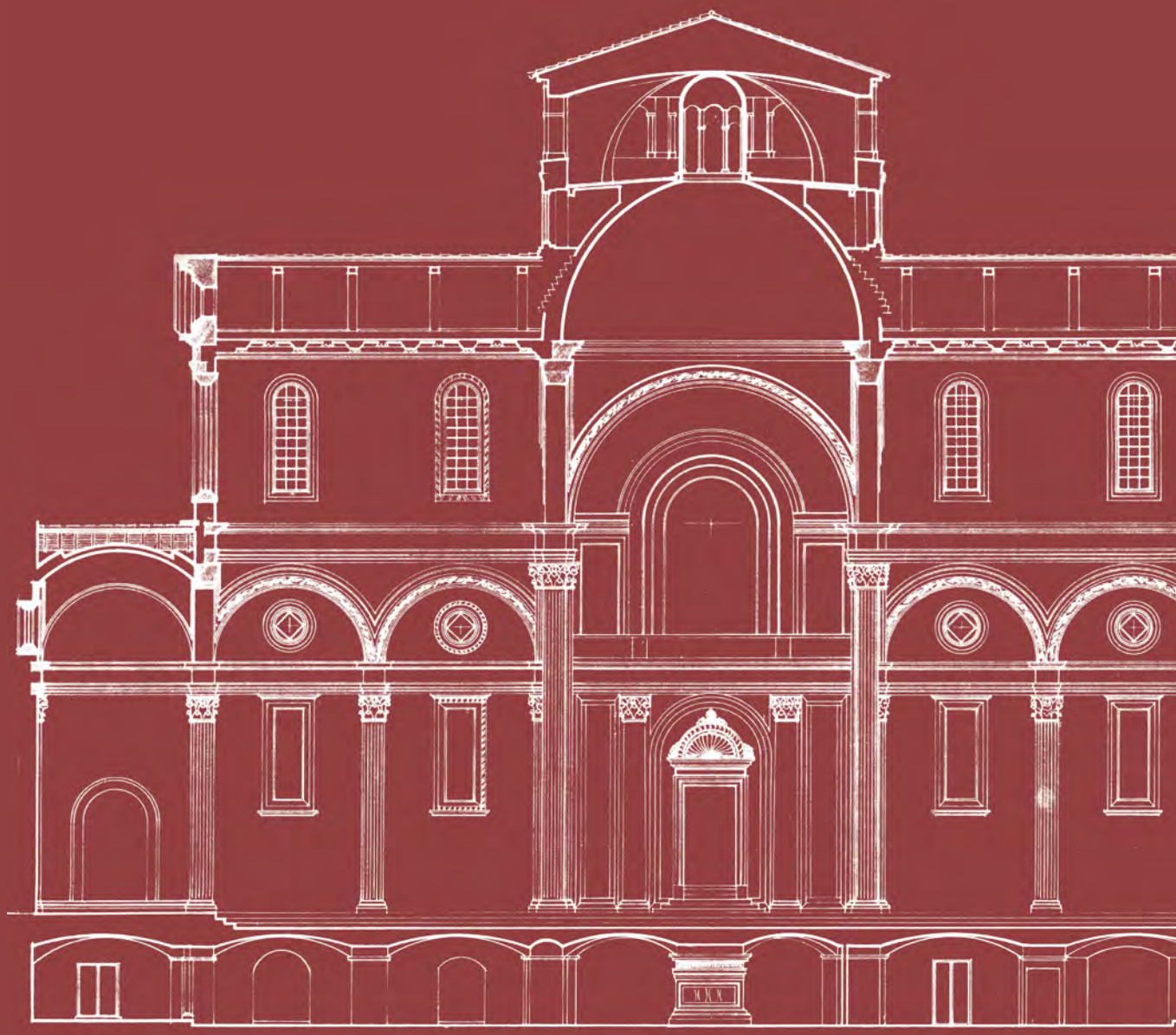
Esperienze di conservazione e restauro

Didattica, ricerca, gestione dati e progetto

a cura di
GIUSEPPE
ALBERTO
CENTAURO





La collana **Ricerche di architettura, restauro, paesaggio, design, città e territorio**, ha l'obiettivo di diffondere i risultati della ricerca in architettura, restauro, paesaggio, design, città e territorio, condotta a livello nazionale e internazionale.
Ogni volume è soggetto ad una procedura di accettazione e valutazione qualitativa basata sul giudizio tra pari affidata al Comitato Scientifico Editoriale del Dipartimento di Architettura ed al Consiglio editoriale della Firenze University Press. Tutte le pubblicazioni sono inoltre *open access* sul Web, favorendone non solo la diffusione ma anche una valutazione aperta a tutta la comunità scientifica internazionale.
Il Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze e la Firenze University Press promuovono e sostengono questa collana per offrire il loro contributo alla ricerca internazionale sul progetto sia sul piano teorico-critico che operativo.

*The **Research on architecture, restoration, landscape, design, the city and the territory** series of scientific publications has the purpose of divulging the results of national and international research carried out on architecture, restoration, landscape, design, the city and the territory.*
The volumes are subject to a qualitative process of acceptance and evaluation based on peer review, which is entrusted to the Scientific Publications Committee of the Department of Architecture (DIDA) and to the Editorial Board of Firenze University Press. Furthermore, all publications are available on an open-access basis on the Internet, which not only favors their diffusion, but also fosters an effective evaluation from the entire international scientific community.
The Department of Architecture of the University of Florence and the Firenze University Press promote and support this series in order to offer a useful contribution to international research on architectural design, both at the theoretico-critical and operative levels.

Esperienze di conservazione e restauro

Didattica, ricerca, gestione dati e progetto

a cura di
GIUSEPPE ALBERTO CENTAURO

contributi di
GIUSEPPE ALBERTO CENTAURO
GIORGIO CASELLI
MARTA CASTELLINI
SILVIO VAN RIEL
IRENE CENTAURO
DAVID FASTELLI
ANDREA BACCI
FRANCESCO MASCI
LUCA BRANDINI

