagine, in particolare per il consolidamento e la riabilitazione strutturale, indispensabili per una corretta diagnosi, sono le prove per determinare le caratteristiche meccaniche dei materiali e delle strutture¹⁰, comunque per una trattazione più completa si rimanda alla dispensa indicata per il corso¹¹.

Paolo Fancelli sottolinea l'importanza dello stretto rapporto esistente tra rilievo e restauro: «Il rilievo architettonico e strutturale rappresenta il supporto su cui tracciare il progetto di restauro e consolidamento il quale, attraverso interventi di consolidamento, di pulitura, di risarcimento, dovrà assecondare la preesistenza nel rispetto delle sue peculiarità al fine di garantirne la sua trasmissione al futuro»¹². Le operazioni, quindi, relative all'esecuzione del rilievo devono essere criticamente condotte e documentare la condizione effettiva in cui versa, al momento, l'opera architettonica in esame. Il rilievo, supportato da una adeguata documentazione fotografica, rappresenta l'operazione per definire, attraverso un'accurata campagna di dettagliate misurazioni e restituzioni grafiche un edificio nelle sue componenti architettoniche, strutturali e articolazioni spaziali e distributive. Stante i limiti oggettivi che questa operazione implica, l'analisi dovrà essere corredata da schemi, da appunti, da schizzi, da distinte, da annotazioni sia per quanto attiene alle risultanze delle operazioni attivate, sia ai metodi di misurazione assunti. Una volta acquisiti tutti questi elementi risulta fondamentale la fase della restituzione grafica con la ricomposizione disegnata dell'architettura: piante, prospetti, sezioni, assonometrie, spaccati, prospettive, plastici o ricostruzioni plano volumetriche, particolari architettonici e strutturali. Quando queste operazioni sono condotte con serietà ed attenzione è possibile definire corretto l'approccio nei confronti dell'edificio da studiare.

Per una trattazione sistematica sulle tecniche di rilevamento architettonico e sulle metodiche di restituzione grafiche si rimanda

alla vasta e articolata letteratura esistente. È necessario rammentare che questa fase di studio, cioè il rilievo dello stato di fatto quando correttamente correlato al "rilievo storico - critico delle fasi costruttive"¹³, può rappresentare un documento storico per rileggere i processi evolutivi succedutisi nel tempo e poter valutare gli eventuali dissesti prodotti da queste vicende costruttive.

Il "rilievo strutturale" deve mirare alla completa identificazione degli aspetti morfologici e tecnologici che caratterizzano l'impianto generale della fabbrica e, tenuto conto anche della normativa vigente e delle raccomandazioni¹⁴, non deve essere mai trascurato il fatto che la fase del rilievo strutturale, sul quale sono puntualmente riportati i dissesti (lesioni e/o deformazioni) costituisce una premessa indispensabile alla fase diagnostica e progettuale. Infatti i criteri adottati nella scelta del tipo di intervento devono scaturire da uno studio dettagliato dell'organismo edilizio riguardante in particolare: le caratteristiche architettoniche, strutturali e delle destinazioni d'uso; le modificazioni, intervenute nel tempo, all'impianto edilizio e strutturale originario; l'analisi globale del comportamento strutturale al fine di accertare le cause ed il meccanismo dei dissesti in atto. La fase del rilievo strutturale diventa, quindi, una operazione fondamentale nel corretto sviluppo di un progetto di consolidamento la cui funzione incide su due particolari aspetti: l'individuazione dell'organizzazione strutturale generale del manufatto e il rilievo dettagliato dei singoli elementi costruttivi.

