

Stefano Podestà



Dario Flaccovio Editore

# Verifica sismica di edifici in muratura

Aggiornato a NTC e Linee guida per la valutazione  
e riduzione della vulnerabilità sismica

[Scheda sul sito >](#)



- Analisi cinematica dei corpi rigidi, lineare e non lineare ✓
- Definizione delle curve di capacità ✓
- Incatenamenti metallici negli interventi di miglioramento sismico ✓
- Esempi di verifica su manufatti ordinari e monumentali ✓

Stefano Podestà

# **VERIFICA SISMICA DI EDIFICI IN MURATURA**

**Aggiornato a NTC e Linee guida per la valutazione  
e riduzione della vulnerabilità sismica**



Dario Flaccovio Editore

*A Emanuela, la mia socia*

Stefano Podestà

VERIFICA SISMICA DI EDIFICI IN MURATURA

ISBN 978-88-579-0119-0

© 2012 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686

[www.darioflaccovio.it](http://www.darioflaccovio.it) [info@darioflaccovio.it](mailto:info@darioflaccovio.it)

Prima edizione: febbraio 2012

Podestà Stefano <1971->

Verifica sismica di edifici in muratura : aggiornato a NTC e Linee guida per la valutazione e riduzione della vulnerabilità sismica / Stefano Podestà - Palermo : D. Flaccovio, 2012.

ISBN 978-88-579-0119-0

1. Edifici in muratura – Zone sismiche

693.852 CDD-22

SBN PAL0240116

*CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana “Alberto Bombace”*

Stampa: Tipografia Officine Grafiche Riunite, Palermo, febbraio 2012

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

# INDICE

## *Premessa*

### **1. Comportamento sismico degli edifici esistenti in muratura**

1.1. Cenni introduttivi.....	pag.	1
1.2. Osservazione dei danni sismici sul costruito in muratura .....	»	5
1.3. Evoluzione normativa nella valutazione della sicurezza dei meccanismi locali .....	»	10

### **2. Analisi dei meccanismi locali negli edifici in muratura**

2.1. Cenni introduttivi.....	»	15
2.2. Analisi limite dell'equilibrio.....	»	15
2.2.1. Cinematica dei sistemi di corpi rigidi.....	»	18
2.3. Analisi dei meccanismi locali secondo le NTC (D.M. 14 gennaio 2008).....	»	24
2.3.1. Determinazione della curva di capacità strutturale .....	»	29
2.3.2. Verifiche di sicurezza.....	»	31
2.3.3. Considerazioni sulla domanda sismica in termini di accelerazione .....	»	37
2.3.4. Considerazioni sulla posizione del punto di controllo .....	»	39
2.3.5. Considerazioni sull'effetto delle forze esterne .....	»	42

### **3. Casi studio**

3.1. Cenni introduttivi.....	»	47
3.2. Edificio sito a San Giuliano di Puglia.....	»	47
3.2.1. Individuazione dei meccanismi di danno significativi .....	»	51
3.3. Edificio a Santa Croce di Magliano (CB).....	»	63
3.4. Forte Tenaglie a Genova .....	»	82
3.4.1. Individuazione dei meccanismi di collasso .....	»	85
3.5. Cattedrale di S. Pardo a Larino (CB) .....	»	99
3.5.1. Sequenza sismica del 2002.....	»	100
3.5.2. Rilievo geometrico del manufatto .....	»	101
3.5.3. Individuazione dei macroelementi .....	»	103
3.5.4. Analisi cinematica dei meccanismi di collasso ipotizzati .....	»	104
3.6. Chiesa dei SS. Marciano e Nicandro a L'Aquila .....	»	115

3.6.1. Danneggiamento a seguito dell'evento sismico del 2009 .....	»	116
3.6.2. Individuazione dei meccanismi di danno significativi .....	»	117
3.6.3. Analisi cinematica dei meccanismi di collasso ipotizzati .....	»	120
3.6.4. Verifica di possibili interventi di miglioramento sismico.....	»	131
3.7. Chiesa di San Michele Arcangelo a Sabbiochiese (BS).....	»	136
3.7.1. Individuazione dei meccanismi di danno significativi .....	»	138
3.8. Chiesa di Sant'Andrea Monumentale a Toscolano Maderno (BS) .....	»	143
3.9. Chiesa dell'Immacolata Concezione a Paganica (L'Aquila) .....	»	153
3.9.1. Danneggiamento a seguito dell'evento sismico del 2009 .....	»	154
3.9.2. Analisi cinematica dei meccanismi di collasso .....	»	156
3.9.3. Progettazione dell'intervento di messa in sicurezza della facciata.....	»	158
Bibliografia .....	»	163

