



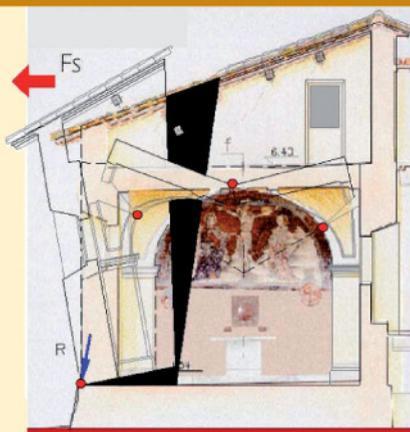
Giovanni Cangi Mauro Caraboni Alessandro De Maria



# ANALISI STRUTTURALE PER IL RECUPERO ANTISISMICO

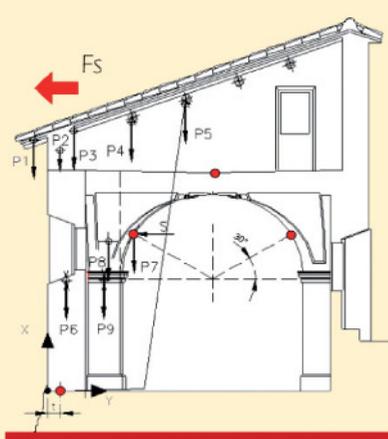
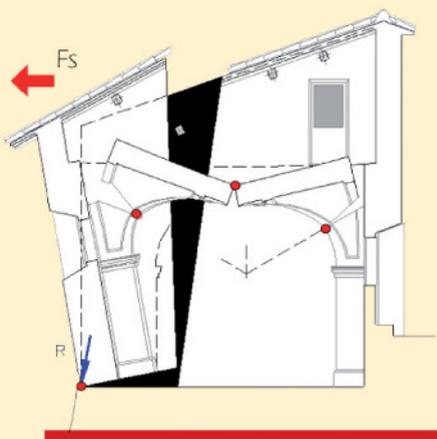


Calcolo dei cinematici per edifici  
in muratura secondo le NTC



nel CD Rom

- Schede di calcolo
- Repertorio fotografico dei danni
- Esempi svolti



**Giovanni Cangi** è ingegnere civile edile, svolge attività professionale dal 1985 occupandosi prevalentemente di interventi sull'edilizia storica minore ed è docente di Costruzioni presso l'I.T.C.G. "I. Salviani" di Città di Castello (PG). Ha partecipato all'attività del Laboratorio Urbanistico per il Centro Storico di Città di Castello (1988-1992) occupandosi della redazione del Manuale del Recupero (1992).

Ha partecipato alla redazione dei manuali del recupero del centro storico di Palermo (1997), del Comune di Roma – II Edizione (1997), del Codice di Pratica per la sicurezza e la conservazione del centro storico di Palermo (1998) e del Manuale per la Riabilitazione e la Ricostruzione post-sismica degli edifici (Regione Umbria 1999).

Nell'attività professionale e di ricerca ha collaborato con Francesco Giovanetti, con Antonino Giuffrè e Paolo Marconi per lo sviluppo di indagini sul comportamento sismico degli edifici storici e con Antonio Borri e Antonio Avorio per l'analisi delle strutture murarie danneggiate dalla crisi sismica del 1997 in Umbria-Marche.

È docente nei Corsi di aggiornamento professionale sulla Diagnosi e sicurezza nelle costruzioni in muratura e Consolidamento e restauro delle strutture murarie e sulla Nuova Normativa Tecnica del Centro Studi "Sisto Mastrodicasa". Nel 2005 ha pubblicato il "Manuale del Recupero Strutturale e Antisismico" – DEI, Tipografia del Genio Civile di Roma.

*A Rita Massetti, mia madre*

**Mauro Caraboni** si laurea nel 2004 in Ingegneria Civile indirizzo Strutture, presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Perugia. Nello stesso anno fa le prime esperienze lavorative presso lo Studio M&G Engineering di Spoleto, che in quegli anni si occupa prevalentemente di interventi di ristrutturazione del patrimonio edilizio e monumentale danneggiato dalla crisi sismica umbro-marchigiana del '97. Nel 2006 viene assunto in qualità di responsabile dell'ufficio tecnico dall'Ediltecnica SpA, impresa di costruzioni attiva nel centro-nord Italia nel campo delle ristrutturazioni e delle nuove costruzioni. Nel 2009 consegue il Master universitario di secondo livello in "Miglioramento sismico, restauro e consolidamento del costruito storico e monumentale" diretto dal Prof. Ing. Antonio Borri, presso l'Università degli Studi di Perugia, promosso e organizzato dal Centro Studi Sisto Mastrodicasa in collaborazione col Comune di Foligno. Durante il corso, vista la concomitanza degli eventi sismici de L'Aquila, fa parte del gruppo di studio che si occupa dell'analisi del quadro di dissesto della Chiesa di S.Silvestro a L'Aquila, coordinato dall'Ing. Giovanni Cangi e dall'ing. Fabrizio Menghini, argomento che poi costituirà la tesi del Master stesso.

*A mia moglie Monia*

**Alessandro De Maria** Laureato in Ingegneria Civile Strutturale, svolge le prime esperienze lavorative presso lo studio tecnico di ingegneria Umbrioprogetti di Umbertide.

Dal 2000 lavora al Servizio Controllo Costruzioni e Protezione Civile della Provincia di Perugia, svolgendo attività di controllo e vigilanza su progetti, cantieri e consulenze strutturali. Con i colleghi della Provincia di Perugia ha collaborato a numerosi lavori sulla qualità della ricostruzione in Umbria dopo il sisma del 1997, sulla prevenzione sismica, e sul danneggiamento di Onna dopo il terremoto del 6 aprile 2009. Per la Provincia di Perugia ha partecipato al censimento danni del sisma abruzzese del 2009.

Ha partecipato ad alcuni lavori in collaborazione con la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Perugia, in particolare con il Prof. Ing. Antonio Borri, interessandosi dei danni prodotti dal sisma umbro-marchigiano del settembre 1997 a Sellano, dell'analisi di vulnerabilità sismica dei centri storici (Città di Castello e Gubbio). Nel 2005-2008 ha partecipato ai lavori per il Progetto di Ricerca ReLUIIS per la proposta di un indice sulla qualità muraria (IQM).

È coautore di alcuni articoli pubblicati su riviste settoriali (L'Ingegneria Sismica, L'Edilizia) sul tema del comportamento sismico di edifici in muratura e di alcune pubblicazioni sugli stessi temi.

Attualmente è fra i docenti dei corsi organizzati dal Centro Studi Mastrodicasa sul tema del comportamento sismico di edifici in muratura esistenti.

*Alla mia famiglia*

Copyright © 2010 DEI s.r.l. TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE  
Roma, Via Nomentana, 16 - 00161 Roma  
Tel. 06.4416371 Fax 06.4403307  
e-mail dei@build.it  
<http://www.build.it>

I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento, totale o parziale con qualsiasi mezzo (compreso i microfilm e le copie fotostatiche) sono riservati per tutti i Paesi.

L'elaborazione dei testi, anche se curata con scrupolosa attenzione, non può comportare specifiche responsabilità per eventuali involontari errori o inesattezze.

# **ANALISI STRUTTURALE PER IL RECUPERO ANTISISMICO**

Calcolo dei cinematismi per edifici  
in muratura secondo le NTC

# Indice

<b>Presentazione</b> .....	13
<b>Introduzione</b> .....	19
<b>1. Richiami sulla meccanica delle murature</b>	
1.1. Risposta sismica delle murature: il modello ad “archi virtuali” .....	23
1.2. Tipologia e qualità delle murature .....	34
1.3. Classificazione degli interventi e criteri per le verifiche sismiche locali e globali .....	38
1.4. Verifiche locali con il metodo dei cinematismi di collasso .....	43
1.5. Indagine storica e rilievo critico .....	44
1.6. Richiami sulla caratterizzazione dei materiali .....	52
1.7. Elementi di confronto fra vecchia e nuova normativa .....	53
<b>2. Individuazione e modellazione dei cinematismi di collasso</b>	
2.1. Costruzione del modello di analisi .....	61
2.1.1. Parametri di resistenza: forma, coesione ed attrito .....	64
2.1.2. Linea critica di lesionamento e cunei di distacco .....	66
2.2. Effetto degli interventi di consolidamento .....	69
2.3. Comportamento di archi e volte ed effetti delle spinte .....	78
2.4. Cedimenti fondali .....	83
<b>3. Analisi limite. Inquadramento normativo</b>	
3.1. Tipologie di analisi per edifici in muratura .....	89
3.2. Inquadramento storico e normativo .....	91
3.3. Quadro normativo italiano vigente (luglio 2010) .....	94
3.4. Parametri di sito e vita nominale .....	96
3.4.1. Determinazione dei parametri sismici legati al sito geografico, alla vita nominale ed alla classe d’uso dell’opera .....	96
3.4.2. Determinazione del coefficiente <i>S</i> di amplificazione topografica e stratigrafica .....	99
3.4.3. Determinazione dello spettro di risposta .....	100
3.4.4. Combinazione delle azioni statiche e sismiche .....	101
<b>4. Analisi cinematica lineare</b>	
4.1. Concetti generali e procedura per l’analisi cinematica lineare .....	103