Nell'edilizia storica la parte strutturale è strettamente connessa a quella architettonica – in stretta simbiosi fra elementi portanti e portati – il cui comportamento statico e sismico tende a integrare direttamente fra loro. Gli elaborati grafici devono identificare lo schema razionale con cui sono articolate ed assemblate le varie componenti strutturali, in particolare dovranno essere rilevate e restituite la pianta delle fondazioni e le piante dei vari impalcati, compresa la copertura, dove dovranno essere accuratamente riportate le orditure principali e secondarie. Gli elementi strutturali dovranno essere quotati con cura e in maniera palese, al fine di permettere la verifica statica dei singoli elementi. Le sezioni dovranno essere eseguite nei punti di maggior interesse strutturale, con almeno una sezione passante sul vano scala;

nelle sezioni dovranno essere riportati con chiarezza le tipologie costruttive degli impalcati. Il rapporto di rappresentazione grafica delle piante e delle sezioni deve essere tassativamente di 1/50; le quote dovranno essere riportate in centimetri per le strutture murarie, volte, impalcati lignei ed in cemento armato, mentre saranno quotati in millimetri i profili degli elementi metallici. Costituisce corredo indispensabile del rilievo strutturale l'esecuzione di particolari tecnici - costruttivi, in sezione e/o assonometria in scala 1/10 - 1/20 (per le strutture di maggiori dimensioni quali capriate, scale e sistemi voltati). Completa il rilievo la ricostruzione, in assonometria, degli schemi strutturali che caratterizzano la fabbrica architettonica; esempi di rilievi strutturali sono riportati all'interno di questo volume.

Uno degli aspetti sul quale si è dibattuto dai tempi dell'affermazione della scienza delle costruzioni è quello riguardante il metodo di una corretta valutazione della struttura⁴⁵ degli edifici costruiti in muratura. Su questo aspetto significativo è quanto scritto da Salvatore Di Pasquale: «Le critiche, [...], non erano tanto rivolte a Viollet le Duc, fautore del razionalismo architettonico, ma alle errate conclusioni a cui erano arrivati i professori di scienza delle costruzioni, gli strutturisti, i quali avevano creduto ed hanno creduto fino a poco tempo fa (ora finalmente mi pare che lentamente stiano cambiando indirizzo) di poter considerare le strutture delle costruzioni in muratura come le costruzioni in muratura stesse»⁴⁶.

In passato si è tentato di descrivere la struttura architettonica per mezzo di "regole" di composizione, basate sugli ordini classici e su alcuni sistemi di proporzione; oggi cerchiamo di definire i veri e propri elementi architettonici e le loro reciproche relazioni. La parola "elemento" indica l'unità caratteristica che fa parte di una forma architettonica e ha un duplice significato in quanto indica sia un insieme indipendente che una parte di un contesto più ampio. Il termine "relazione" indica un modo legittimo di distribuire gli elementi, che sono necessariamente tridimensionali o spaziali poiché sono rappresentati principalmente da masse e spazi.

Lo studio relativo all'individuazione dell'organizzazione strutturale dell'edilizia storica deve basarsi su alcuni concetti fondamentali, senza i quali questa operazione risulta limitata e,

spesso, può causare erronee conclusioni. L'indagine sull'organismo edilizio deve essere tesa al recupero dei contesti storico, tecnico e culturale nei quali la fabbrica architettonica è stata realizzata, valutando le fasi del processo edilizio per poter identificare la tecnica costruttiva. Purtroppo di fronte a un edificio del passato si continua a imporre, quali unici validi strumenti di conoscenza, rigidi schemi strutturali desunti dalla scienza delle costruzioni. Questa ottica limitata non permette di valutare compiutamente le caratteristiche architettoniche e strutturali dei nostri fabbricati, così strettamente connesse ed interagenti. Alla progettazione strutturale, che si avvale di tutta una serie di procedimenti attivati all'interno della scienza delle costruzioni, dovrà essere affiancata la pratica dell'indagine puntuale sull'organizzazione strutturale della fabbrica, così come questa è giunta ai nostri giorni con tutte le sue, eventuali, modifiche statiche. È oramai un concetto acquisito che, prima dell'avvento delle moderne tecniche di progettazione strutturale, gli edifici, non solo quelli monumentali, venivano realizzati in funzione di precisi codici dimensionali che dovevano tener conto delle capacità dei materiali e delle tecniche costruttive a disposizione degli architetti e dei costruttori.