## PREMESSA

Il presente lavoro cerca di fornire uno strumento operativo per la verifica sismica dei meccanismi locali come richiesto dall'attuale norma tecnica per gli edifici esistenti in muratura (D.M. 14 gennaio 2008 e Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009).

La particolare conformazione degli edifici storici, difficilmente tipizzabile in schemi precostituiti, impedisce di fatto l'applicazione di soluzioni che possono essere ritrovate in abachi o codici di pratica. Se un'esemplificazione è utile per l'inquadramento generale delle problematiche che si devono affrontare, una de-contestualizzazione delle verifiche da casi reali è fuorviante, in quanto non consente di mettere in luce quegli aspetti peculiari che caratterizzano ogni manufatto esistente in muratura.

Gran parte del testo (capitolo 3) è, infatti, dedicata a un'ampia esemplificazione di analisi di vulnerabilità di meccanismi locali rapportate a casi reali (edifici residenziali, chiese, reperti archeologici, ruderi), in modo che le difficoltà di ogni singolo caso siano, in ogni caso, riscontrabili dal lettore. È proprio per tale motivo che insieme alla Mc4 software® è stato predisposto un codice di calcolo Mc4 Loc® che consente di valutare la sicurezza sismica nei confronti di meccanismi locali di collasso: i più frequenti per un manufatto esistente in muratura. L'estrema flessibilità del modellatore solido (che opera direttamente in ambiente Autocad-Autodesk®) permette di tener conto di tutti quegli aspetti singolari (reale conformazione plano-altimetrica, presenza di aperture, murature a più paramenti, fuori piombo, ecc.) che giocano un ruolo fondamentale nella risposta strutturale di ogni singolo macroelemento.

Questa collezione di verifiche (inquadrate teoricamente e normativamente nei capitoli 1 e 2) è frutto del lavoro di un gruppo di ricercatori del Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni, dell'Ambiente e del Territorio dell'Università di Genova, con il quale ho il piacere di collaborare da ormai molto tempo: ing. Anna Brignola, ing. Emanuela Curti, ing. Sonia Parodi, ing. Chiara Romano, ing. Lorenzo Scandolo.

# 1. COMPORTAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

## 1.1. Cenni introduttivi

La valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici esistenti in muratura rappresenta uno degli aspetti maggiormente critici che i progettisti sono tenuti ad affrontare. Le motivazioni sono molteplici e legate sia all'ampia diffusione di tale tipologia costruttiva in aree a elevata pericolosità sismica (ad esempio nel bacino del mediterraneo), sia alla rilevanza culturale storica, artistica, archeologica o paesaggistica che tali manufatti spesso rivestono; quest'ultimo aspetto determina l'esigenza di approcci che siano in grado di cogliere il reale comportamento strutturale in maniera affidabile ma che allo stesso tempo siano applicabili su larga scala, senza dovere ricorrere a strumenti di calcolo sofisticati e onerosi.

La criticità non nasce quindi dalla maggiore o minore vulnerabilità intrinseca di tale tipologia costruttiva, dipendente dalla miriade di sottoinsiemi in cui si deve necessariamente suddividere la macrotipologia "edifici in muratura", ma dalla difficoltà di comprenderne il reale comportamento strutturale, che dovrà essere investigato attraverso un processo che parta dalla conoscenza del manufatto (dettagli costruttivi, tipologia muraria, conformazione plano-altimetrica, ecc.) fino a individuare gli strumenti di analisi più idonei, in relazione al livello di conoscenza che si è potuto ottenere.

