

**POLITECNICO DI MILANO**



Scuola di Ingegneria Edile - Architettura  
Corso di laurea magistrale in Ingegneria dei Sistemi Edilizi

# Vulnerabilità sismica delle chiese in muratura: il meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula

Metodologia di analisi e parametri che influenzano  
il fenomeno

Relatore: Prof. Maria Adelaide PARISI

Tesi di Laurea di:  
Stefano CATTANEO Matr. 786933

Anno Accademico 2013 - 2014



# Indice

Abstract.....	5
Abstract.....	7
1. Introduzione.....	9
2. Danni riportati dalle chiese in seguito al terremoto dell'Emilia del 2012 .....	11
2.1. Provincia di Modena .....	11
2.1.1. Comune di Concordia sulla Secchia.....	12
2.1.2. Comune di Mirandola .....	15
2.1.3. Comune di Novi di Modena .....	25
2.1.4. Comune di Carpi.....	26
2.1.5. Comune di San Possidonio .....	30
2.1.6. Comune di Finale Emilia .....	31
2.1.7. Comune di Camposanto.....	31
2.1.8. Comune di San felice sul Panaro .....	32
2.1.9. Comune di Cavezzo .....	33
2.1.10. Comune di Medolla.....	36
2.1.11. Comune di Limidi di Soliera.....	37
2.2. Provincia di Reggio Emilia .....	38
2.2.1. Comune di Rolo di Reggio Emilia.....	38
2.2.2. Comune di Luzzara.....	38
2.3. Provincia di Ferrara .....	39
2.3.1. Comune di Mirabello .....	40
2.3.2. Comune di Cento .....	41
2.4. Provincia di Mantova .....	42
2.4.1. Comune di Bondeno di Gonzaga.....	42
2.4.2. Comune di Moglia .....	43
2.4.3. Comune di Quistello.....	44
2.4.4. Comune di San Giacomo delle Segnate.....	44
2.5. Provincia di Bologna.....	44
2.5.1. Comune di Crevalcore.....	45
2.5.2. Comune di Pieve di Cento .....	45
3. Meccanismo di collasso di risposta trasversale della navata .....	47
3.1. Meccanismi di collasso e comportamento delle chiese in muratura .....	47
3.2. Indice del livello medio di danneggiamento .....	64

3.3.	Analisi e verifica dei meccanismi locali negli edifici in muratura.....	64
3.3.1.	Verifica allo Stato Limite di Danno con accelerazione al suolo .....	66
3.3.2.	Verifica allo Stato Limite di Danno con accelerazione in quota .....	66
3.3.3.	Verifica allo Stato Limite Ultimo (SLV) con accelerazione al suolo.....	67
3.3.4.	Verifica allo Stato Limite Ultimo (SLV) con accelerazione in quota .....	68
3.4.	Meccanismo di risposta trasversale dell'aula.....	68
3.5.	Formula semplificata e parametri chiave .....	72
4.	Effetti della variabilità dei parametri geometrici nella formula nel collasso per risposta trasversale della navata .....	75
4.1.	Casi studio.....	75
4.1.1.	Chiese con pianta ad una navata .....	75
4.1.2.	Chiese con pianta a tre navate.....	80
4.2.	Applicazione della formula semplificata ai casi di studio .....	85
4.2.1.	Foglio di calcolo.....	85
4.2.2.	Chiese con pianta ad una navata .....	85
4.2.3.	Chiese con Pianta a tre Navate .....	93
4.2.4.	Chiese in cui, durante il terremoto dell'Emilia, il meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula è stato attivato .....	101
4.3.	Riepilogo dei risultati .....	110
4.3.1.	Risultati del calcolo nelle chiese con pianta ad una navata .....	110
4.3.2.	Risultati del calcolo nelle chiese con pianta a tre navate.....	111
4.3.3.	Risultati del calcolo nelle chiese crollate per l'attivazione del meccanismo di risposta trasversale dell'aula durante il terremoto dell'Emilia 2012 .....	112
4.4.	Calcolo del valore dell'accelerazione di attivazione del meccanismo al suolo per le chiese che hanno subito danni in seguito al terremoto dell'Emilia nel maggio 2012.....	113
4.5.	Accelerazioni di picco sul territorio del terremoto dell'Emilia .....	115
4.6.	Calcolo del valore dell'accelerazione di attivazione al suolo per i casi di studio di chiese con pianta a tre navate.....	120
4.7.	Valutazione dei risultati .....	121
4.8.	Parametri di confronto: la snellezza.....	125
4.9.	Parametri di confronto: luce della capriata.....	128
5.	Effetti dell'eccentricità della capriata nel calcolo dell'accelerazione di attivazione del meccanismo di collasso .....	133
5.1.	Variazioni nel calcolo dell'accelerazione che attiva il meccanismo di collasso per effetto di eccentricità dei carichi provenienti dalla copertura.....	133
5.2.	Effetti dell'eccentricità sul caso di studio della Collegiata di San Vittore di Brezzo di Bedero .....	137