4.2. Individuazione del/dei meccanismo/i .....	103
4.3. Modellazione del meccanismo .....	104
4.3.1. <i>Analisi della qualità muraria al fine di determinarne i parametri meccanici di resistenza</i> .....	104
4.3.2. <i>Valutazione di altri parametri caratteristici della muratura e funzionali alle verifiche</i> .....	106
4.3.3. <i>Valutazione delle forze</i> .....	109
4.3.3.1 <i>Pesi propri delle porzioni murarie</i> .....	109
4.3.3.2 <i>Carichi verticali</i> .....	109
4.3.3.3 <i>Azioni sismiche</i> .....	115
4.3.3.4 <i>Spinte non inerziali</i> .....	115
4.3.3.5 <i>Azioni di trattenimento dovute a dispositivi di vincolo</i> .....	115
4.3.3.6 <i>Forze attrittive</i> .....	119
4.3.3.7 <i>Forze coesive</i> .....	119
4.3.3.8 <i>Azioni varie</i> .....	120
4.3.4. <i>Arretramento delle cerniere di rotazione</i> .....	121
4.4. Calcolo del moltiplicatore $\alpha_0$ .....	123
4.4.1. <i>Il metodo dell'equilibrio alla rotazione</i> .....	123
4.4.2. <i>Moltiplicatore di innesco/fessurazione e di crisi e moltiplicatore di attivazione</i> .....	123
4.4.3. <i>Relazione fra "stati" di danno e configurazioni assunte dai moltiplicatori</i> .....	125
4.4.4. <i>Calcolo del moltiplicatore <math>\alpha_0</math> con il metodo del PLV</i> .....	126
4.5. Calcolo dell'accelerazione di attivazione $\alpha_0^*$ .....	128
4.6. Verifica allo Stato Limite di Danno .....	131
4.6.1. <i>Verifica 1 (SLD con accelerazione al suolo)</i> .....	131
4.6.2. <i>Verifica 2 (SLD con accelerazione in quota)</i> .....	132
4.7. Verifica allo Stato Limite Ultimo .....	134
4.7.1. <i>Verifica 1 (SLV con accelerazione al suolo)</i> .....	134
4.7.2. <i>Verifica 2 (SLV con accelerazione in quota)</i> .....	136
<b>5. Analisi cinematica non lineare</b>	
5.1. Concetti generali .....	137
5.2. Procedura di analisi cinematica non lineare .....	140
5.3. Individuazione e modellazione del meccanismo e valutazione di $\alpha_0$ .....	141
5.4. Scelta punto di controllo K per gli spostamenti .....	141
5.5. Spostamento $d_{k,0}$ del punto di controllo per cui si ha l'annullamento del moltiplicatore $\alpha$ .....	142
5.6. Dallo spostamento $d_{k,0}$ allo spostamento $d^*_0$ .....	145
5.7. Costruzione della "curva di capacità" nel piano $a^*-d^*$ .....	146

5.8. Valutazione dello “spostamento ultimo” $d_u^*$ .....	146
5.9. Calcolo del periodo secante $T_s$ .....	148
5.10. Verifica SLV per accelerazione al suolo .....	150
5.11. Verifica SLV per accelerazione in quota .....	150
<b>6. Esempio di analisi: la parete sollecitata nel piano</b>	
6.1. Introduzione .....	153
6.2. Parete semplice senza facciata e senza solai .....	154
6.3. Parete semplice con facciata e senza solai .....	159
6.4. Parete semplice con facciata e con solai .....	164
6.5. Verifica delle tre pareti allo SLV .....	172
6.6. Ulteriori verifiche previste dalle NTC 2008 per pareti murarie sollecitate nel loro piano .....	174
6.6.1. <i>Pressoflessione</i> .....	174
6.6.2. <i>Taglio per fessurazione diagonale</i> .....	175
6.6.3. <i>Taglio scorrimento</i> .....	177
6.6.4. <i>Ribaltamento rigido dell'intero pannello</i> .....	178
<b>7. Automatizzazione delle procedure di calcolo</b>	
7.1. Fogli di calcolo .....	179
7.2. Foglio di calcolo per analisi cinematica lineare .....	180
7.2.1. <i>Introduzione</i> .....	180
7.2.2. <i>Fase di input dati generali</i> .....	181
7.2.3. <i>Fase di input della geometria del cinematismo</i> .....	183
7.2.4. <i>Arretramento del polo di rotazione del cinematismo</i> .....	184
7.2.5. <i>Calcolo dei momenti spingenti e resistenti</i> .....	185
7.2.6. <i>Calcolo dei moltiplicatori <math>\alpha</math></i> .....	187
7.2.7. <i>Calcolo dell'accelerazione di attivazione del cinematismo <math>\alpha_0^*</math> e verifiche</i> .....	188
7.3. Fogli di calcolo per analisi cinematica lineare col PLV e per analisi cinematica non lineare .....	189
7.3.1. <i>Introduzione</i> .....	189
7.3.2. <i>Dati di input</i> .....	189
7.3.3. <i>Inserimento forze peso <math>P_i</math></i> .....	191
7.3.4. <i>Inserimento forze <math>P_j</math></i> .....	194
7.3.5. <i>Inserimento forze spingenti <math>F_h</math> e lavoro interno <math>L_{fi}</math></i> .....	195
7.3.6. <i>Verifica con analisi cinematica lineare: determinazione accelerazione di attivazione</i> .....	197
7.3.7. <i>Analisi cinematica non lineare</i> .....	198

<b>8. Esempio di analisi: la Chiesa di Userna</b>	
8.1. Introduzione .....	203
8.2. Individuazione e modellazione del meccanismo e valutazione di $\alpha_0$ .....	203
8.3. Analisi lineare con il metodo dell'equilibrio .....	205
8.3.1. <i>Dati preliminari</i> .....	205
8.3.2. <i>Valutazione forze <math>P_i</math> applicate sul cinematismo</i> .....	206
8.3.3. <i>Momento spingente in fase sismica</i> .....	208
8.3.4. <i>Momento spingente esterno</i> .....	209
8.3.5. <i>Momento resistente di forma</i> .....	209
8.3.6. <i>Momento resistente d'attrito</i> .....	210
8.3.7. <i>Momento resistente di coesione</i> .....	210
8.3.8. <i>Moltiplicatori di crisi</i> .....	210
8.3.9. <i>Parametri di sito e di terreno</i> .....	212
8.3.10. <i>Calcolo della massa partecipante</i> .....	213
8.3.11. <i>Verifiche di sicurezza</i> .....	214
8.4. Analisi non lineare. Dati di input e valutazione dell'accelerazione di attivazione .....	214
8.4.1. <i>Introduzione</i> .....	214
8.4.2. <i>Dati di input</i> .....	214
8.4.3. <i>Forze peso generiche <math>P_i</math> spingenti sismicamente e stabilizzanti</i> ...	216
8.4.4. <i>Forze peso <math>P_j</math> solo spingenti in fase sismica ma non stabilizzanti</i> .	218
8.4.5. <i>Forze esterne orizzontali <math>F_h</math> non dipendenti dal sisma</i> .....	219
8.4.6. <i>Verifiche SLV preliminari (analisi cinematica lineare)</i> .....	219
8.5. Analisi non lineare. Curva di capacità e verifiche di sicurezza allo SLV ....	220
8.5.1. <i>Convenzioni</i> .....	220
8.5.2. <i>Scelta punto di controllo <math>K</math> per gli spostamenti</i> .....	220
8.5.3. <i>Spostamento <math>d_{k,0}</math> del punto di controllo per cui si ha l'annullamento del moltiplicatore <math>\alpha</math></i> .....	221
8.5.4. <i>Dallo spostamento <math>d_{k,0}</math> allo spostamento <math>d^*_0</math></i> .....	221
8.5.5. <i>Definizione degli spostamenti limite (SLV)</i> .....	222
8.5.6. <i>Determinazione della domanda di spostamento e verifiche (SLV)</i> .	223
8.6. Chiesa di Userna. Stato di progetto .....	224
8.6.1. <i>Forza minima di trattenimento</i> .....	224
8.6.2. <i>Analisi lineare. Verifica allo stato di progetto</i> .....	226
8.6.3. <i>Analisi non lineare allo stato di progetto</i> .....	228
<b>9. Esempio di analisi: un edificio a Gubbio</b>	
9.1. Introduzione .....	235
9.2. Parametri legati alla sismicità dell'area .....	235

9.3. Condizioni di vincolo per la parete in esame .....	237
9.4. Analisi della muratura .....	238
9.5. Analisi dei carichi .....	239
9.6. Analisi lineare (stato attuale, metodo dell'equilibrio) .....	241
9.6.1. Calcolo dell'accelerazione di attivazione del meccanismo $\alpha_0^*$ .....	241
9.6.2. Verifica allo Stato Limite di Danno .....	243
9.6.3. Verifica allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) .....	245
9.7. Verifica con analisi cinematica non lineare (stato attuale) .....	246
9.7.1. Inserimento dei dati di input .....	247
9.7.2. Inserimento dei pesi $P_i$ .....	248
9.7.3. Arretramento della cerniera di rotazione .....	248
9.7.4. Inserimento delle coordinate dei punti di applicazione delle forze ..	248
9.7.5. Verifiche con analisi lineare (stato attuale, metodo PLV) .....	249
9.7.6. Punto di controllo $K$ e suo spostamento .....	249
9.7.7. Curva di capacità della struttura .....	251
9.7.8. Calcolo del periodo secante $T_S$ .....	252
9.7.9. Verifica allo SLV (stato attuale) .....	252
9.8. Progettazione del dispositivo di vincolo .....	253
9.9. Analisi lineare. Stato di progetto .....	256
9.10. Analisi non lineare allo stato di progetto .....	262
<b>10. Valutazione di sicurezza degli elementi strutturali in legno</b>	
10.1. Richiami alla teoria degli Stati Limite .....	267
10.2. Azioni sulle costruzioni e loro combinazioni .....	267
10.3. Il legno come materiale da costruzione .....	269
10.3.1. Determinazione della resistenza di calcolo per il legno massiccio e lamellare .....	271
10.3.2. Verifiche di resistenza (SLU) .....	276
10.3.3. Verifiche di stabilità (SLU) .....	279
10.3.4. Verifiche di deformabilità (SLE) .....	280
<b>11. Valutazione di sicurezza di solai e coperture in legno - schede di calcolo</b>	
11.1. Introduzione all'uso delle schede di calcolo .....	283
11.2. Valutazione della sicurezza dei solai in legno – Esempi di calcolo .....	284
11.2.1. Solaio in legno a doppia orditura e tavolato – valutazione della si- curezza dello stato attuale .....	284
11.2.2. Solaio in legno e mezzane a doppia orditura con trave rompitratta – valutazione della sicurezza dello stato attuale .....	292
11.3. Valutazione della sicurezza delle coperture in legno – Esempi di calcolo ..	295

---

<i>11.3.1. Copertura in legno e pannelle a doppia orditura su capriata palladiana</i> .....	295
<i>11.3.2. Copertura in legno e pannelle a doppia orditura su capriata alla Polonceau</i> .....	303
<b>Bibliografia</b> .....	307
<b>Sitografia</b> .....	315

## Ringraziamenti

---

Questo libro vede la luce grazie all'impegno dei tre Autori e alla collaborazione di più soggetti che hanno contribuito a vario titolo alla revisione dei testi e all'aggiornamento del materiale grafico e fotografico.