Questa osservazione ci dovrebbe portare a dover approfondire lo studio della storia delle tecniche costruttive, come giustamente stanno facendo alcuni cultori del restauro; si rimanda a testi specialistici, oggi facilmente reperibili. L'organizzazione strutturale negli edifici in muratura è data dall'assemblaggio dei singoli elementi portanti che in diretta simbiosi determina la stabilità del fabbricato. Questi sono, in sintesi, le fondazioni, le murature assieme ai pilastri e alle colonne che rappresentano le strutture in elevato e gli elementi costruttivi su cui poggiano gli orizzontamenti che, nell'edilizia storica e tradizionale, sono costituiti dai solai piani, dai solai supportati da volte e dalle strutture della copertura.

Il consolidamento, inteso quale riabilitazione strutturale di elementi costruttivi dell'edilizia storica, studia le cause dei dissesti, cioè di quelle manifestazioni prodotte da cause perturbatrici sulla struttura muraria a seguito dell'alterazione delle condizioni statiche originali. I dissesti, quindi gli effetti prodotti da queste alterazioni, sono rappresentati dalle lesioni, che sono

soluzioni della continuità muraria per rottura del materiale, e dalle deformazioni che sono variazioni della forma geometrica una volta raggiunto e superato il limite elastico della struttura. Spesso lesioni e deformazioni rappresentano gli effetti che il dissesto ha prodotto sulla stesso elemento murario, essendo sovente strettamente correlati fra loro.

Le forze applicate ad una struttura producono: reazioni dei vincoli, deformazioni e tensioni. Una struttura è in condizioni di resistere quando le varie parti della costruzione sono sufficientemente solidali tra loro e vincolate opportunamente al suolo. Quindi le tensioni interne devono risultare in ogni punto minori di quelle che provocano la rottura; l'equilibrio tra le varie forze agenti (esterne ed interne) deve essere stabile in ogni parte strutturale oltre che per tutto l'insieme. L'alterazione dei regimi di equilibrio elastico, quando non intervenga un nuovo stato di equilibrio compatibile con la resistenza dell'insieme, può determinare un dissesto statico, il quale si manifesta con una serie di lesioni e/o deformazioni.

Il corso è volto principalmente allo studio di strutture dissestate per cause accidentali intervenute a distanza di tempo dalla loro esecuzione; i rimedi da adottare, sul piano tecnico, non potranno essere determinati se non dopo l'individuazione delle cause esterne perturbatrici. Mentre ad ogni tipo di lesione e/o deformazione corrisponde un certo tipo di dissesto, altrettanto non può dirsi per il rapporto dissesto - causa perturbatrice; infatti un dissesto può essere provocato da più tipi di cause perturbatrici. L'esperienza e l'attuale tecnologia per le indagini preliminari permettono di risalire alle cause che hanno prodotto un dissesto, anche se non è sempre possibile definire un legame univoco tra il dissesto e la causa che lo ha prodotto. Nei casi più semplici che riguardano strutture il cui schema è facilmente individuabile, si può con relativa facilità definire la causa e l'entità del danno. Molto spesso però la risoluzione dei problemi relativi ai dissesti statici non può ottenersi con la sola applicazione degli ordinari metodi della scienza delle costruzioni; in primo luogo essa è affidata alla preparazione scientifica del tecnico e, quindi, alla sua esperienza.