Nella varietà che caratterizza la macrotipologia "edifici in muratura" è tuttavia possibile riconoscere comportamenti riconducibili a fenomenologie di danno ricorrenti. Dall'osservazione dei danneggiamenti a seguito di eventi sismici (Giuffrè, 1988; Giuffrè, 1993; Doglioni *et al.*, 1997; Lemme *et al.*, 2008; D'Ayala e Speranza, 2003; Sorrentino *et al.*, 2010) (figure 1.1-1.4), è possibile evidenziare come i meccanismi di danno possano essere sostanzialmente ricondotti a due tipologie di danneggiamento a seconda della risposta delle pareti e dell'organismo funzionale e dalle caratteristiche tipologiche e tecnologiche presenti nel manufatto. Carenze nei collegamenti tra pareti ortogonali e tra pareti e orizzontamenti fanno sì che la struttura non sia in grado di sviluppare, durante il terre-



moto, una risposta globale che chiami a collaborare fra loro i diversi elementi strutturali e a ripartire tra esse le sollecitazioni indotte: le singole pareti mostreranno, quindi, una risposta indipendente. In questo caso i danneggiamenti che si leggono sulla struttura sono riconducibili a meccanismi locali legati a collassi parziali di porzioni più o meno ampie. Questa tipologia di danneggiamento è tipicamente connessa al comportamento delle pareti in muratura fuori dal proprio piano, con comportamento flessionale e di ribaltamento (meccanismi di primo



Figura 1.1. Edificio a S. Giuliano di Puglia – Molise 2002



Figura 1.2. Edificio a L'Aquila – frazione Tempera – Abruzzo 2009



Figura 1.3. Chiesa di S. Chiara a L'Aquila – frazione Paganica – Abruzzo 2009



Figura 1.4. Chiesa di SS. Marciano e Nicandro a L'Aquila – Abruzzo 2009

modo), ma può anche interessare risposte nel piano delle pareti murarie stesse come, ad esempio, pareti con ampie aperture allineate o elementi architettonici (quali per esempio archi o volte spesso presenti nell'edilizia storica).

La presenza di un buon ammorsamento tra le pareti o di connessioni anche puntuali, ottenibili ad esempio tramite l'inserimento di catene metalliche, innesca la collaborazione tra le varie componenti dell'organismo strutturale che può esibire un comportamento d'insieme, che porta le pareti a ricorrere maggiormente alle risorse di resistenza e rigidezza nel proprio piano (figure 1.5, 1.6). È in ogni caso evidente come, anche in questo caso, la valutazione della sicurezza dell'edificio in muratura debba discendere dall'analisi congiunta di entrambe le tipologie di analisi (analisi dei meccanismi locali e analisi globale). Il reale instaurarsi di un comportamento scatolare si realizza unicamente se la struttura non risulta vulnerabile nei confronti dell'instaurarsi di meccanismi locali di collasso. Un'analisi globale che contempla unicamente la risposta nel piano delle pareti si basa implicitamente sull'ipotesi che la struttura non risulti vulnerabile nei confronti di meccanismi locali e di conseguenza il risultato dell'analisi stessa risulta veritiera solo se preventivamente è stata condotta la verifica di sicurezza del manufatto nei confronti dell'attivazione di possibili meccanismi locali.



Figura 1.5  
Edificio a S. Giuliano di Puglia – Molise 2002



Figura 1.6  
Edificio a S. Giuliano di Puglia – Molise 2002

## 1.2. Osservazione dei danni sismici sul costruito in muratura

L'osservazione del comportamento sismico degli edifici esistenti in muratura ha posto in evidenza come raramente la risposta sia caratterizzata da un collasso globale, mentre più frequenti sono i meccanismi locali di collasso in cui porzioni più o meno estese perdono l'equilibrio, ruotando o scorrendo. In tali meccanismi l'aliquota dovuta a spostamento rigido è largamente prevalente sullo spostamento associato alla deformazione (Sorrentino, 2010).

Le continue trasformazioni tipiche dell'edilizia storica e gli eventuali stati lesionativi (anche di natura non sismica) generano, infatti, soluzioni di continuità nella compagine muraria che favoriscono un comportamento per parti della struttura, di collassi parziali caratterizzati dalla perdita d'equilibrio (ribaltamento di pareti mal ammortate o di porzioni sommitali in presenza di irregolarità altimetriche, crollo di aggetti, espulsione di cantonali, crollo fuori piano di fasce sottotetto, ecc.).