Gli autori ringraziano sentitamente l'Arch. Francesco Giovanetti e il Prof. Antonio Borri, autori della Premessa e Introduzione e preziosi punti di riferimento per la maturazione delle idee contenute in questo libro.

Giovanni Cangì ringrazia inoltre il Prof. Paolo Marconi della Facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Roma Tre per le esperienze straordinarie maturate nell'ambito dei *Master sul Restauro Architettonico e Recupero Edilizio, Urbano e Ambientale*, condivise per oltre un decennio con Michele Zampilli, Francesca Romana Stabile, Antonio Pugliano, Architetti, docenti presso la stessa Università e con Francesco Giovanetti.

Ringrazia, inoltre, il Prof. Giovanni Calabresi per i preziosi insegnamenti ricevuti, l'Arch. Maria Grazia Filetici della Soprintendenza Archeologica di Roma per le opportunità offerte nello studio delle tecniche costruttive antiche, ricordando anche l'aiuto e la disponibilità dell'amico Ing. Vittorio Ascoli Marchetti, i Professori Luigi Ramazzotti e Antonella Falzetti per le esperienze didattiche maturate presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata".

Fra coloro che hanno contribuito fattivamente alla redazione del volume ringrazia in particolare l'Ing. Claudia Triolo, per l'apporto critico alla stesura del testo e per l'accurato lavoro editoriale, l'Ing. Marco Conti, per gli utili suggerimenti, l'Ing. Alessandro Petrani e l'Arch. Linda Pettinelli per la disponibilità nella lettura in anteprima del testo e per la correzione delle bozze, l'Ing. Emanuele Mori, l'Ing. Daniel Alberti e l'Ing. Leonardo Rossi per le verifiche delle schede di calcolo.

Mauro Caraboni, inoltre, desidera ringraziare sentitamente i suoi genitori che, con i loro sacrifici, gli hanno permesso di studiare; l'azienda per cui lavora che, con lungimiranza, gli ha consentito di frequentare il *Master sul consolidamento ed il miglioramento sismico* diretto dal Prof. Antonio Borri, nel corso del quale ha avuto modo di conoscere Giovanni Cangì con cui, poi, è nata la collaborazione che ha portato alla stesura di questo libro. Desidera anche ringraziare la sua insostituibile sorella Laura ed esprimere il suo più sentito affetto per sua moglie Monia che, con la sensibilità e l'intelligenza che la contraddistinguono, gli ha concesso di dedicarsi alla realizzazione di questo volume oltre ai normali impegni lavorativi, sostenendolo e sostituendolo negli impegni cui è venuto meno durante la stesura del testo.

Alessandro De Maria, inoltre, desidera ringraziare tutti i colleghi ed amici del Servizio Controllo Costruzioni e Protezione Civile della Provincia di Perugia, diretto dall'Ing. Utilio Nasini, per l'esperienza maturata in più di dieci anni di lavoro comune sulle tematiche trattate in questo libro, i "compagni di stanza" dell'università Giulio Castori e Giuseppe Paci ed i suoi primi "datori di lavoro" Marco Cecchetti ed Antonio Avorio con tutto lo studio d'ingegneria Umbriaprogetti.

Gli Autori, infine, esprimono gratitudine nei confronti di tutti coloro, Enti o privati, citati nelle didascalie delle tavole e nelle referenze fotografiche, che hanno gentilmente autorizzato la pubblicazione di materiale e documentazione riservata.

Giovanni Cangì  
Mauro Caraboni  
Alessandro De Maria



# Presentazione

## *Saper vedere la costruzione (una prefazione)*

Questo volume, di Giovanni Cangini con Alessandro De Maria e Mauro Caraboni, costituisce un nuovo e importante contributo alla tutela materiale dell'*edilizia premoderna* ossia quella, per intendersi, realizzata in muratura tradizionale nell'ambito di cantieri privi di macchine motorizzate. Sono gli apparecchi murari composti da elementi singoli generalmente maneggevoli, raccolti, cavati o prodotti, quali pietra in blocchi, pezzame, sassi, scaglie, laterizi o altro ancora.

Questo modo di costruire accomuna la massima parte del patrimonio architettonico storico mondiale.

Giova osservare che, diversamente dalle altre manifestazioni della cultura umana, il patrimonio costruito, con la presenza prepotente della propria materia, sia essa pietra, legno, intonaco o altro ancora, occupa lo spazio in modo fisico, imponendosi come il nostro legame più diretto e profondo con la storia del mondo e con le identità locali delle regioni, dei paesi e delle etnie.

Preservare l'architettura tradizionale ed attualizzarne il significato rappresenta l'investimento più sicuro per arricchire il nostro presente con l'immanenza e la profondità della storia passata.

Oggi, a causa della persistente idolatria dello sviluppo economico e sociale indeterminato, la distruzione e lo snaturamento della costruzione tradizionale avanza velocemente: nuovi edifici sostituiscono i vecchi, le città storiche e il paesaggio sono messi in minoranza dalla massa delle nuove costruzioni, i vecchi edifici subiscono modernizzazioni che li snaturano.

Negli ultimi decenni, con intensità crescente, si sono constatati i guasti prodotti dalla "modernizzazione" degli edifici storici, ossia dall'introduzione dei materiali di produzione industriale, spinta da una ingenua fiducia che si è presto rivelata malriposta, alla luce dei danni che la pratica di tali materiali ha arrecato al patrimonio storico.

Il campanello d'allarme che, a livello mondiale, ha determinato una presa di coscienza in tal senso è stata la necessità dello smontaggio integrale, iniziato nel 1985 ed oggi in fase conclusiva, delle *protesi* di consolidamento in calcestruzzo armato applicate nel corso del Novecento ai monumenti dell'Acropoli di Atene. Uno smontaggio reso necessa-

rio per ovviare ai danni che l'inaspettato degrado di questi apporti "moderni" stava arretrando al complesso monumentale.

Si rimarchi che i danni di cui si tratta non riguardano tanto i valori di storicità del bene architettonico, ma investono la sua stessa sopravvivenza, ovvero la sua stabilità. Non si tratta, pertanto, di danni di ordine *filosofico*, quanto di ordine prettamente tecnico.

Il volume, che promana dal *Manuale del Recupero strutturale e antisismico* e ne sviluppa in senso operativo i contenuti teorici e tecnici, giova alla tutela di tale patrimonio poiché offre un importante sussidio a chi opera nel campo del *restauro delle strutture*.

### *Consolidamento o restauro strutturale*

Utilizziamo il termine *restauro*, piuttosto che quello comunemente usato di *consolidamento*, con cognizione di causa.

È possibile oggi infatti, e il volume lo dimostra, riportare gli interventi che investono le strutture murarie esistenti allo scopo di migliorarne le prestazioni statiche nell'alveo della disciplina del *Restauro Architettonico*.

Questa opportunità deriva dall'attenzione che oggi si è concentrata sul tema della compatibilità fisica e meccanico-strutturale delle preesistenze storiche con gli apporti costruttivi prodotti dall'attività di manutenzione-restauro-riuso-adequamento delle prestazioni statiche e funzionali del patrimonio architettonico.

La crisi della moderna prassi del consolidamento è stata infatti esaltata dalla questione sismica, poiché gli edifici "adequati" con il calcestruzzo armato hanno dimostrato di non resistere ai terremoti come ci si era aspettato: ciò significa che l'uso delle tecniche moderne ha fallito precisamente là dove riponeva i suoi presunti punti di forza: l'efficacia e la durabilità degli effetti dell'intervento.

Sottilizzando in chiave nominalistica, è lo stesso termine di "consolidamento" a manifestare il sintomo di un'alterità culturale al dominio del restauro. *Consolidamento* denota infatti un atto settoriale di trasformazione dell'edificio che, mediante l'introduzione di tecnologie contemporanee, solidifica le strutture portanti che, evidentemente, solide non sono ritenute da chi pratica il consolidamento. Correlato al concetto di consolidamento è lo specifico termine di "adequamento", la parola chiave che ha, sinora, denotato un livello di sicurezza modellato sulle prestazioni tipiche della struttura reticolare iperstatica in calcestruzzo armato, da raggiungere, quindi, nella prassi corrente, con tale tecnologia.

Nel restauro, per simmetria, al termine "consolidamento" andrebbe preferito quello di "restauro strutturale", che denota l'intervento che investe le strutture portanti con criteri e materiali perlopiù affini a quelli adottati nel concepimento della costruzione che ci si accinge a restaurare.

Coerentemente, nella pratica, al termine di "adequamento" va preferito quello di "miglioramento", che denota una capacità di reazione alle sollecitazioni ordinarie di carico ed alle sollecitazioni patologiche superiore a quella di partenza, da conseguire mediante una pratica diagnostica e progettuale "omeopatica", che affronti l'edificio mediante principi, materiali e tecniche analoghe e compatibili con i principi, i materiali e le tecniche con cui l'edificio è stato concepito e costruito *ab initio*.

Questo senza integralistiche preclusioni per i materiali e le tecniche contemporanee - anche recentissime - ove utilizzate appropriatamente e con discrezione.

Una precisazione, a questo proposito, è necessaria.