Il volume è l'esito di un progetto di ricerca condotto dal Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze.
La pubblicazione è stata oggetto di una procedura di accettazione e valutazione qualitativa basata sul giudizio tra pari affidata dal Comitato Scientifico del Dipartimento DIDA con il sistema di *blind review*. Tutte le pubblicazioni del Dipartimento di Architettura DIDA sono *open access* sul web, favorendo una valutazione effettiva aperta a tutta la comunità scientifica internazionale.

in copertina

Omaggio a Filippo Brunelleschi per i 600 anni dell'apertura del cantiere della Cupola di Santa Maria del Fiore. Firenze, Basilica di San Lorenzo. Sezione al transetto, particolare (rilievo di G.A. Centauro, O. Superchi, 1977).

progetto grafico
didacommunicationlab
Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Firenze

Susanna Cerri
Federica Giulivo

didapress
Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Firenze
via della Mattonaia, 8 Firenze 50121

© 2020
ISBN 978-88-3338-113-8

Stampato su carta di pura cellulosa *Fedrigoni Arcoset*

INDICE

Nota del curatore 11
Giuseppe Alberto Centauro

Premessa 21
Giuseppe Alberto Centauro

Introduzione 27
Giorgio Caselli

Conservazione e restauro: aspetti disciplinari 31
Giuseppe Alberto Centauro

Il restauro, gli architetti, il progetto conservativo e la valorizzazione 36

Il percorso formativo 46

L'approccio al restauro architettonico 54

Breve profilo storico evolutivo 65

Lineamenti disciplinari 73

Esperienze dal mondo della didattica 81

Approfondimenti. La definizione di un palinsesto di studi per il restauro 91
Giuseppe Alberto Centauro, Margherita Pelosi

Approfondimenti. L'indagine scientifica tra conservazione e ricerca:
Il caso della Cappella Barbadori-Capponi nella Chiesa di Santa Felicita 111
Marta Castellini

Approccio al restauro strutturale 117
Silvio Van Riel

La conoscenza della struttura architettonica 117

Il consolidamento strutturale 126

Diagnostica architettonica e monitoraggio 131
Irene Centauro

Il ruolo della diagnostica per il restauro architettonico 133

Tecniche analitiche per i materiali lapidei naturali e artificiali 135

Sviluppi e prospettive future 145

Normative di riferimento 146

Gestione e analisi dati per il patrimonio architettonico 151
David Fastelli

Problematiche e nuove prospettive 153

Business Intelligence per i Beni Culturali: flusso di lavoro ed elaborazione dati 156

