

# Masonry between Art and Science: guidelines for restoring hall buildings

Fabio De Guglielmo<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> *University of Salerno, Via Giovanni Paolo II, 132, Fisciano (Salerno), 84084, Italy*

---

## Highlights

The recognition of a well-executed masonry structure is a prerequisite for the choice of the analysis model. Based on the limit analysis, a structural theory using Heyman's assumptions and allowing to determine the equilibrium configurations of masonry structures through a quite simple computational procedure is proposed. Hall buildings have been selected for the study because of their monumental importance and relevant vulnerability to not ordinary actions. Strengthening interventions have to respect the principles of conservation.

---

## Abstract

In this paper a methodology of analysis and intervention for masonry structures is proposed, with particular reference to hall buildings, whose composition is governed by a continuous space with a representative function. In a climate where the principles of restoration are to be respected along with those of structural safety, it is necessary to carefully study the historical, geometric and technological aspects of buildings and use models of structural analysis which allow to limit the consolidation works by interpreting the actual static behavior of masonry constructions.

---

## Keywords

Masonry, Hall Buildings, Restoration, Consolidation, Structural Analysis

---

## 1. INTRODUZIONE

È ormai acquisito nel campo teorico che il consolidamento statico degli edifici non può essere considerato un'operazione distinta e separabile dal restauro architettonico, ma viceversa ne rappresenta una delle molteplici ed inscindibili componenti. È necessario, quindi, che nella valutazione del livello di sicurezza di un edificio storico e, quindi, nell'individuazione dei più appropriati interventi, si applichino i metodi propri del restauro, partendo cioè dallo studio storico e dei comportamenti effettivi dei materiali e degli elementi costruttivi, per tendere alla conservazione non solo dei caratteri formali degli edifici, ma anche di quelli materiali. Un'operazione di consolidamento, che non si basi su un attento controllo storico-critico, rischia infatti di snaturare il modello statico originario dell'edificio e di cancellare importanti testimonianze di storia materiale, oltre ad innescare, spesso, danni indotti dagli stessi interventi finalizzati a "riparare" o ad "adeguare".

Partendo da queste premesse, la ricerca condotta si focalizza sullo studio degli edifici storici in muratura e si pone l'obiettivo, attraverso l'analisi degli aspetti costruttivi e del particolare comportamento statico, di individuare le corrette metodologie di intervento per gli edifici ad aula, di particolare interesse sia dal punto di vista storico che strutturale.

---

\* Corresponding author. Mobile phone: +39-328-5431268; e-mail: fdeguglielmo@unisa.it

## 2. STATO DELL'ARTE

Negli ultimi tempi, lo studio del *De Architectura* di Vitruvio [1], l'interpretazione dei disegni di cantiere medievali [2] e l'attenzione prestata alla letteratura tecnica dell'Età Moderna [3] e ai manuali di Ingegneria Civile del diciannovesimo secolo [4] hanno permesso la riscoperta di un codice di lettura degli edifici in muratura che sembrava essere andato ormai perduto.

Tuttavia, se nell'ambito più strettamente teorico si è assistito ad una progressiva crescita della sensibilità verso tecniche e procedimenti di recupero più attenti alla logica del costruire antico, nella prassi permane innegabilmente una certa inerzia nell'accettare la "diversità" della muratura, i cui metodi di analisi ancora oggi appaiono in parte prigionieri della camicia di forza imposta dal modello elastico per le strutture intelaiate e comportano l'impiego di tecniche di intervento spesso invasive.

Nel panorama storico recente, tale "diversità" è stata accettata dalle teorie, ricerche ed esperienze cantieristiche di Michele Pagano [5], Bruno Calderoni [6], Antonino Giuffrè [7], Edoardo Benvenuto [8], Mario Como [9] e pochi altri [10]. Essi hanno contribuito considerevolmente al tema dell'analisi delle costruzioni in muratura, sulle orme dello straordinario impulso dato dall'opera carismatica di Salvatore Di Pasquale, il quale dimostrò come gli antichi costruttori avessero sopperito alla mancanza di conoscenze matematiche e fisiche adeguate, mediante l'acquisizione di un'esperienza basata sull'individuazione degli effetti, piuttosto che sulla scienza delle cause [11]. Jacques Heyman, pure, con una solida base scientifica, ma senza l'uso di matematica complessa, fornì una conoscenza approfondita e intuitiva delle strutture murarie, che gettò le basi dell'analisi della muratura e delle strutture da essa costituite, fondamentali per l'approfondimento degli studi [12].

Tra gli edifici in muratura, quelli ad aula, la cui composizione è governata da uno spazio continuo a carattere rappresentativo [13], risultano particolarmente interessanti per lo studio proposto. Sensibilmente vulnerabili alle azioni non ordinarie, in quanto caratterizzate da pareti snelle e orizzontamenti spingenti di notevole luce, le architetture ecclesiastiche storiche, che sono gli esempi più diffusi di strutture ad aula, sono documenti di storia materiale di indiscutibile valenza storica, estetica, economica e simbolica, che vanno valorizzati e tutelati. Già Francesco Doglioni aveva sistematizzato la lettura dei dissesti nelle chiese, correlandola alla storia costruttiva e alla configurazione architettonica delle stesse, e individuato, per esse, gli interventi finalizzati alla mitigazione dei danni [14]. Si trattava, tuttavia, di un lavoro basato sull'osservazione sistematica di casi reali, mai verificato da un valido modello interpretativo di analisi strutturale.

### **3. METODOLOGIA**

Preso in esame un edificio ad aula in muratura, il primo passo consiste nello studio dei suoi aspetti storici e costruttivi attraverso il rilievo geometrico e tecnologico, il riconoscimento delle regole dell'arte, la ricostruzione della storia costruttiva, l'analisi dei dissesti e del degrado, lo studio critico degli interventi subiti in passato.