Se nel concetto di *miglioramento* è insita l'idea un livello di sicurezza inferiore al livello indicato dalla norma come quello proprio della nuova costruzione, nella realtà, la situazione appare più fluida. Infatti, se generalmente in un edificio premoderno non è facile conseguire i livelli di sicurezza propri delle moderne strutture, questo non può escludersi, e può darsi quindi un *adeguamento* rispettoso dell'esistente. Come anche, simmetricamente, è prassi comune che vengano eseguiti interventi di *miglioramento* scorretti e dannosi, come quando un tetto in legno viene sostituito con uno in latero-cemento.

### *Concreti percorsi progettuali per il miglioramento strutturale*

È questa, precisamente, la novità del libro che si presenta: la proposta di concreti percorsi di miglioramento della resistenza al sisma ad uso dei professionisti.

Fino a poco tempo fa, infatti, le norme vigenti in materia indicavano e accreditavano ai progettisti *standard* di sicurezza e modelli progettuali derivati dalla scienza delle costruzioni del calcestruzzo armato.

La rilevante responsabilità connessa alla sicurezza statica ha pertanto indotto nei tecnici un comprensibile conformismo. I progettisti hanno preferito adagiarsi nel solco tracciato da modalità di verifica, di calcolo e di progetto connesse alle norme in vigore, modalità che risultavano accreditate da un'estesa letteratura relativa ad autorevoli esempi realizzati e sostenute da un'ampia disponibilità sul mercato di software di calcolo dedicati.

In questo modo è accaduto spesso di vedere, negli scorsi decenni, piccoli e grandi edifici storici devastati da interventi di adeguamento strutturale ipertrofici, derivanti da un'acritica applicazione delle modalità di verifica e di calcolo proprie del cemento armato.

Non che fosse preclusa, ai professionisti, l'opzione di ricorrere all'istituto del "miglioramento", una facoltà residuale di deroga alla norma, limitata ai beni culturali vincolati e già presente nella previgente normativa (art. 16 della legge 2 febbraio 1974 n. 64).

A tale facoltà, sino a questi ultimi anni, non corrispondeva però alcuna indicazione normativa e, pertanto, lo stabilire il *quanto* ed il *come* del "miglioramento" era cosa demandata ai professionisti firmatari, cui, in esclusiva, competeva di accreditare ogni intervento progettuale che volesse scostarsi dalle indicazioni normative che la stessa legge accreditava.

Oggi questa situazione è fortunatamente mutata, poiché le norme vigenti hanno ampliato sensibilmente l'ambito del "miglioramento", estendendone la liceità all'edilizia storica in genere e non più solo all'ambito degli edifici soggetti a specifico vincolo di tutela ai sensi del DLgs 22 gennaio 2004 n. 42 (il cosiddetto Codice dei Beni Culturali o Codice Urbani), ma può essere applicata offrendo a sostegno di tale facoltà il corredo delle linee-guida che indirizzano il progettista sul metodo da seguire.

Ciò che non cambia è il fatto che al professionista che voglia intraprendere un percorso migliorativo, ancorché indirizzato, spetti una maggiore mole di lavoro rispetto al collega che persegua la via dell'adeguamento e, soprattutto, un esercizio ben maggiore di di-

screzionalità. Discrezionalità nell'identificare i punti di forza ed i punti di debolezza dello specifico edificio, sia per quanto riguarda la geometria della fabbrica, sia per quanto riguarda il delicato aspetto della qualità dell'opera muraria.

Al professionista che scelga questa via tocca dunque una più "personale" assunzione di responsabilità.

La *Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni* del 12 ottobre 2007 (Gazzetta Ufficiale n. 24 del 29 gennaio 2008) al punto C8.5 recita, infatti: "[...] è impossibile prevedere regole specifiche per tutti i casi. Di conseguenza, il modello per la valutazione della sicurezza dovrà essere definito e giustificato dal Progettista caso per caso tenendo conto: dell'analisi storico-critica; del rilievo geometrico-strutturale; della caratterizzazione meccanica dei materiali; del livello di conoscenza e fattori di confidenza [...]".

Il Manuale del 2005 proponeva un approccio per parti alla valutazione del rischio sismico globale che dava modo al progettista di riconoscere speditamente, mediante metodi impostati sull'osservazione diretta, i punti critici della costruzione da sottoporre ad una più attenta diagnosi. Cangi descriveva con chiarezza la necessaria dialettica tra osservazione empirica e visione complessiva dell'edificio: "l'analisi sismica globale prevista dalle norme va [...] intesa nel senso che la globalità dell'edificio deve essere passata in rassegna per individuare i possibili meccanismi di dissesto che l'azione sismica può provocare in ogni sua parte".

Ciò significa che il professionista dovrà lavorare di *occhio* e di *testa* per delineare l'anamnesi e la successiva diagnosi del caso che ha per le mani. Dovrà cioè esercitare il proprio "saper vedere" la costruzione, facendosi guidare dal ragionamento e dall'intuizione, sottoponendo la fabbrica ad una *analisi qualitativa* sostenuta dalla propria esperienza.

Prima di procedere alle calcolazioni, occorre dunque scegliere quali sono gli elementi del calcolo. Per operare tale scelta è necessario valutare le caratteristiche del fabbricato che contribuiscono alla resistenza al sisma.

Prima le caratteristiche intrinseche, ossia la geometria della scatola muraria, la presenza e la qualità di vincoli e, infine, la capacità di coesione interna all'apparecchio murario. Poi le caratteristiche del contesto, ossia i collegamenti dell'edificio in esame con gli edifici contigui.

### *Quale interdisciplinarietà?*

Per riferirsi alle caratterizzazioni stereotipe delle professioni che, fortunatamente, nella concretezza delle persone risultano meglio assortite, l'architetto deve vedere con la mente dell'ingegnere e l'ingegnere deve pensare con gli occhi dell'architetto.

Spesso, infatti, il progetto di consolidamento strutturale, preteso insindacabile in nome dell'idolatria della norma, non adeguatamente mediato con le esigenze della conservazione e del restauro, è stato semplicemente giustapposto al progetto architettonico, risultandone la convivenza forzata delle due parti di quello che dovrebbe essere un tutto unico, segregate entrambe nelle proprie logiche autoreferenziate.

Questo anche in presenza di accorti restauratori al timone della squadra di progettazione e della direzione dei lavori.

Occorre superare uno dei *gap* che più di ogni altro ha nociuto al buon esito di tanti interventi di restauro dell'ultimo ventennio: l'assenza di dialogo tra i differenti specialismi che contribuiscono alla redazione del progetto e, particolarmente, il difficile dialogo tra l'architetto restauratore e l'ingegnere strutturista.

È opportuno, a questo proposito, ripensare radicalmente il concetto di interdisciplinarietà sinora praticato nel nostro settore.

Occorre combattere, nella preparazione dei progetti di restauro, la prassi del montaggio frettoloso di competenze specifiche ed autoreferenziate ai quali ci ha abituato il trapian-to alle professioni del taylorismo derivato dalla catena di montaggio, per sostituirci la collaborazione dialogante tra professionisti depositari di mentalità e conoscenze specifiche ma accomunati da un'affinità intellettuale improntata alla dimestichezza con l'arte di costruire premoderna.

### *Saper vedere la costruzione*

Il tema dall'analisi qualitativa è, infatti, il nodo cruciale della nuova normativa, che può finalmente dare sostanza al territorio, sinora poco esplorato, del miglioramento sismico dove, come si è detto, ciascun professionista è stato sinora lasciato solo con la propria *scienza-e-coscienza*.

Ed è precisamente su questo punto che il volume che si presenta giunge in soccorso ai progettisti, poichè offre suggerimenti preziosi per vedere in trasparenza, al di là della disposizione architettonica, il funzionamento statico dei singoli elementi in rapporto alle "scatole" murarie e, dunque, la qualità di resistenza ed i possibili meccanismi di dissesto.

Illuminanti a questo proposito sono i rovesciamenti di visuale cui Cangì ci ha abituato e con cui propone acute interpretazioni della capacità di reazione della muratura alle sollecitazioni.

L'arco e la volta, ad esempio, a prescindere dallo specifico apparecchio costruttivo, sono presentati in termini di categorie funzionali, ossia: "meccanismi resistenti che in un solido regolare hanno la possibilità di generarsi con configurazioni molto diverse in funzione dei vincoli e che offrono una straordinaria chiave di lettura del comportamento sismico elementare delle strutture murarie."

Nell'illustrare il comportamento dimostrato dalla facciata della Chiesa delle Anime Sante dell'Aquila nel recente terremoto, egli attribuisce iperbolicamente all'architetto dell'epoca l'intenzionalità nel disegno della facciata barocca: concava, dunque dotata di spiccate qualità antisismiche al ribaltamento. Di tale consapevolezza, allo stato delle conoscenze, noi non possediamo esplicita testimonianza ma, se possiamo dubitare di una specifica intenzionalità in tal senso, ci piace pensare ad una sorta di "astuzia" di quell'architettura barocca, di cui non possiamo non riconoscere l'efficacia.

Cangì ci propone anche un decisivo passo in avanti per la valutazione della qualità della muratura e, in particolare, per l'apprezzamento della capacità di coesione tra gli elementi che compongono l'apparecchio in blocchi globosi, additato a L'Aquila come causa di molti dei crolli.

Si tratta della perspicace considerazione con cui Cangini interpreta gli apparecchi murari in base alla qualità dell'“ingranamento” tra i componenti “inerti” della muratura, una qualità che dipende direttamente dalla forma degli elementi e dalla regolarità di tale forma.

Se il muro è composto da *pezzi* di forma squadrata e bislunga con giacitura parallela sul piano, siano essi laterizi, blocchi o lastre, si genera uno stato che diremmo di “aderente riposo”, privo cioè di tensioni reciproche tra gli elementi, che reagiscono alle sollecitazioni sul piano del muro sviluppando un attrito che tende a conservarne la configurazione.