Applicazione della BI per il patrimonio architettonico: il caso-studio dell'Oltrarno 159

Normative di riferimento 161

Rilievo urbano e architettonico per il restauro 165
Andrea Bacci

Le attività nei laboratori didattici 167

Le metodologie 169

Lo studio delle fenomenologie urbane 172

Il rilievo del manufatto architettonico 175

L'importanza del metodo 178

Dallo studio al progetto di restauro 201
Francesco Masci

L'esperienza didattica 203

Il progetto conservativo 205

La riabilitazione funzionale 211

L'analisi dei valori 213

Procedure e normative nel restauro **235**
Luca Brandini

Riferimenti normativi e aspetti culturali, storici del progetto 235

Cenni normativi sui "livelli di progettazione" 242

Il progetto di restauro in relazione agli aspetti normativi e qualitativi 245

Epilogo **249**

La decostruzione della disciplina del restauro 251
Giuseppe Alberto Centauro

Apparati **255**

Bibliografia generale 257
a cura degli autori

Referenze grafiche e fotografiche 281

Ringraziamenti 283

Elenco studenti 284

Brevi note curriculari degli autori 285

Esperienze di conservazione e restauro

Didattica, ricerca, gestione dati e progetto

a cura di

GIUSEPPE ALBERTO CENTAURO

contributi di

GIUSEPPE ALBERTO CENTAURO, GIORGIO CASELLI,
MARTA CASTELLINI, SILVIO VAN RIEL,
IRENE CENTAURO, DAVID FASTELLI,
ANDREA BACCI, FRANCESCO MASCI, LUCA BRANDINI



Silvio Van Riel
Università degli Studi di Firenze

Abstract
Il consolidamento degli edifici storici, disciplina da sempre all'interno dell'alveo del restauro, a seguito dei disastrosi eventi sismici che hanno colpito l'Italia negli ultimi quarant'anni e che hanno evidenziato la fragilità e la criticità del costruito antico e contemporaneo, ha sollecitato la didattica a considerare non solo i dissesti statici ma, in particolar modo le vulnerabilità delle strutture al rischio sismico.
Lo studio della struttura degli edifici storici e contemporanei negli ultimi decenni ha subito una brusca accelerata dovuta alla evoluzione delle Norme Tecniche per le costruzioni che, dopo il sisma di San Giuliano di Puglia nel 2002, ha imposto una attenzione particolare alla fase diagnostica imponendo un vero e proprio percorso conoscitivo. L'imposizione di questa 'nuova' fase metodologica di approccio al progetto strutturale che interessa sia l'edilizia storica che quella contemporanea ha determinato una profonda modifica dei programmi didattici della Scuola di Architettura di Firenze, con particolare riferimento ai Laboratori di restauro e ai Laboratori di costruzione, che hanno attivato sinergie interdisciplinari essenziali per lo studio del comportamento delle strutture, sia sotto il profilo statico che sismico.

The disastrous seismic events that have hit Italy in the last forty years have highlighted the fragility and criticality of ancient and contemporary buildings. The consolidation of historic buildings, which have always been part of the restoration field, has prompted teaching to consider not only static instabilities but above all the seismic vulnerability of structures. The study of the structure of historic and contemporary buildings in recent decades has grown up dramatically due to the evolution of the Technical Standards for Constructions which, after the earthquake of San Giuliano di Puglia in 2002, imposed attention on the diagnostic phase. This "new" approach to the structural design that affects both historic and contemporary construction has determined a profound change in the educational programs of the Florence School of Architecture. In particular, the Restoration and Construction Workshops have activated an interdisciplinary approach for the study of the structural behaviour, both from a static and seismic point of view.

pagina a fronte
Il Prof. Sanpaolesi nel suo studio in via Micheli, 6
(UNIFI -AFR, AB 1025.33)