Una struttura architettonica, pur semplice che sia, deve essere

considerata come un insieme di membrature verticali ed orizzontali, piane o curve, più o meno complesse, fondate sul suolo. Conseguentemente i dissesti riscontrati potranno attribuirsi al cedimento delle fondazioni o a cedimenti propri degli elementi strutturali. Al fine di sviluppare uno studio accurato sarà necessario, innanzitutto, svolgere un attento esame della struttura nelle sue singole parti ed eseguire una attenta campagna di rilevamento, grafico e fotografico, delle lesioni e delle deformazioni esistenti. Gli elementi raccolti con questo rilievo dovranno essere riportati sugli elaborati strutturali, con la massima precisione, permettendo di individuare come il quadro generale dei dissesti interessi il fabbricato. Questa operazione, confrontata con i dati dell'indagine preliminare, permetterà la definizione di una linea metodologica per individuare le cause che hanno portato all'attuale situazione statica. Durante questa fase, fondamentale è l'uso del monitoraggio della situazione, con le tecniche descritte precedentemente, alle quali può supplire - per gli studenti del corso - incrementare le misurazioni e la documentazione fotografica in situ dei dissesti maggiori. Rilevando gli incrementi della deformazione ad intervalli regolari di tempo, potranno essere tracciati i diagrammi della progressione fessurativa. Il materiale così raccolto dovrà essere valutato per consentire una prima ipotesi diagnostica dei dissesti. Ciò sarà tanto più necessario quanti più numerosi sono i dissesti poiché, se è vero che ad ogni tipo fessurativo corrisponde un dissesto, è chiaro ed intuitivo anche che, quando coesistono più dissesti, i singoli quadri fessurativi si sovrappongono e si fondono insieme dando luogo a nuove immagini che richiedono, per essere capite, una attenta analisi. L'osservazione delle manifestazioni fessurative è di grande aiuto per la comprensione del dissesto, in quanto dal quadro delle lesioni si può individuare il quadro isostatico, nel senso che è possibile individuare le curve isostatiche di minimo e conseguentemente quelle di massimo; ciò consente di identificare l'andamento delle sollecitazioni e quindi il dissesto. Per poter capire questo processo è doveroso prendere in esame il solido murario, considerato continuo, omogeneo ed isotropo, in equilibrio sotto l'azione di un dato sistema di forze. Applicando a questo solido un altro sistema di forze (cause per-

turbatrici) si provocano in esso delle deformazioni (cioè variazioni di posizione e di forma).

In estrema sintesi si possono identificare tre cause esterne perturbatrici:

- cedimenti differenziati delle fondazioni;
- aumenti tensionali nelle strutture esistenti per interventi di sopraelevazione oppure per incrementi di carico dovuti all'inserimento di nuove strutture;
- aperture di vani incongrui alla simmetria del pannello murario; fondamentale, in particolare, negli edifici in muratura e la regolarità strutturale in pianta ed in elevato ai fini di garantire l'effetto scatolare della struttura.

Fino ad ora abbiamo considerato i dissesti che derivano da azioni esterne alle strutture. Dobbiamo ora segnalare i dissesti che derivano da deficienze statiche e strutturali proprie delle strutture murarie e che quindi possono portare ad una deformazione dell'apparecchio murario, cioè ad una variazione della geometria originale della struttura, chiamata anche volgarmente "spanciamento"¹²⁷.

Le principali cause che possono portare a questa forma di dissesto sono la pressoflessione e l'azione sulle strutture di appoggio e sostegno di elementi spingenti.

Le murature in pietrame o miste hanno una naturale predisposizione alla pressoflessione; infatti, le sezioni orizzontali murarie non sono omogenee per l'alternarsi delle parti lapidee, laterizie e della malta, materiali che hanno moduli elastici "E" differenti, variabili dunque da punto a punto. Oppure per le murature in pietrame, la stessa apparecchiatura tradizionalmente eseguita, cioè quella di costruire la parte esterna con più cura del suo interno, determina questa caratteristica strutturale. Nelle sezioni trasversali non omogenee caratterizzanti le colonne, i pilastri e i muri rivestiti con pietra da taglio oppure con laterizi, le regioni interne hanno generalmente modulo elastico minore di quelle periferiche. Per cui risulta chiaro che i fattori che predispongono le murature alla pressoflessione sono la cattiva apparecchiatura, l'eccentricità dei carichi, la vetustà dei materiali con particolare riferimento alle malte e principalmente alla difettosa omogeneità delle sezioni reagenti. I dissesti per pressoflessio-

ne, quando trascurati, risultano essere quelli più pericolosi in quanto possono determinare il crollo dell'edificio.