Il secondo passo consiste nell'analisi per macroelementi del comportamento strutturale della costruzione storica. Verificata la corretta esecuzione della muratura, è possibile adottare per tale analisi un modello semplificato basato sulle ipotesi proposte da Heyman: la muratura non resiste a trazione e quindi si frattura a costo energetico nullo, è indefinitamente rigida e resistente a compressione, non slitta sulle superfici di frattura. Il modello interpretativo coglie gli aspetti essenziali del comportamento delle murature e, introducendo le ipotesi di resistenza a trazione nulla e assenza di scorrimenti, si libera delle difficoltà connesse alla descrizione meccanica della fragilità e dell'attrito, consente l'applicazione dei teoremi dell'analisi limite e riconduce, quindi, lo studio delle costruzioni in muratura in un contesto teorico consolidato [15].

Il terzo passo consiste nella definizione delle eventuali opere di consolidamento da prevedere per l'edificio, individuabili solo a seguito dei risultati ottenuti dalle precedenti analisi. Gli interventi proposti non solo sono finalizzati a garantire la sicurezza strutturale, ma anche ad assicurare il rispetto dei principi del restauro e della conservazione.

Il quarto passo prevede la verifica dell'efficacia dell'intervento individuato mediante una ulteriore analisi, che tenga conto dell'operazione di consolidamento adottata.

### **4. RISULTATI**

L'interpretazione della letteratura tecnica storica ha consentito di individuare le regole dell'arte seguite per la realizzazione di murature ben eseguite, la cui composizione può essere spesso riconosciuta attraverso il solo esame visivo del suo paramento esterno.

L'originale modello di analisi strutturale proposto è stato verificato per alcuni edifici in muratura dissestati. I risultati ottenuti sono compatibili con gli effettivi quadri fessurativi rilevati, hanno permesso di individuare la tipologia e la localizzazione degli interventi di consolidamento da adottare e verificato la loro efficacia.

E' stato provato come l'inserimento di catene, disposte a livello degli orizzontamenti e in corrispondenza dei muri portanti, non solo fornisca un vincolo contro il ribaltamento fuori piano dei pannelli murari, ma migliori anche il comportamento delle pareti nel piano. Utilizzate pure per compensare le spinte indotte da archi e volte, le catene impediscono l'allontanamento reciproco dei sostegni verticali su cui gli orizzontamenti sono impostati, pregiudicando l'evoluzione di un eventuale quadro fessurativo. L'impiego di tali elementi metallici nelle operazioni di consolidamento di edifici ad aula scaturisce, tuttavia, da motivazioni non solo

puramente tecniche, ma anche di carattere architettonico: si configura, infatti, tra i migliori interpreti di quella linea di restauro che fornisce all'intervento autonomia formale e reversibilità.

## **5. CONCLUSIONI**

Gli antichi avevano già inteso il concetto di unilateralità della muratura, in quanto realizzavano le loro costruzioni sfruttando la resistenza a compressione del materiale. Conoscevano bene il problema delle spinte dovute alle strutture orizzontali (archi, volte e cupole), proponendo soluzioni efficaci che ne limitassero gli effetti. Oggi, chi si trova ad operare sugli edifici storici ha bisogno di conoscere la fabbrica in tutte le sue valenze: un'attenta analisi strutturale, accompagnata a uno studio storico-critico, consente ai nuovi "addetti ai lavori" di limitare gli interventi di consolidamento e di individuarli tra quelli compatibili con le caratteristiche peculiari dell'edificio.

## **6. NOTA FINALE**

La ricerca è condotta da Fabio De Guglielmo, dottorando di ricerca in Ingegneria delle Strutture e del Recupero Edilizio ed Urbano, sotto la guida dei tutor Federica Ribera, professore associato di Architettura Tecnica (ICAR/10), e Maurizio Angelillo, professore ordinario di Scienza delle Costruzioni (ICAR/08).

## **7. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI**

- [1] D. Barbaro, I dieci libri dell'architettura di M. Vitruvio (1567)
- [2] F. Aceto, Cantieri medievali, Jaca Book (1995)
- [3] L. Trogu Rohrich, Le tecniche di costruzione nei trattati di architettura, Edicom Edizioni (1999)
- [4] C. Formenti, La pratica del fabbricare (1893)
- [5] M. Pagano, Teoria degli Edifici, Vol. 1: Edifici in muratura, Liguori Editore (1983)
- [6] P. Lenza, A. Ghersi, B. Calderoni, Edifici in muratura, Dario Flaccovio Editore (2012)
- [7] A. Giuffrè, Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso Ortigia, Laterza Editore (1993)
- [8] E. Benvenuto, An introduction to the history of structural mechanics, Springer-Verlog (1991)
- [9] M. Como, Statica delle costruzioni storiche in muratura, Aracne (2010)
- [10] M. Candela, Il restauro strutturale in zona sismica, Gangemi Editore (2001)
- [11] S. Di Pasquale, L'arte del costruire, Marsilio Editore (1996)
- [12] J. Heyman, The Stone Skeleton, Cambridge University Press (1997)
- [13] R. Capozzi, Le architetture ad aula: il paradigma Mies van der Rohe, Clean Edizioni (2011)
- [14] F. Doglioni, A. Moretti, G. Petrini, Le chiese e il terremoto, Lint Editoriale Associati (1994)
- [15] F. De Guglielmo, M. Angelillo, F. Ribera, Masonry walls between Art and Science: historical building techniques and structural analysis according to Heyman's assumptions, in SAHC 2014 - 9th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, F. Peña & M. Chávez eds. (2014)