La conoscenza della struttura architettonica

Si deve a Gustavo Giovannoni, prima, a Piero Sanpaolesi poi se nel campo del restauro architettonico la formazione e la figura dell'architetto assumono un ruolo rilevante quali operatori privilegiati nel campo del restauro e della tutela, in generale, delle 'cose dell'arte' e paesaggistica.
Dopo l'esperienza delle Accademie e delle Scuola di Ingegneria, con l'istituzione della Scuole di Architettura attivata a Roma per volere del Ministro Giuseppe Bottai da Gustavo Giovannoni, Marcello Piacentini ed Alberto Calza Bini viene a crearsi una figura 'professionale' nuova all'interno della quale deve coesistere la cultura 'umanistica' e 'scientifica', nel contesto di un progetto didattico - formativo ambizioso e lungimirante. Sarà poi Piero Sanpaolesi, con la creazione nel 1957 dell'Istituto di Restauro, primo in Italia, all'interno della Facoltà di Architettura di Firenze a trasformare il restauro

architettonico da prassi 'tecnico-artistica' a 'tecnico-scientifica', dove nello studio del progetto di restauro l'indagine e lo studio sulla struttura della fabbrica era considerata operazione prioritaria ed essenziale alla corretta redazione del progetto di restauro.

Oggi, a distanza di qualche decennio, come giustamente ha rimarcato Giuseppe Alberto Centauro nel primo capitolo di questo volume, l'insegnamento della materia si è rarefatto all'interno dei Laboratori di Restauro dove in estrema sintesi veicolare nozioni specialistiche che una volta erano trattati da specifici corsi quali *Restauro dei Monumenti*, *Teoria e storia del restauro*, *Consolidamento degli edifici storici* e *Caratteri costruttivi degli edifici storici*. A questo si è supplito attivando nel *Laboratorio I* dell'insegnamento di *Caratteri costruttivi degli edifici storici* e, nel *Laboratorio* 2, quello *di Consolidamento degli edifici storici* pur consapevoli della difficoltà di svolgimento di argomenti così articolati e complessi in un lasso di tempo rigidamente ridotto, avendo sempre a memoria che questo laboratorio ha una diretta ricaduta nel campo dell'attività professionale dell'architetto. Fondamentale, quindi, è lo sviluppo coerente fra lezioni teoriche e parte applicativa sul campo per sviluppare su un tema concreto tutta la fase 'conoscitiva e diagnostica' e successivamente, il progetto di restauro dove nel primo anno sono trattati lo studio dei materiali ed il loro assemblaggio negli elementi costruttivi che formano l'ossatura strutturale della fabbrica. Nel secondo anno sono forniti i criteri di intervento specifici sulle strutture di consolidamento e riabilitazione strutturale, indicando quelli forniti dalla tecnologia attuale, più compatibili con le strutture originali. Ma questo non è ancora sufficiente alla formazione di operatori qualificati nella gestione di un progetto di restauro architettonico e strutturale; oltre alle necessarie conoscenze tecnologiche sui materiali è fondamentale comprendere il comportamento statico e sismico delle strutture esistenti, per cui è significativo l'apprendimento della scienza e della tecnica delle costruzioni.

Il crollo della scuola elementare che provocò la morte di 27 bambini e una maestra a seguito del sisma che ha colpito il comune molisano di San Giuliano di Puglia, il 31 ottobre 2002, e il relativo clamore mediatico creato nell'opinione pubblica da questa tragedia ha innescato un processo evolutivo delle Norme tecniche per le costruzioni, da tempo obsolete, che ha portato ad una diversa valutazione dell'approccio progettuale sulle strutture esistenti.

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. 617[1], aggiornate nel 2018, che hanno profondamente mutato i criteri per la valutazione della sicurezza statica e sismica degli edifici esistenti, imponendo sostanziali modifiche nel processo di indagine sulle strutture in base alla loro morfologia e prestazioni strutturali, cosa questa che ha portato alla necessità di adeguare sia la didattica che la sua ricaduta nell'attività professionale.

[1] 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) aggiornate con il Decreto 17 gennaio 2018. Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" (G.U. Suppl. Ordinario n. 42 del 20-2-2018).

Nel confronto l'attuale normativa porta una sostanziale modifica; in particolare per l'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'impostazione 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, lontano, 14 luglio 1989[2]:

«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».