Se, invece, i *pezzi* sono irregolari e di forma globosa, siano essi blocchi grossamente sbazzati, sassi o selci, si instaura tra gli elementi uno stato di tensione reciproca, una *precompressione* che, ove adeguatamente confinata e contenuta da robusti cantonali, conferisce alla compagine muraria uno stato di tendenziale monoliticità.

Benvenuto a questo volume dunque!

Esso può risultare utile quanto mai nel diluvio dei commenti al post-terremoto aquilano, tanto esteso quanto povero a tutt'oggi di idee concrete e decisioni fattive.

In questo dibattito anche la condanna del cemento armato nei restauri e la simmetrica lode delle tecniche tradizionali sono entrate nel “tritacarne” dell'opinione pubblica.

Il rischio è che i principi delle tecniche premoderne di prevenzione sismica, che da lungo tempo cerchiamo di affermare, vengano “consumati” prima ancora di essere assimilati dalle pratiche correnti.

Se pure pronti a condividere tali principi, i professionisti che dovrebbero applicarli restano ancora oggi soli di fronte al dilemma tra una scelta – comunque residuale rispetto alla norma principe – di cui assumere l'onere della motivazione tecnica ed il conformarsi alle formule precotte offerte dal mercato.

A costoro può risultare di grande utilità questa guida che propone un metodo con numerose esemplificazioni sviluppate fino all'analisi numerica, curata da De Maria e Caraboni, che approfondiscono e rendono praticamente applicabili i modelli di analisi qualitativa già suggeriti dal Manuale del 2005, sviluppandoli in modelli di calcolo in linea con le nuove norme.

*Francesco Giovannetti*

# Introduzione

Con l'entrata in vigore delle nuove NTC del 2008 e della relativa Circolare esplicativa del 2009 sono stati compiuti dei notevoli passi in avanti nella applicazione pratica delle conoscenze del comportamento statico e sismico degli edifici esistenti in muratura.

Solo per dare l'idea della portata delle NTC 2008 e del loro impatto sulle prassi di progettazione ed analisi ormai consolidate si ricordano, fra le novità introdotte per gli edifici esistenti in muratura, i concetti di intervento locale, di analisi della qualità muraria, di costruzione in aggregato, di cinematisimo di collasso, di livello di conoscenza, di valutazione della sicurezza per i beni tutelati.

Una serie di novità di tale ampiezza, introdotte tutte insieme, nella stessa normativa, unitamente all'entrata in vigore "improvvisa" (o, meglio, inattesa, a causa dell'accelerazione imposta dal disastroso terremoto in Abruzzo) porta necessariamente con sé varie difficoltà interpretative ed applicative, difficoltà che potranno essere superate solo dopo un percorso fatto di confronti, dibattiti e ulteriori apporti di idee, analisi di casi di studio, contributi pluridisciplinari, etc.

Questo volume, che nasce dalle lezioni tenute dagli Autori in alcuni Corsi sugli edifici esistenti organizzati dal Centro Studi Mastrodicasa, vuole dare un contributo costruttivo ed operativo al dibattito originato dalle NTC 2008 su alcuni aspetti che nella pratica quotidiana di molti professionisti assumono un notevole interesse.

Ci si riferisce qui al tema del comportamento sismico di edifici esistenti in muratura ed al loro consolidamento, ed in particolare all'aspetto maggiormente problematico e decisivo per la risposta sismica di edifici esistenti in muratura, ovvero al controllo dei fenomeni di crisi localizzata. D'altra parte, solo quando sia stata garantita la sicurezza nei confronti dei meccanismi di crisi locali assume un senso operare le analisi e verifiche di sicurezza globali dell'edificio.

Questo modo di affrontare l'analisi di un edificio in muratura si inserisce appieno nel solco tracciato anni fa da Antonino Giuffrè, che pose l'attenzione proprio sui meccanismi localizzati di edifici in muratura, fino a farne una strategia di progettazione complessiva (fino alla scala urbana dell'intero quartiere) tramite un suo strumento proprio ed adeguato che era il "codice di pratica".

Purtroppo l'approccio delineato da Giuffrè, pur risalendo ormai a decine di anni fa, è stato ignorato o messo in secondo piano dalle precedenti normative, fino alla promulgazione delle già citate NTC.

Tutto questo è accaduto nonostante le lezioni del sisma in Italia siano state sempre piuttosto chiare.

Forse non è superfluo ricordare come gli ultimi terremoti italiani (dall'Umbria nel 1997 al Molise nel 2002, al disastroso sisma abruzzese del 2009) hanno tutti tragicamente confermato la correttezza di tale approccio al problema. La maggior parte dei crolli si sono verificati fra gli edifici in muratura e sono quasi tutti chiaramente riconducibili a fenomeni di tipo locale, a particolari carenze strutturali (o della qualità muraria o dei dispositivi di vincolo) che sono state sistematicamente messe in evidenza dal sisma.

Le conseguenze sul patrimonio architettonico italiano sono state devastanti: sia sugli edifici dell'edilizia tradizionale dei centri storici antichi, sia sull'edilizia monumentale (si veda il caso delle Chiese e dei Palazzi de L'Aquila). Perdite enormi hanno riguardato anche il patrimonio artistico: statue, dipinti, manufatti e archivi ospitati in costruzioni in muratura, crollate o gravemente colpite dai terremoti.

La necessità della tutela del patrimonio storico ed artistico nazionale (prevista dall'art. 9 della Costituzione) pone con forza il sentitissimo problema di conciliare la sicurezza statica con la conservazione.

Dal punto di vista della conservazione di questi manufatti (comprendendo tra essi anche gli edifici tradizionali dei centri storici) la via da seguire è quella di interventi di consolidamento non stravolgenti dal punto di vista della conservazione dei loro caratteri tradizionali.

È evidente però che dal punto di vista della protezione sismica i progettisti strutturali sentono la necessità di interventi che portino ad un effettivo miglioramento delle condizioni di sicurezza dell'edificio. Fra l'altro, con le NTC 2008 il livello di sicurezza raggiunto deve essere addirittura quantificato numericamente – assumendo con questo delle precise responsabilità.

Ciò per evitare illusori interventi superficiali (pulitura delle facciate, stilatura dei giunti o simili).

Non si può non ricordare le immagini dei sismi di questi ultimi decenni, con danneggiamenti e crolli di edifici consolidati con interventi particolarmente invasivi e pesanti, come anche, ad esempio nel recente sisma in Abruzzo, si sono osservati danni e crolli rovinosi dovuti, probabilmente, al motivo opposto: interventi strutturali superficiali che non sono stati in grado di incidere sulla qualità muraria di base, spesso palesemente insufficiente.

In questo quadro, il punto naturale per un equilibrio fra le esigenze della sicurezza e quelle della conservazione si può trovare considerando che il comportamento globale della costruzione in muratura non è altro che l'insieme di tutti i cinematismi locali possibili. Si può così ricorrere al metodo dell'analisi cinematica, oggi finalmente riconosciuto ufficialmente dalla norma tecnica, che consente di operare scelte progettuali leggere, perché calibrate in base al particolare punto di debolezza evidenziato dalle costruzioni: la qualità muraria da migliorare piuttosto o un tirante da inserire o dei perfori di collegamento fra pareti ortogonali etc.

La valutazione di sicurezza rispetto a tali fenomeni localizzati richiede, in base alle NTC 2008, la determinazione di un valore numerico che esprima il livello di sicurezza della struttura rispetto ad un determinato stato limite. Tale verifica numerica può essere svolta tramite il metodo dei cinematismi, ossia valutando le condizioni di equilibrio di catene cinematiche che tendono a formarsi nella massa muraria.

Ma per seguire questa strada è necessario prima esaminare se la muratura è sufficientemente connessa internamente, in modo da poter escludere che possa intervenire precocemente (anticipando ogni altro meccanismo) il più pericoloso dei fenomeni localizzati: la disgregazione caotica della muratura durante la sollecitazione sismica.

Dunque il primo passo della metodologia suggerita dagli Autori in questo libro è anche il più logico ed intuitivo: andare a vedere com'è la muratura, com'è la sua qualità. Se si svolge correttamente tale analisi si è già fatta la prima verifica di sicurezza, nella accezione più autentica del termine. Senza necessità di alcun calcolo si può già avere una idea (ben fondata) sul comportamento sismico atteso per la muratura in esame, e questo già di per sé fornisce la prima e basilare indicazione progettuale: se la muratura non è in grado di mantenersi monolitica durante le oscillazioni imposte dal sisma, allora il primo impegno progettuale dovrà essere quello di raggiungere tale obiettivo.

Verificato (o comunque conseguito) questo tipo di comportamento, il percorso di analisi è tracciato: una muratura in grado di mantenersi monolitica sotto l'effetto delle azioni sismiche si suddivide in blocchi rigidi che ruotano e scorrono reciprocamente. Tali blocchi formano una catena cinematica, per sua natura labile.

Nella prima parte di questo volume si affronta diffusamente il problema di determinare dove si formano le lesioni che suddividono la massa muraria in blocchi (denominati qui "macroelementi"); si tratta, dunque, di determinare la catena cinematica, quali sono i vincoli che ne regolano il moto e quali sono le forze che sono in grado di attivarla o di stabilizzarla.

Tale operazione richiede però esperienza, intuito e conoscenza delle strutture, ma gli strumenti tecnici a disposizione sono molti: il rilievo geometrico, quello strutturale, l'analisi del quadro fessurativo, le analogie con danni di terremoti del passato e le ricorrenze strutturali con edifici simili vicini alla costruzione in esame.

Di importanza particolare è l'analisi dei vincoli sui vari elementi della catena cinematica: la tipologia di solaio, di volta e di copertura (vincoli orizzontali), di fondazione (vincolo alla base) e di pareti di spina (vincoli verticali). Basilare anche l'individuazione delle forze agenti sulla catena cinematica. Le forze peso degli stessi muri o dei solai, solitamente stabilizzanti, che in fase sismica diventano anche spingenti; le spinte delle volte o degli archi o delle coperture; le azioni provenienti da edifici adiacenti.