La risposta della struttura all'azione sismica è, quindi, fortemente influenzata, ancor prima che dalle caratteristiche intrinseche dei singoli elementi strutturali, dal grado di connessione presente tra essi. Carenze nel collegamento tra pareti ortogonali e tra pareti e orizzontamenti fanno sì che la struttura non sia in grado di sviluppare, durante il terremoto, una risposta globale che chiami a collaborare fra loro le diverse pareti e a ripartire tra esse le sollecitazioni indotte: le singole pareti mostreranno, quindi, una risposta indipendente. I danneggiamenti osservati, in questo caso, pongono in evidenza come il collasso avvenga, quindi, a causa della perdita d'equilibrio di porzioni strutturali.

Esistono, ovviamente, regole dell'arte specificatamente rivolte a cautelarsi da

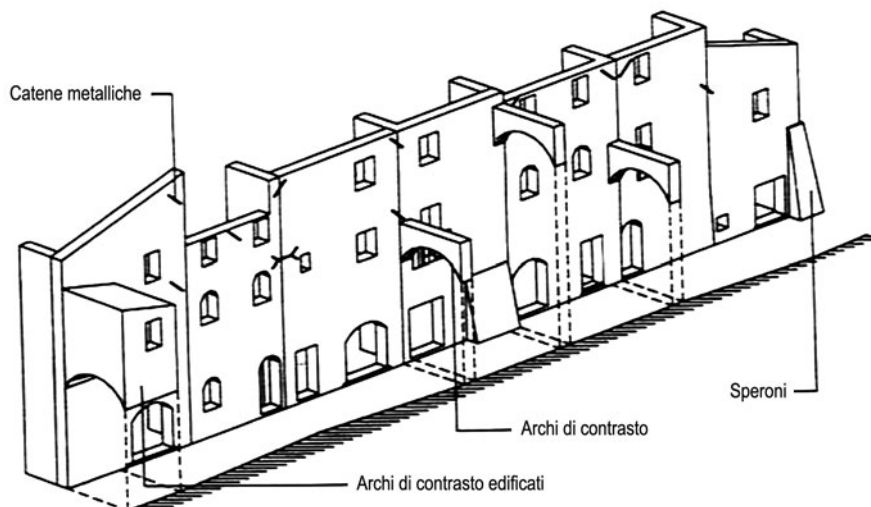


Figura 1.7. Esempificazione di presidi storici (Gurrieri F., 1999)

tale azione: la buona qualità degli ammorsamenti, l'uso di architravi di adeguata rigidità e resistenza, la presenza di catene e cerchiature, l'inserimento di contrafforti a contrasto dei meccanismi di ribaltamento, rappresentano alcune soluzioni tecnologiche frequentemente adottate nelle aree a maggior rischio sismico (figura 1.7). Tuttavia, il terremoto severo è un'azione poco frequente e forse è proprio questa la chiave d'interpretazione di tale vulnerabilità. Tali accorgimenti erano applicati per una (forse due) generazioni, ma venivano gradualmente abbandonati in quanto, persa la memoria del danno provocato dal terremoto, non ne veniva veramente compresa la necessità.

Il comportamento per parti risulta particolarmente evidente qualora si analizzino manufatti in cui la peculiare configurazione rende improbabile il realizzarsi di un comportamento globale. È questo il caso di corpi di fabbrica con grandi aule senza orizzontamenti intermedi (e.g.: teatri, chiese) o di tutti quei manufatti in stato di rudere sia per lo stato di abbandono sia perché, ad esempio, reperti archeologici. Nel caso delle chiese, per esempio, l'osservazione sistematica del comportamento di tali edifici dopo eventi sismici (Friuli 1976: Doglioni *et al.*, 1994; Umbria e Marche 1997: Lagomarsino e Podestà, 2004; Molise 2002: Cifani *et al.*, 2005; L'Aquila 2009: Calderini e Milano, 2011) ha mostrato un livello di danneggiamento significativo anche per anche per terremoti di bassa intensità. La presenza di pareti molto snelle, di elementi spingenti già in una condizione statica, quali archi o volte, l'assenza di orizzontamenti intermedi e la presenza di elementi architettonici particolari (stucchi, fregi) rappresentano specifiche forme di vulnerabilità connesse