6.	Effetti di una forza orizzontale nel calcolo dell'accelerazione di attivazione del meccanismo di collasso.	139
6.1.	Variazioni nel calcolo dell'accelerazione di attivazione del meccanismo di collasso per effetto di una spinta statica orizzontale .....	139
6.2.	Effetti della spinta statica sul caso di studio della Chiesa di San Pietro di Albese con Cassano .....	141
7.	Grado di vincolo della capriata alla parete muraria .....	143
7.1.	Variazioni nel calcolo dell'accelerazione che attiva il meccanismo di collasso per effetto di eccentricità dei carichi provenienti dalla copertura.....	143
7.2.	Effetti del vincolo ad incastro sui casi di studio.....	144
8.	Sviluppi futuri.....	147
8.1.	Fattore di forma.....	147
8.2.	Effetto diaframma.....	148
9.	Interventi di recupero strutturale per migliorare il comportamento di una chiesa al meccanismo di risposta trasversale dell'aula.....	149
9.1.	Cordoli sommitali .....	149
9.2.	Tiranti di parete .....	150
9.3.	Tiranti verticali .....	150
	Conclusioni.....	153
	Bibliografia .....	157
	Indice delle figure .....	163
	Indice delle tabelle.....	169
	Indice degli allegati .....	171
	Allegati .....	173
	Ringraziamenti .....	199



## Abstract

L'osservazione critica dei danni riportati in seguito ad eventi sismici da edifici storici realizzati in muratura ha mostrato l'aspetto ripetitivo di molti meccanismi locali connessi alla perdita di equilibrio ed alla trasformazione in un cinematismo di una o più porzioni del manufatto edilizio. In particolare per le chiese sono stati evidenziati 28 meccanismi di collasso catalogati dal Dipartimento della Protezione Civile, tramite il DCPM n. 55 del 23/02/2006 e il DCPM del 9/02/2011. Questo lavoro di tesi si occupa, nell'ambito della determinazione della vulnerabilità sismica delle chiese, del meccanismo di collasso identificato come "risposta trasversale dell'aula", cinematismo che coinvolge le pareti portanti e la copertura lignea di una chiesa quando l'azione sismica agisce parallelamente alle travi, caricando la muratura al di fuori del proprio piano.

Lo studio del meccanismo qui presentato si può suddividere in due parti: la prima corrisponde alla ricerca ed all'analisi dei danni riportati dalle chiese in muratura storica e con copertura sorretta da capriate lignee durante il terremoto dell'Emilia del maggio 2012; la seconda all'applicazione ed allo studio di una formula che interpreta il cinematismo tramite l'approccio cinematico dell'analisi limite.

In questa seconda fase si analizzano gli effetti della variabilità geometrica, tecnologica e dimensionale di un edificio sul moltiplicatore dei carichi che attiva il cinematismo (corrispondente all'accelerazione limite del terreno) tramite il confronto tra casi di studio di chiese situate in Lombardia, Piemonte, Liguria ed alcune delle chiese che hanno subito danni per l'insorgere del meccanismo durante il terremoto dell'Emilia. Si analizzano in particolare gli effetti sul comportamento del sistema copertura-parete di spessore e snellezza della muratura, luce della capriata, peso della copertura, eccentricità dei carichi verticali e grado di vincolo dell'appoggio.



## Abstract

The damage to traditional buildings observed after earthquakes has revealed repetitive collapse patterns. These involve loss of balance of masonry walls with formation of plastic hinges and transformation of one or more building portions into a kinematism. In the seismic analysis of churches, the 28 most frequent collapse mechanisms have been codified and have been adopted in Italy as the basic reference for the description of damage (DCPM n. 55 del 23/02/2006, DCPM del 9/02/2011). This work deals with one of those 28 failure modalities: the collapse mechanism identified as “nave transversal response”. Collapse derives from the interaction of the supporting walls and the wooden roof when the earthquake motion acts parallel to the trusses, loading the supporting walls out of plane.