[2] 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.

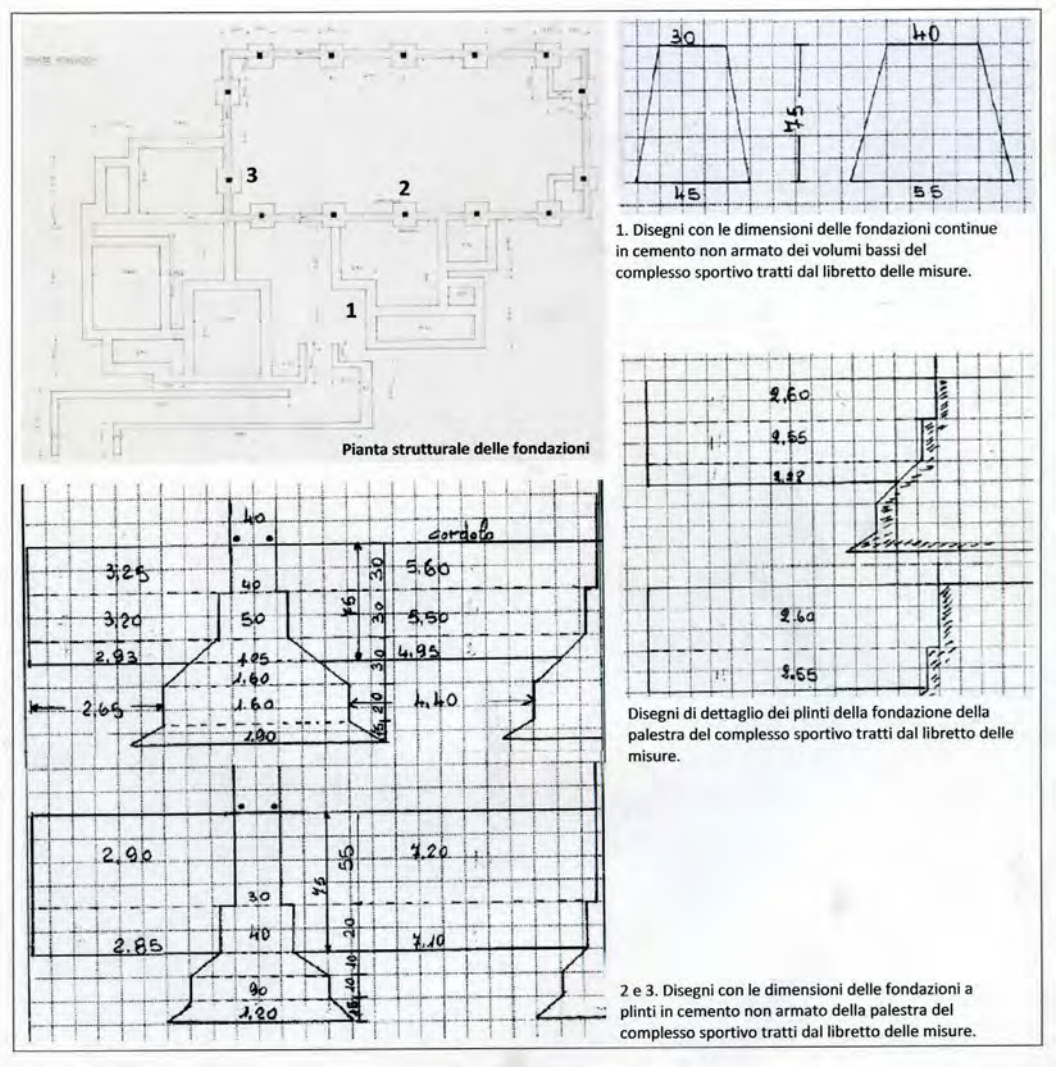


Fig. 2.1
Documentazione d'archivio di particolare interesse per la definizione delle dimensioni delle fondazioni. I disegni sono tratti dal progetto originale per la costruzione del complesso sportivo realizzato a Sarsina (FC) fra il 1969 e il 1972 ed oggi oggetto di studio per le valutazioni delle sue prestazioni statiche e sismiche, come previsto dalla normativa vigente. Gli elaborati riprodotti riguardano la documentazione relativa alla realizzazione del progetto e, in particolare, del Libretto delle Misure redatto per la contabilizzazione dei lavori per gli Stati d'avanzamento. Archivio comunale di Sarsina.