La nota incapacità delle ossature murarie a resistere agli sforzi di trazione conduce alla determinazione della forma di queste ossature in funzione dei carichi a cui sono soggette e dei vincoli. Un arco, una volta e una cupola in muratura devono essere soggetti esclusivamente a sforzi interni di compressione; le spinte che ne derivano sui piedritti di imposta, combinate coi carichi verticali, non debbono essere tali da imprimere sforzi di trazione sui piedritti stessi, in ogni loro sezione orizzontale, per tutta la loro altezza, fino al piano di fondazione. Ne deriva che i dissesti di queste strutture possono essere prodotti: da una variazione di forma o di assetto dell'ossatura voltata o dei piedritti; da una diminuita capacità di resistere agli sforzi di compressione oppure, come spesso avviene, da una variazione dei carichi a cui queste strutture erano originariamente sottoposti. Le variazioni di forma sono in genere prodotte da una spinta eccessiva sui piedritti, che determina una deformazione di questi e un abbassamento in chiave della volta o dell'arco, oppure da un cedimento dei piedritti, cosa questa che può essere causata da schiacciamento dei materiali con cui sono apparecchiate le strutture di sostegno.

Nelle deformazioni per spinta l'ellisse che circonda la zona deformata tende a stabilirsi col diametro maggiore nella direzione verticale; nella pressoflessione nella direzione orizzontale. Nella spinta la sezione verticale della deformazione è una curva sinusoidale non simmetrica rispetto al ventre ma con il ramo superiore più sviluppato e appiattito. Nella spinta la sezione centrale circoscritta dalla curva dei flessi ha estensione limitata rispetto a quella anulare fra la linea dei flessi e la curva limite. Nella pressoflessione la simmetria è invece realizzata e la regione centrale ha maggior sviluppo rispetto alla regione antilare. Nella spinta la flessione dei due paramenti è sempre concorde mentre nella pressoflessione può essere anche discorde. Nella spinta, il muro offre alla percussione un suono duro e secco, mentre nella pressoflessione il suono risulta sordo e cupo.

Nel volume sono riportati numerosi esempi che vanno ad integrare le informazioni contenute in questo breve scritto ed ai quali si rimanda per ogni ulteriore e necessario approfondimento.

Note

1. Per struttura iperstatica si considera, come individuata dalla scienza delle costruzioni, un sistema composto da materiali rigidi dotato di vincoli interni ed esterni in numero sovrabbondante.

2. Cfr. F. JOSSA, "Introduzione", in *Diagnosi dei dissesti e consolidamento degli edifici*, a cura di G. FIENGO, Napoli 1978.

3. Proprietà della materia per cui gli strati di un corpo incontrano resistenza a scorrere gli uni su gli altri, detto anche "attrito interno" e in rapporto inversamente proporzionale alla temperatura dell'elemento. In assoluto il rapporto fra una sollecitazione tangenziale, dovuto all'attrito interno, e la corrispondente velocità di scorrimento.

4. Il contributo più recente e significativo, al quale si rimanda per ogni approfondimento, è il testo *Restauro e consolidamento* a cura di A. AVETA, S. CASIELLO, F. LA REGINA, R. PICONE, Roma 2005, atti del convegno (Napoli 31 marzo - 1 aprile 2003), Roma 2005.

5. Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni», di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008 (G.U. n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27).

6. L'uso della termografia come strumento di indagine in diversi campi della ricerca scientifica ha avuto inizio intorno al 1960. In campo edilizio le procedure di controllo termografiche sono particolarmente impiegate nella ricerca sulla dispersione termica negli edifici. La propagazione del calore avviene, come è noto, in tre modi diversi: per conduzione, convezione e irraggiamento; ogni materiale possiede un proprio coefficiente di conducibilità termica che è legato alle caratteristiche fisiche, in particolare alla densità ed alla condizione di umidità nella quale si trova. La termografia, unita spesso ad altri metodi di indagine non distruttivi è stata impiegata con esito positivo nel rilievo dell'ordito di solai in legno, ferro e laterocemento, nella ricerca di inclusioni di materiale diverso in elementi di muratura o c.a. come capichiavi, catene, ferri d'armatura, e di aperture originarie chiuse ed occultate da intonaci o rivestimenti, nella ricerca di vuoti come canne fumarie e condotti di scarico. I rilievi termografici possono fornire informazioni di altra natura quali: mappa delle zone ad elevata umidità, rilievo di impianti e altre forme di discontinuità della muratura. Bisogna ricordare che questa procedura permette infatti di operare rilievi solo qualitativi.