The analysis of the mechanism presented here can be divided into two parts: the first corresponds to the investigation and analysis of the damages suffered by historic churches during the recent earthquake that took place in Po Plane in May 2012; in the latter a synthetic formula that allows to interpret the collapse mechanism through the kinematic approach of limit analysis, yielding the limit horizontal load multiplier and the corresponding ground acceleration, is studied and applied.

In this second phase of the work, the effects of the variability in geometric and technological dimensions of the building on the limit load multiplier and on the limit ground acceleration are considered by comparing case studies of churches located in Lombardy, Piedmont, Liguria and some of the churches that have been damaged due to the occurrence of this mechanism during the Emilia earthquake. The study focuses on the parameters that may influence the behavior of the roof – masonry wall system: thickness and slenderness of the walls, trusses span, roof weight and restraint of the support.



# 1. Introduzione

Nelle costruzioni tradizionali dell'Europa meridionale, le strutture in legno sono prevalentemente utilizzate per realizzare solai o coperture che appoggiano su pareti portanti in muratura. Le strutture di molte coperture, costruite anche oltre diversi secoli fa, non hanno subito un deterioramento significativo e sono ancora in grado di sostenere i carichi per i quali sono state progettate. Tuttavia la capacità portante di questi elementi strutturali era in origine pensata soltanto per i carichi verticali, mentre non venivano prese in considerazione le azioni orizzontali.

Le osservazioni dei danni conseguenti ai terremoti, hanno rivelato quali sono le caratteristiche strutturali che hanno un ruolo determinante nella capacità di risposta di un edificio ad un evento sismico, suggerendo di sviluppare adeguate procedure per l'analisi della vulnerabilità sismica e definire interventi di consolidamento specifici per le azioni derivanti da un evento sismico.

Per l'analisi della vulnerabilità, una procedura recentemente sviluppata [1] [2] richiede di valutare la corretta progettazione dei dettagli strutturali e l'interazione tra la copertura e la struttura sottostante.

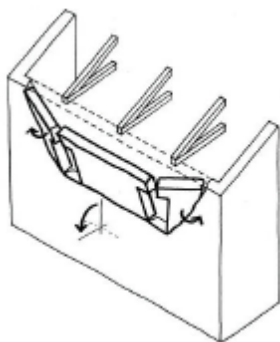


Figura 1 - Effetti della copertura sulla parete portante - Rif. Bibliog. [8]

Durante un terremoto, la copertura può assumere un ruolo positivo di collegamento tra le pareti oppure causarne il collasso se non genera una risposta adeguata ai carichi inerziali. In particolare per i sistemi di copertura composti da una serie di travi parallele, si può creare una situazione critica se l'azione sismica agisce parallelamente alle travi, caricando le pareti portanti al di fuori del loro piano. Questo caso si riscontra frequentemente nelle chiese, soprattutto nella copertura e nelle pareti che sostengono la navata centrale, ed è favorito dalle caratteristiche strutturali e dalle dimensioni degli elementi coinvolti. Come mostrato negli esempi riportati nel Capitolo 2, i recenti terremoti dell'Aquila (2009) e dell'Emilia (2012) hanno causato gravi danni al patrimonio degli edifici di culto a causa di questo meccanismo; inoltre la moderata intensità dei due eventi sismici manifesta la situazione critica di queste costruzioni e la necessità di intervenire per migliorare la risposta sismica degli edifici esistenti.

Il comportamento del sistema copertura-parete è influenzato dalla massa della copertura, che dipende dalla lunghezza della luce, dalla tipologia delle travi, dalle dimensioni delle pareti, dalle loro proprietà meccaniche e dai vincoli che legano il tetto e le chiusure portanti.