principalmente ad aspetti tipologici. L'importanza che tali opere hanno avuto anche in passato ha determinato, in molti casi, diverse fasi costruttive, con periodi di realizzazione a volte superiori a due secoli, nelle quali si è verificato un inevitabile cambiamento delle maestranze, dei materiali adoperati, degli stili architettonici. La diversa funzione data agli elementi architettonici (nel caso delle chiese la facciata svolge una funzione scenografica per l'intero complesso religioso) ha reso il cambiamento del materiale da costruzione con le pareti laterali molto frequente, determinando un grado di ammassamento di difficile valutazione.

Analizzando i danneggiamenti post-sismici di questa tipologia di manufatti appare evidente come tali aspetti ne influenzino in modo sostanziale la risposta sismica. Questi manufatti presentano, un comportamento quasi unicamente per parti (figure 1.8 e 1.9), tanto che l'analisi può essere ricondotta allo studio di singole porzioni, dette *macroelementi* (Doglioni, 1994), che sono definite dal modo stesso di danneggiarsi dell'opera in parti macroscopiche a seguito di un terremoto (formazione di catene cinematiche).

Un discorso analogo può essere condotto per le strutture in stato di rudere (figure 1.10 e 1.11) dove la stessa conformazione determina, in molti casi, l'impossibilità di applicare modelli globali. La mancanza di unitarietà strutturale (mancanza di ammassamenti, assenza di coperture o orizzontamenti in grado di conferire un comportamento scatolare al complesso, presenza di lacerti murari, ecc.) determina, in caso di sisma, una risposta per parti della struttura. La definizione dei macroelementi dovrà essere definita in funzione delle caratteristiche geometriche e dei dettagli costruttivi presenti e la risposta sismica del manufatto può essere definita attraverso lo studio delle differenti porzioni in cui è stato scomposto. Analogamente a quanto esposto per le chiese, la valutazione del rischio sismico dell'intero manufatto può essere eseguita attraverso l'applicazione estesa di modelli locali (Podestà, 2010).



Figura 1.8  
Chiesa di S. Elena a S. Giuliano di Puglia –  
Molise 2002



Figura 1.9. Chiesa di S. Giusta a L'Aquila – frazione Bazzano – Abruzzo 2009



Figura 1.10. *Insulae* in via dell'Abbondanza – sito archeologico di Pompei (NA)



Figura 1.11. Casa di Augusto – Fori Imperiali – Roma



Figura 1.12. Castello Malaspina a Calice al Cornoviglio (SP)