Inoltre, per i cunei murari che si lesionano con una determinata inclinazione rispetto alla verticale assumono importanza anche i contributi resistenti dell'attrito e della coesione interni della muratura (dipendenti anche dalla qualità muraria).

Quando è accertato che la muratura si mantiene monolitica e quando si è individuata la forma, i vincoli e le azioni agenti sul cinematismo (in sintesi, quando si è modellato il cinematismo) è possibile valutare numericamente il livello di sicurezza della porzione muraria esaminata rispetto alla attivazione del cinematismo individuato. Tale operazione è svolta aumentando progressivamente le azioni orizzontali sismiche tramite un multipli-

catore sismico fino a quando non è più rispettato l'equilibrio della catena cinematica e, quando ciò accade, si ha l'attivazione della catena.

Le NTC 2008 introducono alcuni perfezionamenti ed ammodernamenti rispetto alla procedura tradizionale. Fra le novità più importanti affrontate in questo testo si ricordano: la valutazione della massa effettivamente partecipante al cinematismo, la distinzione fra meccanismi al livello del terreno e meccanismi in quota, l'introduzione del fattore di struttura per tenere conto delle risorse resistenti post-attivazione del cinematismo e la possibilità di svolgere verifiche sia allo Stato Limite Ultimo che allo Stato Limite di Danno.

Un'altra rilevante novità introdotta dalle NTC è l'analisi cinematica non lineare. Tale metodo di analisi dei cinematismi di collasso, sebbene non obbligatorio in base alle NTC, offre alcuni importanti ed utili spunti di riflessione.

Infatti con l'analisi non lineare è possibile sfruttare le risorse resistenti della catena cinematica oltre la sua attivazione e si va a determinare nel dettaglio il comportamento delle pareti coinvolte nel meccanismo dopo la loro attivazione. Si fa affidamento sulla capacità di spostamento degli elementi coinvolti nella catena cinematica, rappresentata tramite una curva di capacità molto simile a quella che si traccia nell'analisi statica non lineare dell'intero edificio (pushover).

La verifica che deve essere soddisfatta nel caso dell'analisi non lineare è un confronto fra spostamenti: la capacità di spostamento che la struttura è in grado di sopportare deve essere superiore alla domanda di spostamento, ossia allo spostamento che si verificherà per il terremoto di progetto.

Nella seconda parte del volume si analizzano le procedure previste dalle NTC 2008 relativamente a questi due tipi di analisi cinematica – lineare e non lineare – svolgendo vari esempi numerici riferiti a casi reali tratti dalla pratica professionale.

Infine gli Autori trattano il problema della valutazione di sicurezza e del consolidamento dei solai e delle coperture di legno, la tipologia di orizzontamento tradizionale più diffusa nel panorama edilizio non alterato.

L'analisi di solai e coperture di legno è un punto delle NTC 2008 particolarmente innovativo, basti pensare che fino a poco tempo fa la normativa tecnica italiana non prevedeva metodologie per analizzare strutture di legno e, nella prassi professionale, si doveva ricorrere a "normative di comprovata validità" promulgate da Paesi esteri.

Su questo tema, particolarmente interessante, è opportuno ricordare che uno dei principali problemi del costruito italiano, al di là del problema sismico, riguarda proprio la portanza dei solai per i carichi verticali ordinari, con situazioni frequenti di solai lignei staticamente inadeguati.

*Antonio Borri*

## Bibliografia

---

### Edifici nuovi in muratura

G. Righetti e L. Bari *L'edificio in muratura*, Lambda, Padova 1993

Corrado Latina *Muratura portante in laterizio: Tecnologia, Progetto, Architettura*, Laterconsult, Roma 1994

T. P. Tassios "*Meccanica delle murature*" Liguori, Napoli 1988

Eurocodice n. 6 "*Progettazione di strutture in muratura*"

### Normativa italiana e sua applicazione

ANIDIS – SSN F. Braga (coordinatore) *Commentario al DM 16 gennaio 1996 e alla circolare 65/AA.GG. del 10 aprile 1997* Lambisco, Potenza 1998

Eurocode 8 *Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures* ENV 1998-1-1, 2, 3 CEN, Brussels 1994

Consiste in tre documenti:

- EN1998-1 (Definition of seismic action)
- EN1998-3 (Existing buildings)
- Italian National Annex Regarding EN1998-1 (il "NAD" italiano, non ancora definitivo)

DM LLPP del 2 luglio 1981 *Normativa per le riparazioni ed il rafforzamento degli edifici dal sisma nelle regioni Basilicata, Campania e Puglia*

È un riferimento che fu seguito in tutta Italia.

Ministero dei Lavori Pubblici – Presidenza del Consiglio Superiore – Servizio Tecnico Centrale, circolare n. 21745 del 30 luglio 1981 *Istruzioni per l'applicazione della normativa tecnica per la riparazione e il rafforzamento degli edifici danneggiati dal sisma*

Contiene il metodo POR (esempio) e la tabella con le caratteristiche delle murature esistenti che è rimasta in vigore fino a pochi mesi fa.

DM 20 novembre 1987 *Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento*, Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 285 del 5 dicembre 1987

DM 16 gennaio 1996 *Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*, Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 5 febbraio 1996

Ministero dei Lavori Pubblici – Presidenza del Consiglio Superiore – Servizio Tecnico Centrale, circolare n. 65/AA.GG. *Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al DM 16 gennaio 1996*

Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia – Segreteria Generale Straordinaria: LR 20 giugno 1977, n. 30 *Recupero statico e funzionale degli edifici. Documento tecnico n. 2. DT2: Raccomandazioni per la riparazione strutturale degli edifici in muratura*. Gruppo Discipline Centrale, maggio 1980

Normativa tecnica antisismica che regolò la ricostruzione in Friuli nel 1977. Introduce il metodo di calcolo POR per gli edifici in muratura.

DGR Umbria: *Direttive tecniche di esemplificazione delle metodologie di interventi per la riparazione ed il consolidamento degli edifici danneggiati da eventi sismici* (art. 38 LR 1° luglio 1981, n. 34). Dipartimento per l'Assetto del Territorio, Perugia 1981

Fu la normativa per la ricostruzione in Umbria dopo il sisma del 1979 in Valnerina.

*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*, Documento approvato dal Comitato Nazionale per la Prevenzione del Patrimonio Culturale dal Rischio Sismico, luglio 1989

Conosciuto anche come "documento Ballardini". Introduce alcuni concetti fondamentali per dirimere il contrasto fra sicurezza e conservazione dei beni tutelati.

Regione dell'Umbria, *Raccomandazioni per la progettazione e la realizzazione degli interventi di ricostruzione e riparazione compatibili con la tutela degli aspetti architettonici, storici e ambientali*, 1999

Fa parte del corpus normativo emanato in Umbria dopo il sisma del 1997. Contiene la definizione di "edilizia tradizionale", importante per caratterizzare l'edilizia ordinaria inalterata dei centri storici che non è monumentale ma non è neanche moderna.

Provincia di Perugia, Servizio Sismico Nazionale, Gruppo Nazionale Difesa Terremoti/CNR *Criteri di calcolo per la progettazione degli interventi*, Edizione Sallustiana, Roma 1998

Contiene esempi di calcolo di edifici con la normativa umbra per la ricostruzione post sismica del 1997. Scaricabile gratuitamente in formato pdf.

Regione dell'Umbria, LR 23 ottobre 2002 n. 18, Allegato tecnico pubblicato sul BUR del 30 luglio 2003, *Norme tecniche per la progettazione degli interventi e la realizzazione delle opere di cui alla LR 23 ottobre 2002, n. 18 finalizzate alla riduzione della vulnerabilità sismica*

Legge regionale umbra sulla prevenzione sismica. Contiene un criterio per la valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura. In particolare rivestono importanza i criteri per l'individuazione della Unità Strutturale (US) e la metodologia di analisi della qualità muraria.

DGR Umbria 14 settembre 1998, n. 5180, Allegato A *Definizione di edificio*"; Allegato B *Direttive tecniche – Edifici*

È la normativa umbra per la ricostruzione dopo il sisma del 1997.

OPCM n. 3274 del 2003, *Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici*, Gazzetta Ufficiale dell'8 maggio 2003

Normativa sismica ormai superata ma sempre citata. Di fatto era inapplicabile a causa dei numerosi e gravi errori. Fu corretta dalla OPCM n. 3431 (vedere oltre).

OPCM n. 3431 del 3 maggio 2005, *Ulteriori modifiche ed integrazioni all'OPCM 3274 del 20 marzo 2003, recante Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*, Gazzetta Ufficiale n. 107 del 10 maggio 2005

Correzione della OPCM n. 3274, anch'essa superata dalle NTC 2008. Qui per la prima volta si affrontò sistematicamente il problema degli interventi su edifici in muratura esistenti. Prevede le verifiche col metodo dell'analisi limite. C'è anche l'analisi limite in campo non lineare.

*Norme Tecniche per le Costruzioni*, supplemento ordinario alla GU del 23 settembre 2005

Norme tecniche superate dall'aggiornamento profondo del 2008. Contenevano numerosi aspetti problematici che, di fatto, le resero inapplicabili.

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici I Sezione – Adunanza del 27 febbraio 1992 Prot. n. 29 in riferimento ai Quesiti sulle norme tecniche da applicare in caso di progettazione di opere in muratura

Storica pronuncia del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, afferma il concetto che, spesso, le verifiche di sicurezza globali sulle costruzioni in muratura esistenti hanno poco significato.

*Norme Tecniche per le Costruzioni*, DM 14 gennaio 2008 – Supplemento Ordinario alla GU del 4 febbraio 2008

Sono le norme tecniche attualmente in vigore (dal 1° luglio 2009). Da sole non sono facilmente applicabili specialmente per quanto riguarda le costruzioni esistenti; occorre considerarle insieme alla Circolare n. 617 del febbraio 2009.

Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008. Circolare del 2 febbraio 2009, n. 617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti approvata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Supplemento Ordinario n. 27 alla GU del 26 febbraio 2009 n. 47

Spiegazioni sul DM del 2008. Molto importante; contiene disposizioni sugli edifici esistenti in muratura ed in particolare si spiega con buon dettaglio come vada fatta l'analisi limite (è nelle Appendici).

Ministero dei Beni Culturali (2006), *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni*

Testo attualmente di riferimento per gli edifici tutelati. Interessante la parte finale del Capitolo 5 con le tipologie edilizie specialistiche e le verifiche semplificate. Attualmente si sta provvedendo al loro allineamento con le NTC 2008.

CNR, DT200/2004, *Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati*

Al Capitolo 4 si parla di rinforzo di strutture murarie e si danno formule per il dimensionamento del rinforzo.

CNR, DT 206/2007, *Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle strutture di Legno*

Norme sul legno cui le NTC 2008 rinviano. In particolare è possibile trovare la definizione delle proprietà meccaniche del legno (in Appendice).

## Costruzioni in muratura esistenti: analisi ed interventi

- A. Giuffrè *Letture sulla meccanica delle murature storiche* Kappa, Roma 1991  
 Testo fondamentale sull'analisi limite e sulla qualità muraria.
- F. Gurrieri (a cura di) *Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione post-sismica degli edifici* DEI Tipografia del Genio Civile, Roma 1999  
 Si segnala in particolare il Capitolo 5 che riguarda l'analisi limite dei meccanismi di collasso su edifici in muratura e gli interventi di consolidamento.
- F. Giovanetti (a cura di) *Manuale del recupero di Città di Castello* DEI Tipografia del Genio Civile, Roma 1992  
 Fra le varie cose contiene un repertorio ragionato in senso strutturale per i particolari costruttivi dell'edilizia tradizionale di Città di Castello. È un testo che segna una via al consolidamento antisismico dei centri storici, il metodo basato sui codici di pratica.
- A. Giuffrè (a cura di) *Sicurezza e conservazione nei centri storici. Il caso Ortigia Laterza*, Roma-Bari 1993  
 Sull'analisi limite. Contiene esempi di calcolo. È un codice di pratica che affronta anche la problematica della storia sismica di Siracusa.
- A. Giuffrè, C. Carocci *Codice di pratica per la sicurezza e la conservazione del centro storico di Palermo* Laterza, Roma-Bari 1999  
 Sull'analisi limite. Contiene esempi di calcolo, in particolare l'analisi dettagliata dei tre meccanismi del Rondelet.
- A. Giuffrè *Monumenti e terremoti. Aspetti statici del restauro*, Multigrafica, Roma 1988  
 Applicazione dell'analisi limite al caso dell'edilizia monumentale.
- Francesco Giovanetti, Paolo Marconi (a cura di) *Manuale del recupero della città di Palermo* Flaccovio, Palermo 1994
- F. Doglioni, A. Moretti, V. Petrini (a cura di) *Le Chiese e il terremoto LINT*, Trieste 1996  
 Contiene analisi riguardanti le chiese in muratura danneggiate dal sisma del 1976 in Friuli.
- Regione Marche, F. Doglioni e AA.VV. *Codice di pratica (linee guida) per la progettazione degli interventi di riparazione, miglioramento sismico e restauro dei beni architettonici danneggiati dal terremoto umbro-marchigiano del 1997*, pubblicato sul BUR Marche n. 15 del 29 settembre 2000  
 Testo basato sull'analisi limite. Numerosi schemi e tabelle.
- G. Carbonara *Restauro architettonico* UTET, Torino 1996  
 Opera che assume carattere di trattato. È di quattro volumi.
- Sisto Mastrodicasa *Dissesti statici delle strutture edilizie* Hoepli, Milano 1993 (IX edizione)  
 Prima trattazione ingegneristica e matematica del "materiale" muratura; l'autore "inventa" una scienza che prima non esisteva. Ampia parte applicativa con esempi di interventi (in linea con le concezioni degli anni in cui fu scritto il libro). Si segnala la trattazione dei cedimenti fondali.
- G. Cangi *Manuale del recupero strutturale e antisismico*, DEI Tipografia del Genio Civile, Roma 2005

Trattazione impostata sull'analisi dei meccanismi di collasso considerando anche attrito e coesione fra i contributi stabilizzanti. Si trattano anche gli interventi di consolidamento.

- G. Caterina *Tecnologia del recupero edilizio*, UTET Torino  
Interventi su edifici esistenti.
- B. De Sivo *Il restauro degli edifici in muratura*, Dario Flaccovio, Palermo 1992  
Interventi su edifici esistenti.
- A. Pasta *Restauro conservativo ed antisismico*, Dario Flaccovio, Palermo 1999  
Interventi su edifici esistenti.
- N. Augenti *Il calcolo sismico degli edifici in muratura*, 9a ediz., Hoepli, Milano 1993  
Libro in cui spicca la rassegna di tutte le metodologie di analisi globale, dal VET al POR al SAM.
- D. Liberatore (a cura di) *Vulnerabilità dei beni archeologici e degli oggetti esibiti nei musei*, CNR – Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti – Roma 2000  
Si parla di oscillazioni di blocchi rigidi.
- P. Rocchi (direttore scientifico), AA.VV. *Trattato sul consolidamento*, Mancosu, Roma 2003  
Opera vastissima. Nella parte finale si trovano contributi impostati sulle teorie dell'analisi limite. Contiene criteri di calcolo per interventi con materiali innovativi (es. fibre in carbonio e simili).
- Regione Marche, AA.VV. *Vulnerabilità, manutenzione e progetto nel recupero post-sismico del patrimonio monumentale*, Tecnoprint, Ancona 2004  
*Studio sulla vulnerabilità sismica e proposta di interventi per un centro storico attraverso l'indagine tipologica e l'utilizzo di un database georeferenziato* Ricerca condotta dal Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università degli Studi di Perugia con la collaborazione del Comune di Città di Castello 2002
- A. Avorio, A. Borri, M. Corradi (a cura di), AA.VV. *Ricerche per la ricostruzione*, DEI Tipografia del Genio Civile, Roma 2002  
Contiene esempi riferiti all'abitato di Sellano con i metodi tradizionali e con il metodo dell'analisi limite. Nella parte 1 contiene alcune fondamentali prove di caratterizzazione della muratura.
- Gruppo nazionale per la difesa dai terremoti (GNDT), *Rilevamento della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura*, Stampa tipografia Moderna, Bologna 1993
- F. Pugi *Vulnerabilità sismica degli edifici in muratura, Parte I: la teoria*, Alinea, Firenze 1997
- F. Pugi. *Edifici in muratura e nuova normativa sismica. L'analisi pushover come evoluzione del metodo POR*, Alinea, Firenze 2006  
La procedura pushover espressa in maniera molto chiara.
- E. Viollet-Le-Duc, *L'architettura ragionata: estratti dal Dizionario di E. Viollet-le-Duc*, Jaca Book, Milano 1982  
Il dizionario ragionato è del 1868 circa.
- J. Heyman, *Arches, vaults, buttresses: masonry structures and their engineering*, Cambridge University, UK 1996

F. G. Cairoli *L'edilizia nell'antichità*, Carocci, Roma 2006

È un testo di archeologia con forti richiami ingegneristici e riguarda l'architettura romana. Grande attenzione ai particolari costruttivi ed alle tecniche realizzative. Allegato un CD Rom con moltissime immagini.

A. Borri (a cura di), *La stabilità delle grandi statue: il David di Michelangelo*, DEI Tipografia del Genio Civile, Roma 2005

Un caso problematico e particolare di ribaltamento rigido.

E. De Minicis e E. Guidoni (a cura di), *Case e torri medievali*, Kappa, Roma 2005

AA.VV. Istituto Tecnico Commerciale e per Geometri "Ippolito Salviani" di Città di Castello, collana *Architettura e territorio*, Petrucci, Città di Castello 1998

A partire dal 1998 ogni anno l'Istituto Salviani di Città di Castello pubblica una monografia dedicata ad una costruzione caratteristica del territorio alto tiberino. Da una di queste monografie proviene l'esempio della Chiesa di Userna trattato nel presente volume.

M. Mariani *Trattato sul consolidamento e restauro degli edifici in muratura. Interventi sui terreni e sulle fondazioni. Interventi sulle strutture in elevazione, con CD Rom*, DEI Tipografia del Genio Civile, Roma 2006

Un volume sulle opere fondali e un altro volume sulle opere in elevazione. Vasto trattato ricco di schemi d'intervento e procedure di calcolo.

M. Mariani *Consolidamento delle strutture lignee con l'acciaio, con CD Rom*, DEI Tipografia del Genio Civile, Roma 2004

Interventi e consolidamento di strutture lignee con l'acciaio affrontati partendo da una prospettiva storica e pervenendo a formule di calcolo moderne.

P. De Vecchi, G. A. Vergani *La rappresentazione della città nella pittura italiana*, Silvana, Milano 2003

È un libro di storia dell'arte con immagini a colori delle città italiane nei dipinti. Può servire a comprendere l'aspetto delle città italiane nel passato.

AA.VV. Collana *Tecniche costruttive medievali* L'Erma di Bretschneider, Roma 1996. Ci sono 5 libri di tipo tecnico-descrittivo; il riferimento geografico è il Lazio.

L'anteprima si trova anche su internet:

<http://books.google.it/books?id=iXJG-2RtPoQC&printsec=frontcover#v=onepage&q=&f=false>

AA.VV. Collana *Le grandi opere*, Laterza, Roma-Bari

Fra i vari libri di argomenti diversi ve ne sono alcuni con monografie sulla storia urbanistica e (in parte) edilizia delle città italiane.

AA.VV. *Norme tecniche per le costruzioni*, (a cura di D. Guzzoni) Il Sole 24 Ore, Milano 2010

Contiene commenti alle Norme Tecniche sulle Costruzioni del 2008.