7. Un altro metodo, particolarmente utile nel rilievo di strutture in cemento armato, risulta essere quello delle indagini elettromagnetiche che com-

prende l'uso di un elettromagnete il cui nucleo termina con due espansioni polari che vengono applicate sulla superficie da controllare. Per lettura diretta dello spostamento dell'indice di un galvanometro è possibile rilevare la presenza e la dimensione di elementi in ferro come putrelle e catene occultate nella muratura. In elementi strutturali di cemento armato possono essere rilevate le dimensioni dei tondini dell'armatura, lo spessore del copriferro ed eseguire, con buona approssimazione, il disegno dell'armatura. È necessario, comunque che le distanze tra i ferri rispettino dei minimi stabiliti. Questi metodi possono essere complementari all'uso della termografia, mediante la quale si possono identificare e mappare la presenza di elementi metallici.

8. Le indagini soniche, derivate dalle relazioni tra la velocità del suono attraverso un corpo ed alcune proprietà dello stesso quali modulo elastico e densità, furono definite nell'ultimo quarto del XIX secolo e trovarono impiego in Italia attorno agli anni trenta del Novecento con alcune procedure di indagini non distruttive su provini di calcestruzzo. Queste prove, ora molto comuni, sono basate sul rilievo di due distinte caratteristiche del materiale sottoposto a vibrazioni per impulsi sonici: la frequenza di risonanza e la velocità di propagazione delle onde elastiche. I metodi basati sul rilievo della frequenza di risonanza sono stati maggiormente usati in prove di laboratorio, mentre i metodi di misura della velocità di propagazione delle onde elastiche, sono usati soprattutto per prove in sito. Si segnalano, inoltre, altre tipologie di indagini soniche, ancora meno praticate, quali la spettroscopia e metodi cosiddetti "passivi". Tra l'altro i metodi sonici detti "passivi" permettono di rilevare le emissioni acustiche di una parete lesionata quando queste progrediscono nel tempo, e permettendo di monitorare e tenere sotto controllo il dissesto.

9. L'indagine permette di poter controllare visivamente, mediante un oculare corredato di un sistema di focalizzazione con sorgente di luce collegata a una sonda flessibile della lunghezza di 90 cm alla cui estremità è posto un gruppo ottico, cavità o fessure con diametro non inferiore a 10 mm, diametri inferiori sono possibili con endoscopi a fibre ottiche. L'indagine può essere eseguita sia in prefori di lunghezza variabile che in cavità esistenti. Particolarmente adatto nella diagnostica edilizia, nella conservazione e nel restauro individua la composizione della muratura, eventuali cavità, fessurazioni interne, percorsi seguiti dalle miscele cementizie iniettate. L'ispezione può essere restituita anche con immagini fotografiche o video registrazioni.

10. Un altro aspetto fondamentale nello studio delle strutture esistenti sono le esperienze dirette di prove sui materiali sia in laboratorio, attraverso prove meccaniche di campioni estratti, sia direttamente su parti delle strutture. Una prova che attualmente ricorre frequentemente nelle indagini preliminari è quella di utilizzare strumentazioni meccaniche inserite all'interno della