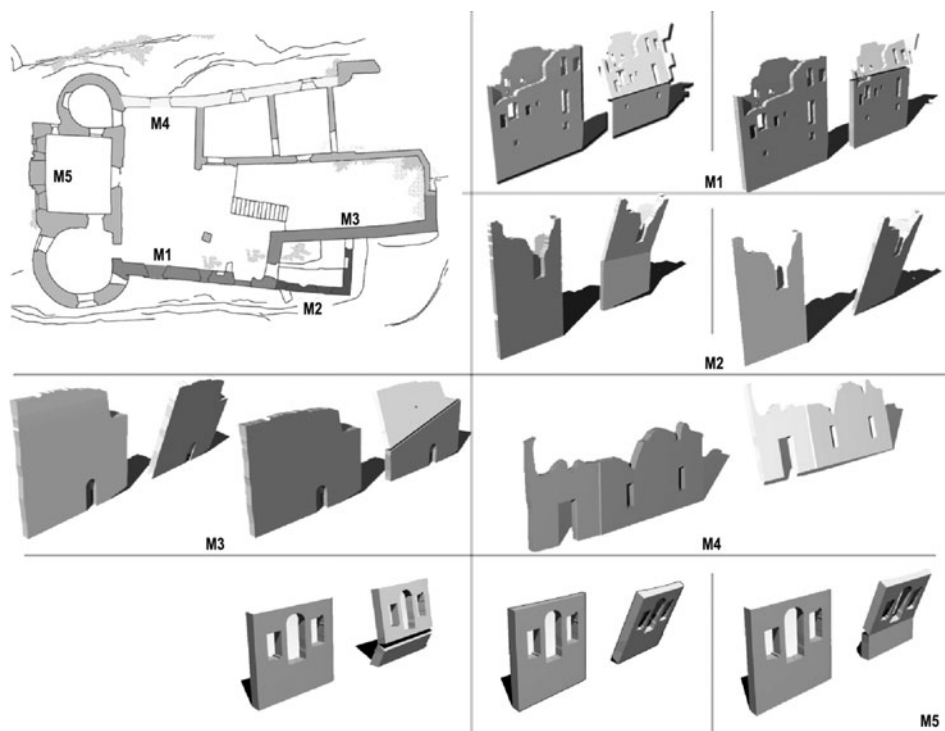


Figura 1.13. Alcuni macroelementi analizzati – Castello Malaspina a Calice al Cornoviglio (SP)

### 1.3. Evoluzione normativa nella valutazione della sicurezza dei meccanismi locali

La necessità di effettuare la verifica nei confronti dei meccanismi locali, recentemente recepita dal D.M. 14 gennaio 2008, *Norme tecniche per le costruzioni*, era già presente anche nelle normative tecniche italiane precedenti. Il D.M. 16 gennaio 1996, *Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*, richiedeva infatti, per gli interventi di adeguamento delle costruzioni in muratura ordinaria, una duplice verifica riguardante sia la sicurezza nei confronti delle azioni complanari attraverso un'analisi globale, sia la sicurezza nei confronti delle azioni ortogonali alle pareti stesse attraverso un'analisi locale (punto C.9.5.1). Analizzando quanto contenuto nel commentario al D.M. 16/01/96 e alla Circolare n. 65/AA.GG. del 10/04/97 del Ministero LL.PP., la verifica nei confronti di un'azione ortogonale veniva effettuata modellando la parete in funzione del reale grado di vincolo che i solai e le pareti trasversali erano in grado di trasmettere. Gli schemi che ne derivano sono, quindi:

- di lastra inflessa vincolata ai bordi, se tutti i vincoli possono considerarsi efficaci;
- di muro a gravità, nel caso in cui i vincoli non esistano o si ritengano inefficaci;
- di trave monodimensionale, se i vincoli laterali sono inesistenti o se le pareti ortogonali (muri di spina) sono troppo distanti.

L'Ordinanza 3431 del 3 maggio 2005 riprende ed estende i concetti di verifica dei meccanismi locali suggerendo una modellazione strutturale che sfrutta una descrizione delle porzioni murarie interessate attraverso la cinematica dei corpi rigidi. Il metodo di analisi suggerito è basato sull'analisi limite dell'equilibrio seguendo uno schema analogo a quelli proposti per l'analisi globale.

Le NTC riprendono i contenuti dell'Ordinanza 3431/05 e al punto 8.7.1 affermano come nelle costruzioni esistenti in muratura soggette ad azioni sismiche si possano manifestare meccanismi locali e d'insieme e per tale motivo impone come "la sicurezza della costruzione deve essere valutata nei confronti di entrambi i tipi di meccanismo". Nella Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 al punto C8A.4 viene sottolineato come l'insorgere di meccanismi locali di collasso per cause sismiche sia frequente qualora si analizzino edifici esistenti in muratura e in riferimento a tale fenomeno è riportata una metodologia di analisi basata sull'analisi limite dell'equilibrio secondo l'approccio cinematico lineare e non lineare.