*Codice di Pratica per gli interventi di miglioramento sismico nel restauro del patrimonio architettonico – Integrazioni alla luce delle esperienze nella Regione Marche*, F. Doglioni e P. Mazzotti (a cura di), Tipografia Sacconi, Ascoli Piceno

A. Gallo Curcio, *Sul consolidamento degli edifici storici. Le logiche costruttive tradizionali, rivisitate nell'attualità tecnica, per un corretto intervento di consolidamento*, EPC Libri, Roma 2007

- C. Varagnoli (a cura di), *Abruzzo da salvare/1*, Tinari, Villamagna (CH) 2008, per l'Università degli Studi Gabriele D'Annunzio di Chieti e Pescara/Facoltà di Architettura
- C. Varagnoli, *La costruzione tradizionale in Abruzzo – Fonti materiali e tecniche costruttive dalla fine del Medioevo all'Ottocento*, Gangemi, Roma 2008
- P. Caravaggio, A. Meda, *Manuale del recupero di Castel del Monte*, DEI Tipografia del Genio Civile, Roma 2004
- F. R. Stabile, M. Zampilli, C. Cortesi (a cura di) *Centri Storici Minori – Progetti per il recupero della bellezza* – Gangemi, Roma settembre 2009
- G. Cifani, A. Lemme, S. Podestà (a cura di), Regione Molise, *Beni monumentali e terremoto – Dall'emergenza alla ricostruzione*, DEI Tipografia del Genio Civile, Roma 2005
- A. Lemme, A. Martinelli, S. Podestà (a cura di), Regione Molise, *Edifici in muratura – Progettazione degli interventi post-sisma*, DEI Tipografia del Genio Civile, Roma 2008
- E. Pallottino (a cura di), *Com'era, dov'era – Dopo il terremoto, o la guerra*; Ricerche di storia dell'arte – Rivista quadrimestrale, anno 2009, Carocci, Roma
- S. Franceschi, L. Germani, *Manuale Operativo per il Restauro Architettonico*, DEI Tipografia del Genio Civile, Roma 2003
- Regione dell'Umbria, *La Microzonazione Sismica Sperimentale relativa ai terremoti del 1997-98 in Umbria*, Stampa Visconti, Terni 2000
- Regione Marche, *Il patrimonio culturale dall'emergenza sismica del 1997 al piano di ripristino, recupero e restauro. Il caso delle Marche*, Silvana, Milano 2002
- M. M. Segarra Lagunes (a cura di), Atti del III Convegno nazionale ARCo Roma 1999 *Manutenzione e recupero nella città storica - Conservazione e sicurezza*, F.lli Palombi Editori, Roma 1999
- A. Centroni (a cura di), Atti del Convegno nazionale ARCo Napoli 2004 *Manutenzione e recupero nella città storica - conservazione e normativa: esperienze recenti*, Gangemi, Roma 2004
- A. Centroni (a cura di), Atti del Convegno nazionale ARCo Mantova 2006 *Quale sicurezza per il patrimonio architettonico?*, Nuova Argos, 2007
- A. Borri (a cura di), Contributi al XI congresso nazionale ANIDIS, Genova 2004 *L'ingegneria sismica in Italia*, Università degli Studi di Perugia, Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale
- A. Borri (a cura di), Contributi al XII congresso nazionale ANIDIS, Pisa 2007 *L'ingegneria sismica in Italia*, Università degli Studi di Perugia, Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale
- A. Borri (a cura di), Contributi al XIII congresso nazionale ANIDIS, Bologna 2009 *L'ingegneria sismica in Italia*, Università degli Studi di Perugia, Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale
- S. Lagomarsino, S. Resemini (a cura di), Atti del XI Convegno dell'Associazione italiana di ingegneria sismica, Genova, Palazzo Ducale, 25-29 gennaio 2004, SG Editoriali, Padova 2004
- F. Braga, W. Salvatore (a cura di), Atti del XII Convegno dell'Associazione italiana di ingegneria sismica, Pisa, Polo Carmignai, 10-14 giugno 2007, Edizioni Plus, Pisa 2007

F. Braga, M. Savoia (a cura di), *Atti del XIII Convegno dell'Associazione italiana di ingegneria sismica*, Bologna, Palazzo Re Enzo, 28 giugno-2 luglio 2009. Edizioni IM Ready, Repubblica di San Marino 2009

### Manualistica storica

Marco Vitruvio Pollione *De Architectura*. (10 libri) Disponibili in molte edizioni

È il trattato di architettura antica più famoso. Sono andate smarrite le tavole, è solo scritto.

Leon Battista Alberti *De Re Aedificatoria*, 1452

Nel III libro (capitoli VI-IX) si parla di tipologie murarie e vengono riprese quelle vitruviane.

Andrea Palladio *Quattro libri dell'architettura*, 1570

Vincenzo Scamozzi *L'idea dell'architettura universale*, 1615

In particolare si leggano: Parte II, Libro VIII, Capo VIII e Capo IX

Bernardo Vittone *Istruzioni diverse concernenti l'ufficio dell'Architetto Civile*, 1766

Si affronta la questione delle murature nel Libro III, all'Articolo II, Capo III, Osservazione II.

Francesco Milizia *Principi di architettura civile*, 1785

Si veda: Parte III, Libro III, Capitolo I

Jean Baptiste Rondelet *Traité Théorique et pratique de l'art de bâtir*, 1802. Edizione italiana del 1831

È anche disponibile su internet:

<http://rondelet.biblio.polimi.it/cd/index2.htm>

Quatremère de Quincy *Dizionario storico dell'Architettura*, tradotto in italiano nel 1842

Giuseppe Valadier *L'architettura pratica dettata nella Scuola e Cattedra dell'Insigne Accademia di San Luca*, 1832

Nicola Cavalieri di San Bertolo *Istituzioni di architettura statica e idraulica*, 1831 rist. nel 1855

Primo tentativo di classificazione delle murature indipendente da Vitruvio

Gustav A. Breyman *Il Trattato di Costruzioni Civili*, 1885

Si introducono le "murature cave" (mattoni forati, etc.). Sono 5 libri, si segnala la parte intitolata "Delle strutture murali".

G.B. Milani *L'ossatura murale*, Torino 1901

Manuale di architettura storico.

D. Donghi *Manuale dell'architetto* UTET, Torino 1925

Storico manuale dell'architetto. Interessanti i disegni degli interventi di consolidamento dell'epoca premoderna.

- ▶ Manuale del recupero strutturale antisismico con *CD Rom* di G. Cangi
- ▶ Trattato sul consolidamento e restauro degli edifici in muratura - 2 vol. con *CD Rom* di M. Mariani
- ▶ Consolidamento delle strutture lignee con l'acciaio con *CD Rom* di M. Mariani
- ▶ Sistemi voltati in muratura : teoria e applicazioni con *CD Rom* di M. Paradiso, G. Tempesta, F. Pugi
- ▶ Lezioni di scienza delle costruzioni di A. Borri, F. Angotti
- ▶ Nuove norme tecniche per le costruzioni e circolare esplicativa con *CD Rom*
- ▶ Manuale di progettazione strutturale con *CD Rom* Università La Sapienza
- ▶ Progetti e calcoli di ingegneria con excel con *CD Rom* di D. Romei
- ▶ Manuale per la riabilitazione e ricostruzione postsismica degli edifici con *CD Rom* di Regione Umbria
- ▶ Beni monumentali e terremoto dall'emergenza alla ricostruzione, con *CD Rom* a cura di Regione Molise
- ▶ Edifici in muratura - progettazione interventi post sisma, con *CD Rom* a cura di Regione Molise
- ▶ Manuale del recupero del Comune di Roma a cura del Comune di Roma Ufficio Speciale per gli interventi sul Centro Storico
- ▶ Manuale del recupero del Comune di Città di Castello a cura di F. Giovanetti
- ▶ Manuale del recupero della Regione Abruzzo con *CD Rom* di S. Ranellucci
- ▶ Manuale del Recupero della Regione Marche con *CD Rom* di S. Ranellucci
- ▶ I Manuali del Recupero dei Centri Storici della Sardegna con *CD Rom*

per informazioni [www.build.it](http://www.build.it)

Cinque anni dopo la pubblicazione del Manuale del Recupero Strutturale e Antisismico, in seguito al disastroso terremoto che ha colpito l'Abruzzo nel 2009 e all'entrata in vigore delle nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni di cui al DM 14 gennaio 2008, un nuovo testo tecnico che affronta, in continuità con il volume precedente, le problematiche relative all'analisi strutturale del patrimonio edilizio storico in zona sismica, attraverso il modello dei cinematici di collasso.

Il volume illustra e propone:

- una metodologia di indagine che segue le fasi indicate dalle Norme Tecniche per la valutazione della vulnerabilità sismica delle strutture murarie
- una serie di percorsi di verifica per meccanismi locali con il metodo agli Stati Limite, supportati da programmi di calcolo appositamente predisposti.

I passaggi sono preceduti da un rigoroso dimensionamento degli orizzontamenti lignei di piano e di copertura, secondo varie tipologie, eseguiti con l'ausilio del computer.

Un utile strumento operativo rivolto ai progettisti, particolarmente adatto per la quantificazione dei livelli di sicurezza negli interventi di riparazione del danno e miglioramento degli edifici colpiti dal sisma.

#### Il sommario

- Richiami sulla meccanica delle murature
- Cinematici di collasso
- Costruzione dei modelli di analisi
- Analisi cinematica lineare
- Analisi cinematica non lineare
- Analisi limite di casi semplici e complessi
- Valutazione della sicurezza per solai e coperture in legno

#### Il CD Rom contiene:

- Schede di calcolo excel: Progetto e verifica di solai in legno e dei principali interventi di consolidamento; Progetto e verifica di coperture in legno; Analisi lineare e non lineare di cinematici di collasso con esempi svolti
- Repertorio fotografico dei danneggiamenti sismici su edifici in muratura.

#### REQUISITI TECNICI

Win 2000 - Win XP - Win Vista - Win 7

Oltre al pacchetto Microsoft Office (Word/Excel)

ISBN 978.88.496.0408.5



9 788849 604085

€ 68,00