muratura, la più comune delle quali consiste nell'uso dei martinetti piatti. Questa tecnica, denominata "flat jack test" utilizzata nella meccanica delle rocce, si basa sulla variazione dello stato tensionale locale per effetto di un taglio piano di limitate dimensioni eseguito in una parete di muratura continua. Normalmente questa prova si suddivide in due fasi. Nella prima sulla zona scelta si dispone un reticolo di punti di misura distribuiti su di un'area di un metro quadro, circa, dei quali si misurano le distanze relative. Sempre in questa prima fase si pratica una incisione di cm 40 x 2 di 20 cm di profondità, in corrispondenza di un giunto di malta. Il rilascio delle tensioni determina una diminuzione delle distanze tra i punti ai due lati del taglio, che può essere misurata con un estensimetro meccanico removibile. Un martinetto piatto viene inserito nell'incisione e messo in pressione mediante una pompa idraulica manuale fino al ripristino delle distanze precedenti al taglio. In queste condizioni, la pressione all'interno del martinetto è pari all'incirca alla sollecitazione preesistente nella muratura, a meno di una costante che tiene conto del rapporto tra l'area di martinetto di carico e quella effettiva del taglio. Questa è una prima importante informazione, cioè una misura, anche se non perfetta dell'entità delle forze nel punto della parete sottoposto a prova. Nella seconda fase, un altro martinetto piatto viene posto in opera ad una distanza di circa 40 - 50 cm, dal precedente (cioè di 5 o 6 corsi di mattoni) i martinetti vengono collegati alla stessa pompa idraulica e si effettuano cicli di carico a compressione nella direzione normale a quella dei due martinetti. Le numerose basi di misura poste sulle facce libere permettono di ottenere un adeguato rilievo degli spostamenti relativi tra le due zone sottoposte a carico. Si tratta successivamente di interpretare gli spostamenti ottenuti in modo da ottenere informazioni sulle caratteristiche di deformabilità in campo elastico del materiale.

11. S. VAN RIEL (a cura di), *Consolidamento degli edifici storici. Appunti e note*, Centro Stampa AZ, Firenze 2007.

12. Cfr. Il testo di P. FANCELLI, inserito nel saggio di P. ROCCHI, "Indagini preliminari e di diagnostica", in *Il manuale del Restauro Architettonico*, a cura di L. ZEVI, Roma 2003, ai quali si rimanda per gli adeguati approfondimenti.

13. Nella redazione di una corretta campagna di rilievo architettonico, come giustamente ci ricorda Paolo Fancelli al documento del rilievo è consigliabile affiancare, a supporto, altre fonti testimoniali da confrontare con la realtà del monumento quali: le "fonti dirette": fonti epigrafiche, araldiche, emblematiche; lettura ed analisi dell'apparecchiatura muraria e degli elementi costruttivi caratterizzanti; analisi tipologica; lettura metrologico-modulare-proporzionale; lettura degli apparati decorativi; indagini sui materiali costitutivi; indagini strumentali conoscitive; lettura stratigrafica; le "fonti indirette": attestazioni scritte ed iconografiche; trattatistica; filoni iconografici indiretti quali fototeche, diateche e videoteche.

14. Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni», di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008 (G.U. n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27); D.M. 19 gennaio 1996. Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica (G.U. 5 febbraio 1996 n. 29), punto C.9.2.4; Circolare del Ministero per i Beni culturali e ambientali del 18 luglio 1986 n. 1032 e nei punti 6 e 7 delle *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*, redatte dal Comitato nazionale per la prevenzione del patrimonio culturale dal rischio sismico nella seduta del 14 luglio 1989.

15. In architettura il termine struttura viene usato con diverse implicazioni, a seconda del campo a cui si riferisce, in accordo con il significato generale di organizzazione delle parti e degli elementi in un *continuum* la cui scala viene assunta come riferimento unitario. Riferendosi alla nostra disciplina, per struttura si intende l'organizzazione statica degli elementi della costruzione. Parlando invece della struttura formale o architettonica si intende in genere l'organizzazione tridimensionale dell'opera architettonica. Il concetto di struttura architettonica è perciò di importanza fondamentale per la teoria dell'architettura, dato che sta a significare la "forma" che rappresenta la soluzione del compito architettonico da P. PORTOGHESI (a cura di), *Dizionario Enciclopedico di Architettura e Urbanistica*, Roma 1969, vol. VI, p. 99.

16. S. DI PASQUALE, "Sistemi statici nell'edilizia storica", in *Corso di restauro*, a cura di A. BALDONI, G. CONTI, Cesena 2001, p. 31.

17. Cfr. S. VAN RIEL (a cura di), *op. cit.*, pp. 38-53.