Si evince facilmente come queste indicazioni abbiano trovato corpo nella nuova normativa in particolare per quello che concerne la ricerca storico-documentale-archivistica dove l'attento esame deve portare ad esaminare i progetti ed i documenti che sono stati alla base della costruzione del fabbricato (per gli edifici più antichi fondamentali sono i progetti che nel corso del tempo hanno interessato la fabbrica). Al fine specifico dello studio strutturale risultano significativi il progetto grafico e i documenti allegati: relazioni, computi metrici, capitolati che interessano l'appalto delle opere da realizzare. Sono altresì importanti i documenti relativi alla realizzazione dell'opera quali gli stati d'avanzamento lavori, i certificati di pagamento e preziosissimo, quando disponibile, il libretto delle misure nel quale sono riportate le dimensioni delle opere realizzate da pagarsi. Questo documento, quando reperibile, permette di individuare le dimensioni e le caratteristiche esecutive di elementi non direttamente visibili, quali fondazioni, travi in C.C.A. ecc. (Fig. 2.1)

Per una trattazione sistematica delle tecniche di rilevamento architettonico e delle metodiche di restituzione grafiche si rimanda a quanto indicato nei capitoli precedenti da Giuseppe Alberto Centauro.
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'[3], 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 raccomandazioni, 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. (Figg. 2.2, 2.3)
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 interagire 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. A corredo, indispensabile, del rilievo strutturale concorrono l'esecuzione di particolari tecnici - costruttivi, in sezione

[3] 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.

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.

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, nelle cause di degrado statico. La conoscenza della geometria della struttura e del quadro dei dissesti devono risultare esaustivi ai fini di formulare delle 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 alla 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 alla eliminazione di questi elementi perturbatrici della struttura originale.

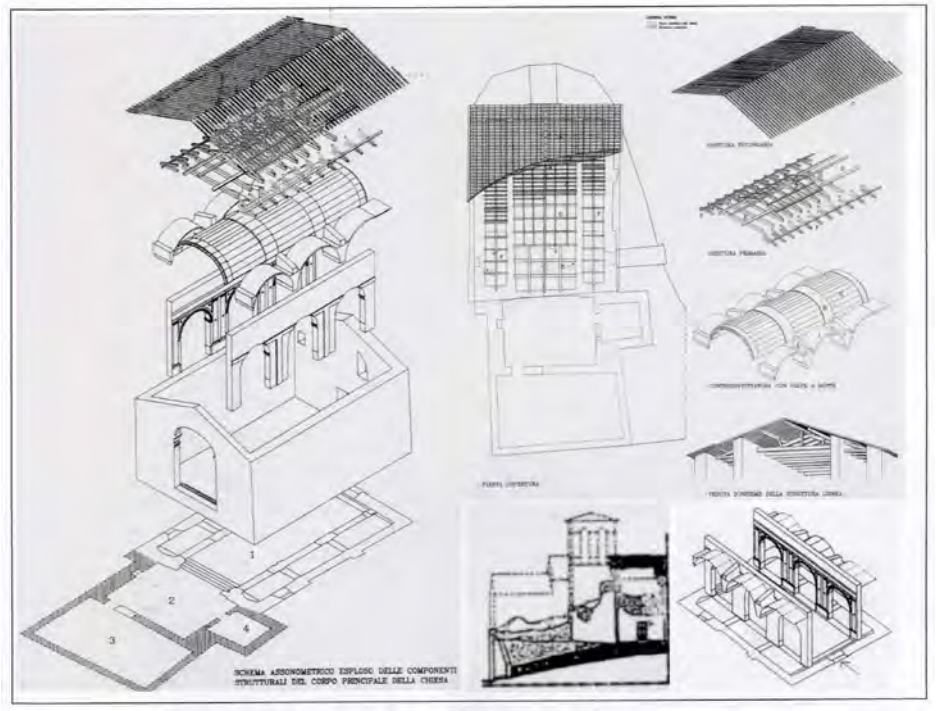
Esempi di indagini preliminari di cui possiamo disporre con maggior frequenza sono quelle a cui faremo riferimento in nota e che, anche nella prassi professionale, hanno acquisito modalità d'impiego nel campo del restauro e del consolidamento: la termografia[4], le indagini elettromagnetiche[5], le indagini soniche[6] e, ultimamente le indagini endoscopiche[7]. Sempre fra le metodiche d'indagine, in