L'osservazione sistematica dei tipici scenari di danno riportati dalle chiese in seguito ad un terremoto ha inoltre posto in evidenza come la risposta sismica di tale tipologia di costruzioni storiche in muratura sia riconducibile a meccanismi di collasso che sono connessi alla perdita di equilibrio ed alla conseguente trasformazione in un cinematiso di una o più porzioni del manufatto. Di conseguenza una parte si stacca dal resto del corpo di fabbrica a causa dell'insorgere di fessurazioni o in corrispondenza di soluzioni di continuità non realizzate in modo adeguato (mancanza di ammorsamento, contatto tra murature realizzate in fasi differenti). Queste osservazioni hanno portato alla classificazione di 28 meccanismi di collasso (descritti al paragrafo 3.1) riguardanti ognuno una parte specifica di una chiesa, e catalogati nel modello di rilievo dei danni a cura del Dipartimento della Protezione Civile, tramite il DCPM del 23 febbraio 2006 n. 55 e successivamente il DCPM del 9 febbraio 2011.

L'individuazione dei possibili cinematismi o del corrispondente livello di azione sismica che li attiva non è un problema di facile soluzione: le analisi strutturali di dettaglio, effettuate tramite software o metodi ad elementi finiti, comportano infatti oneri computazionali che le rendono difficilmente applicabili ad un'analisi in scala territoriale. Ciò evidenzia l'importanza di metodi semplificati il cui risultato sia stabile quantitativamente e che rendano possibile una più chiara interpretazione qualitativa da parte del progettista. La normativa italiana permette di ricondurre l'azione sismica a forze statiche equivalenti dirette orizzontalmente, il cui valore è proporzionale al peso della costruzione, attraverso un coefficiente sismico che dipende dall'accelerazione massima al suolo e dall'amplificazione dinamica, attraverso lo spettro di risposta. Nel caso degli edifici, la

distribuzione di queste forze varia con l'altezza, crescendo dal basso verso l'alto, in virtù della prevalente risposta del primo modo di vibrare. Nel caso di un generico manufatto in muratura l'amplificazione dinamica è contenuta e si può riassumere ragionevolmente che il sisma eserciti su ciascun elemento forze d'inerzia orizzontali date dal prodotto del proprio peso per l'accelerazione massima al suolo. Preso in considerazione uno dei meccanismi di collasso proposti dalle vigenti normative per gli edifici di tipo Chiesa (DCPM del 23 febbraio 2006 n. 55 e DCPM del 9 febbraio 2011), è quindi possibile studiare la risposta sismica attraverso l'approccio cinematico dell'analisi limite, identificando il moltiplicatore orizzontale dei carichi che attiva la condizione limite di perdita dell'equilibrio. Il metodo dei meccanismi di collasso si applica tramite la trasformazione di un elemento murario preso in esame in cinematico. Il moltiplicatore si ottiene quindi applicando le equazioni di equilibrio o il principio dei lavori virtuali, considerando le forze agenti (pesi verticali, azione sismica orizzontale pari ai pesi per il moltiplicatore incognito, altre forze interne quali quelle delle catene presenti nell'edificio) e lo stato di spostamenti virtuali associato all'atto di moto.

La validità del metodo è legata ad avere scelto il meccanismo di collasso nei riguardi del quale la fabbrica è più vulnerabile: i teoremi dell'analisi limite dicono infatti che il corretto meccanismo di collasso è quello per cui il moltiplicatore è minimo. In linea di principio i possibili meccanismi di collasso sono infiniti, in quanto ciascuna struttura può essere trasformata in un cinematico inserendo piani di frattura o cerniere. In realtà la conoscenza delle tecniche costruttive e l'osservazione dei danni sui manufatti consente di restringere l'analisi a pochi casi significativi. Le caratteristiche tecnologiche delle murature (tessitura dei paramenti, dimensione degli elementi lapidei, tipologia dei cantonali) determinano percorsi preferenziali delle lesioni: l'analisi deve essere eseguita su un numero limitato di meccanismi, effettivamente possibili in considerazione della tecnologia costruttiva e meglio se riconosciuti, in seguito ad un sisma, sul manufatto in oggetto o su altre chiese simili.

I principi teorici che consentono di eseguire una verifica attraverso l'analisi limite dei meccanismi di collasso sono concettualmente semplici, ma risultano di difficile applicazione per diverse ragioni:

- È necessaria una adeguata modellazione degli elementi architettonici, che sono in genere complessi per la presenza di aperture, variazioni dello spessore delle pareti, paraste e cornici: la valutazione di volumi e baricentri e le conseguenti verifiche di equilibrio, da eseguirsi con gli strumenti della statica grafica o in forma analitica non risultano oggettivamente semplici.
- Un'analisi affidabile presuppone di tenere conto della geometria ma anche degli aspetti tecnologici, ovvero è necessario considerare anche la resistenza del materiale se si vuole individuare correttamente il moltiplicatore minimo tra i diversi meccanismi.
- È indispensabile non perdere di vista il comportamento globale della fabbrica, che l'approccio per macroelementi non coglie. Infatti la risultante delle azioni sismiche, data dalla massa della struttura per il coefficiente sismico, deve, in qualche modo, essere riportata a terra, eventualmente con ridistribuzioni fra i macroelementi che in una chiesa sono possibili attraverso la copertura.