In riferimento al patrimonio culturale la Direttiva P.C.M. del 9 febbraio 2011, *Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008* (G.U. n. 47 del 26/2/2011 – Suppl. Ordinario n. 54), impone la necessità di eseguire un'analisi strutturale per ottenere una valutazione quantitativa attraverso i modelli più idonei (punto 5.1). In particolare la direttiva pone tre differenti livelli di analisi in funzione della finalità e dell'approfondimento dell'analisi stessa: livello LV1 per analisi a scala territoriale, LV2 nel caso di interventi che interessano porzioni di manufatti e LV3 nel caso di analisi o interventi che riguardano l'intero manufatto. In relazione ai differenti livelli la direttiva pone in primo piano la necessità, in ogni caso, di eseguire l'analisi dei meccanismi locali di collasso. In particolare, nel caso di valutazioni LV2, proprio in riferimento al livello locale dell'intervento, la direttiva propone di effettuare la valutazione della sicurezza sismica facendo riferimento a modelli locali riferiti a porzioni strutturalmente autonome della costruzione (punto 5.3.2). Nel caso di analisi di livello LV3, al punto 5.3.3 della direttiva si legge come

“la verifica complessiva della risposta sismica del manufatto non richiede necessariamente il ricorso a un modello globale della co-

struzione, ma è possibile procedere alla scomposizione della struttura in parti (macroelementi), a condizione che venga valutata la ripartizione delle azioni sismiche tra i diversi sistemi strutturali, in ragione delle diverse rigidzze e dei collegamenti tra le stesse; tale ripartizione può essere operata anche in modo approssimato, purché venga garantito l'equilibrio nei riguardi della totalità delle azioni orizzontali. La valutazione può quindi essere eseguita con gli stessi metodi utilizzati al livello LV2, ma sistematicamente su ciascun elemento della costruzione. Confrontando i valori ottenuti nei diversi macroelementi si può evidenziare l'inutilità di alcuni interventi:

- a) se il margine di miglioramento è modesto rispetto all'impatto dell'intervento sulla conservazione;
- b) per l'eccessiva sicurezza fornita ad alcuni macroelementi rispetto agli altri".

La direttiva, inoltre, fornisce alcune indicazioni in riferimento alle metodologie di analisi da adottare nella valutazione della sicurezza sismica di differenti tipologie di manufatti. In riferimento alla tipologia "Palazzi, ville e altre strutture con pareti di spina e orizzontamenti intermedi", la direttiva afferma (punto 5.4.2) come "l'analisi dei meccanismi locali risulta di fondamentale importanza e in nessun caso l'analisi globale può sostituirsi a questi". A tale fine la direttiva afferma come "sulla base dell'osservazione diretta sul manufatto o considerando situazioni analoghe (rilevate a seguito di eventi sismici su manufatti simili), si devono individuare i meccanismi potenzialmente attivabili nella costruzione e valutarne la vulnerabilità sismica".

In riferimento alla tipologia "Chiese, luoghi di culto e altre strutture con grandi aule, senza orizzontamenti intermedi", la direttiva, al punto 5.4.3, afferma come "il comportamento sismico di questa tipologia di manufatti possa essere interpretato attraverso la loro scomposizione in porzioni architettoniche (denominate *macroelementi*), caratterizzate da una risposta strutturale sostanzialmente autonoma rispetto alla chiesa nel suo complesso (facciata, aula, abside, campanile, cupola, arco trionfale, ecc.)". In relazione a tale comportamento la direttiva afferma come

"nella maggior parte dei casi è preferibile procedere con verifiche locali, le quali in genere possono essere riferite ai diversi macroelementi, che diventano l'unità di riferimento per la verifica strutturale [ ]. In tale ottica, la necessità di operare un'analisi complessiva LV3 (valutazione complessiva della risposta sismica del manufatto) o locale LV2 (valutazione su singoli macroelementi dei meccanismi locali di collasso) non determina una sostanziale differenza nell'approccio al problema della modellazione".



Figura 1.14. Il ribaltamento delle tamponature degli edifici in cemento armato – Abruzzo 2009



Figura 1.15. Il danneggiamento degli elementi secondari – Molise 2002

Il problema di eseguire analisi legate al possibile insorgere di meccanismi locali può, inoltre, essere esteso alla verifica degli elementi secondari e agli elementi non strutturali appartenenti a manufatti di qualunque tipologia strutturale. Le NTC (punto 7.2.3) impongono infatti la necessità di “eseguire la verifica sismica in riferimento agli elementi costruttivi senza funzione strutturale il cui danneggiamento può provocare danni a persone”. È il caso, ad esempio, di elementi aggettanti realizzati con qualunque materiale posti su manufatti anche di nuova realizzazione, dei tamponamenti esterni, ecc.