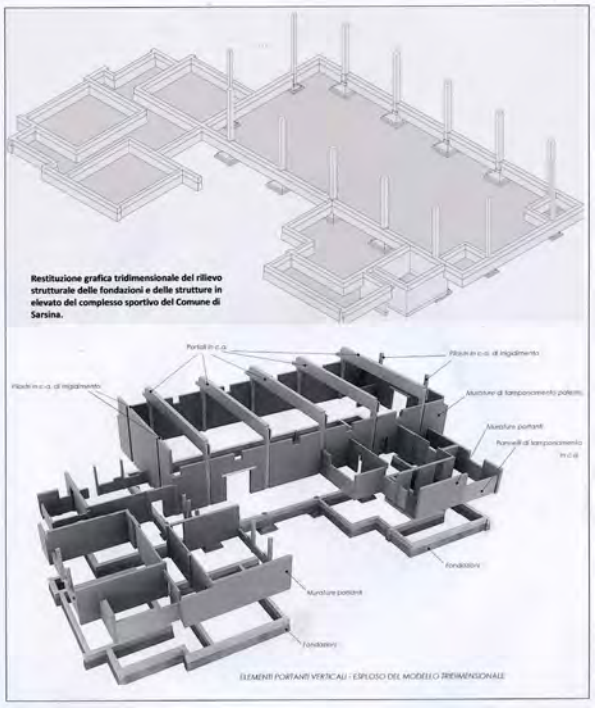
[4] L'uso della termografia come strumento di indagine in diversi campi della ricerca scientifica ha avuto inizio intorno al 1960. In campo edilizio le procedure di controllo termografiche sono particolarmente impiegate nella ricerca sulla dispersione termica negli edifici. La propagazione del calore avviene, come è noto, in tre modi diversi: per conduzione, convezione ed 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.

[5] Un altro metodo, particolarmente utile nel rilievo di strutture in cemento armato, risulta essere quello delle indagini elettromagnetiche, che comprende 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.

[6] 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.

[7] 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 di indagine su murature decorate ed apparati murari di rilevante interesse storico-artistico.





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 strutture[8].

Uno degli aspetti sul quale si è dibattuto dai tempi dell'affermazione della scienza delle costruzioni è quello riguardante il metodo per valutare correttamente la struttura[9] 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.[10]

Fig. 2.2
Tavola grafica con il rilievo strutturale della chiesa di San Lorenzo a Dignano nel Comune di Serravalle di Chienti eseguito durante la campagna di studio sui dissesti provocati dal sisma umbro -marchigiano del settembre 1997. La missione, coordinata dagli architetti Pier Luigi Foschi e Silvio Van Riel, è stata finanziata dall'Amministrazione Comunale di Rimini alla quale hanno partecipato quattro gruppi di architetti. Questi elaborati sono stati eseguiti dal gruppo dell'architetto Nedo Pivi.

Fig. 2.3
Restituzione grafica del rilievo degli elementi strutturali delle fondazioni e delle strutture in elevato del complesso sportivo comunale di Sarsina redatti nell'ambito del progetto di valutazione delle sue prestazioni statiche e sismiche. Studio redatto dagli architetti Silvio Van Riel, Iader Carlini e Alberto Ridolfi.

[8] 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.

[9] 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 Portoghesi P. 1969, V. VI, p. 99.

[10] Di Pasquale S. 2001, p. 31.

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 gli elementi 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 del contesto storico, tecnico e culturale nei quali la fabbrica architettonica è stata realizzata, valutando le fasi del processo edilizio per poter identificare la tecnica costruttiva, come giustamente oggi prevede la normativa vigente. Purtroppo, di fronte a una costruzione 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.
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 strutturale

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 variazione 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 sullo 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 e l'equilibrio tra le varie forze agenti (esterne ed interne) devono essere stabili in ogni parte strutturale oltre che per tutto l'insieme. L'alterazione del regime 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.