Si prende qui in considerazione uno dei 28 meccanismi proposti dalla normativa: il meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula (Nave transversal response) ed il corrispondente metodo semplificato per il calcolo del moltiplicatore dei carichi orizzontali  $\alpha$ , che corrisponde all'accelerazione orizzontale (espressa in g), necessaria per l'attivazione del meccanismo, proposto dai Prof. Ing. M. A. Parisi e C. Chesi nel documento M.A. Parisi, C. Chesi, *Seismic vulnerability of traditional buildings: the effect of roof-masonry walls interaction*, 10<sup>th</sup> US National Conference on Earthquake Engineering, Anchorage, 2014.

Obiettivo di questo lavoro di tesi è analizzare il rapporto tra parete portante in muratura e copertura sorretta da capriate in legno per verificare gli effetti determinati dai diversi parametri presenti nel metodo semplificato. Si vogliono in particolare analizzare gli effetti della variabilità geometrica, tecnologica e dimensionale presente sul territorio, sul valore del moltiplicatore  $\alpha$  applicando il metodo semplificato a casi di studio reali situati nel nord Italia e a chiese che hanno subito danni a causa del meccanismo in esame a seguito del terremoto verificatosi in Emilia nel maggio 2012.



## 2. Danni riportati dalle chiese in seguito al terremoto dell'Emilia del 2012

L'evento sismico verificatosi nel distretto della Pianura Padana Emiliana tra il mese di gennaio ed il mese di maggio del 2012 è stato avvertito prevalentemente nelle province di Modena, Ferrara, Mantova, Reggio Emilia, Bologna e Rovigo ed ha avuto effetti particolarmente devastanti sul patrimonio edilizio storico presente in questa regione, provocando danni per oltre 13 miliardi di euro.

Il terremoto è stato caratterizzato da una serie di scosse di differente intensità iniziate tra il 25 e il 27 gennaio 2012, ma le scosse più significative si sono verificate a partire dal mese di maggio. Le due scosse più forti (alla fine riunite in una sola), rispettivamente di magnitudo  $M_I$  5,9 e  $M_w$  5,86 sono state registrate nello stesso istante il 20 maggio 2012 alle ore 04:03:52 ora italiana, con epicentro nel territorio comunale di Finale Emilia (MO) e ipocentro a una profondità di 6,3 km. Il 29 maggio 2012 alle ore 09:00:03 una nuova scossa di magnitudo  $M_I$  5,8 e  $M_w$  5,66 con epicentro situato nella zona compresa fra Mirandola, Medolla e San Felice sul Panaro è stata avvertita in tutta l'Italia Settentrionale. Nello stesso giorno si sono registrate altre tre scosse rilevanti: una alle 12:55 di magnitudo 5,4, una alle 13:00 di magnitudo 4,9 e un'ulteriore scossa alla stessa ora di magnitudo 5,2. Ulteriori scosse si sono verificate il 31 maggio alle ore 16:58 (magnitudo 4,0 con epicentro a Rolo e Novi di Modena) e alle 21:04 (magnitudo 4,2 con epicentro a San Possidonio).

Queste scosse sono state seguite da uno sciame sismico con scosse di magnitudo variabile di minore entità. Un'altra scossa di magnitudo 5,1 è stata avvertita in tutto il Nord Italia il 3 giugno 2012 alle ore 21:20:43 ora italiana, con epicentro in Novi di Modena.

Le accelerazioni di picco registrate dall'accelerometro di Mirandola durante le scosse più forti del 20 maggio e del 29 maggio sono state rispettivamente di 0,31 g e di 0,29 g, valori che in base alla carte vigenti di pericolosità sismica renderebbero stimabile in circa 2500 anni il tempo di ritorno di ciascun evento nella medesima area.