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; in quanto un certo dissesto può essere provocato da più tipi di cause perturbatrici. L'esperienza e l'attuale tecnologia per le indagini preliminari, permette 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, con relativa facilità, si può definire la causa e l'entità del danno.

Una struttura architettonica, pur semplice che sia, deve essere considerata come un insieme di membrature verticali e 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.

L'osservazione delle manifestazioni fessurative è di grande aiuto per la comprensione del dissesto, in quanto dal quadro delle lesioni si può individuare il sistema 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 perturbatrici) 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'.

Le principali cause che possono portate a questa forma di dissesto sono la pressoflessione e l'azione sulle strutture di appoggio e sostegno di elementi spingenti[11].

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. 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 pressoflessione, 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 sottoposte. 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 causato, da schiacciamento dei materiali con cui sono apparecchiate le strutture di sostegno.

Nelle deformazioni per spinta l'ellisse che circoscrive la zona deformata tende a stabilirsi col diametro maggiore nella direzione verticale; nella pressoflessione nella direzione orizzontale. Nella spinta la

[w] Van Riel S. 2007, pp. 38-53.

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, alla percussione offre un suono duro e secco, mentre nella pressoflessione il suono risulta sordo e cupo.

Le esperienze di conservazione e restauro e gli studi recenti, oggetto di questa pubblicazione, attengono a quanto è stato sviluppato attraverso le convenzioni stipulate con gli Uffici della Municipalità e la Curia Arcivescovile di Firenze. L'attività didattica svolta dai laboratori di restauro, dal 2016 al 2020, ha riguardato distinti approfondimenti tematici su progetti condivisi a livello pubblico sia nei suoi caratteri storico edilizi alla scala architettonica sia a quelli dedicati a comparti urbani in chiave di conservazione e riqualificazione, recupero e riuso. Gli studi sul Centro Storico di Firenze fanno parte di una lunga tradizione di ricerca che, in specie dopo l'alluvione del 1966, nei vari ambiti istituzionali e amministrativi si è andata consolidando per la salvaguardia e di corretta gestione delle risorse architettoniche ed ambientali della città.

The conservation and restoration experiences and the recent studies, object of this publication, concern what has been developed through agreements stipulated with Offices of the Municipality and the Archbishop's Curia of Florence. The teaching activity carried out from 2016 to 2020 involved several thematic insights on projects both on an urban scale and dedicated to monumental sectors, civil and religious architecture in terms of conservation and requalification, recovery and reuse. The studies on the Historic Centre of Florence are part of a long research tradition which, after the flood of 1966, has consolidated in various institutional and administrative areas for the safeguard and correctly manage the city's architectural and environmental resources.

Giuseppe Alberto Centauro. Professore di restauro, titolare di docenza nei Corsi di Studio di primo, secondo e terzo livello attivi presso il Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze. È autore di più di 250 pubblicazioni, monografie e articoli a stampa nei campi della conservazione dei beni culturali e del restauro, (opere d'arte, monumenti, centri storici e paesaggio), dell'archeologia e della storia dell'architettura e della diagnostica architettonica. Responsabile Scientifico di Ricerca in oltre 30 progetti in ambito pubblico e privato. In oltre 40 anni di attività ha condotto numerosi interventi di restauro su edifici di interesse storico artistico, complessi monumentali, spazi urbani posti in compendi storicizzati.

Giuseppe Alberto Centauro. *Professor of Restoration, holder of first, second and third level Courses of Study at the Architecture Department of University of Florence. He is the author of 250 publications and press notes in the fields of conservation of cultural heritage and restoration, (works of art, monuments, historical centres and landscapes), also archaeology and architectural history and architectural diagnostics. Scientific head of research of more than 30 projects in the public and private sectors. He has designed many restoration interventions on buildings of historical and artistic interest, monumental complexes and urban space located in historicized urban compendia in over 40 years of activity.*

ISBN 978-88-3338-113-82

9 788833 381138

€ 35,00