Fra gli edifici storici che hanno subito i maggiori danni vi sono numerose chiese che presentano le caratteristiche che si vogliono analizzare in questo lavoro: copertura in capriate in legno e pareti in muratura, che permettono dunque di verificare l'innestarsi del meccanismo di collasso oggetto di studio. Si riporta in questo capitolo l'indagine e l'analisi dei danni riportati da alcune delle chiese del territorio colpito dal sisma per verificare gli effetti ed il realizzarsi del meccanismo di risposta trasversale dell'aula.

### 2.1. Provincia di Modena

I comuni maggiormente segnati dagli effetti del terremoto nella provincia di Modena sono Camposanto, Carpi, Cavezzo, Concordia sulla Secchia, Finale Emilia, Medolla, Mirandola, Novi di Modena, San Felice sul Panaro, San Possidonio e San Prospero. In particolare sono stati colpiti i centri storici, i vecchi edifici in pietra, gli edifici rurali ed i capannoni nelle aree commerciali, artigianali ed industriali, mentre gli edifici di recente costruzione in cemento armato hanno ben tollerato l'evento sismico. La prima scossa del 20 maggio ha avuto gravi effetti soprattutto sulle aree di San Felice sul Panaro e Finale Emilia. In queste località l'intensità macrosismica rilevata è stata pari a 7. Intensità macrosismiche superiori a 6 sono state rilevate anche a Cavezzo e Mirandola. Le forti scosse del 29 maggio hanno invece aggravato i danni degli edifici già fortemente lesionati dall'evento precedente.

### 2.1.1. Comune di Concordia sulla Secchia



Figura 2 - S. Pietro Apostolo prima del sisma - Rif. Bibliog. [10]

realizzate in muratura portante e la copertura è sostenuta da una serie di capriate in legno, coperte da volte. Si adattano quindi alle caratteristiche in esame.

Concordia sulla Secchia dista 19 km dall'epicentro del primo evento sismico del 20 maggio 2012 e 10 da quello successivo del 29 maggio 2012. La maggior parte degli edifici storici, realizzati comunemente in muratura e con coperture in legno, hanno subito diversi crolli: si hanno lesioni importanti al palazzo comunale, alla torre, al teatro del popolo e a gran parte delle case private del centro storico. Anche gli edifici religiosi sono stati duramente colpiti dagli effetti del terremoto e tutte le chiese delle cinque parrocchie presenti sul territorio hanno riportato ingenti danni. Tutte gli edifici presentano una pianta tipica dell'architettura religiosa italiana: una navata centrale separata da due file di colonne o pilastri da due navate laterali più basse e strette rispetto a quella principale. Le pareti sono

#### La Chiesa di S. Pietro Apostolo



Figura 3 - interno della Chiesa di S. Pietro apostolo prima e dopo il sisma del 20 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]



Figura 4 - interno della chiesa di s. Pietro Apostolo dopo il sisma del 20 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]

La Chiesa di S. Pietro Apostolo (Figura 2), costruita nel 1672-1675 su un tempio precedente, con facciata ottocentesca e sita nella frazione di Fossa di Concordia presenta le caratteristiche appena descritte: la copertura è sostenuta da capriate lignee composte che poggiano su ampie pareti in muratura portante. L'edificio, riveste grande importanza storico-culturale in quanto arricchita dai Pico di Mirandola che poco lontano avevano una residenza estiva. La Chiesa custodisce i notevoli dipinti del pittore della famiglia Pico, Sante Peranda 1620 ca.) e un organo di Domenico Traeri (1739). Annesso è il Santuario dei Martiri e di S. Massimo, cappella di forma circolare.

A seguito del sisma del 20 maggio l'edificio presenta seri problemi di instabilità dovuti alle numerose lesioni che hanno danneggiato sia la parte superiore della navata centrale che le murature laterali, inoltre la facciata è rimasta danneggiata dal crearsi di una apertura. La volta interna è invece stata interessata da un crollo quasi totale (Figura 3, Figura 4) che ha seriamente danneggiato il santuario di S. Massimo. L'abside ed il campanile sono rimasti pericolanti. I danni sono stati stimati per un valore pari a 5.237.500,00 €.

### **Chiesa di San Giovanni Battista**

Altra Chiesa duramente colpita dal sisma è quella di S. Giovanni Battista (Figura 5), nella località S. Giovanni. Essa presenta le medesime caratteristiche architettoniche descritte in precedenza. In questo caso i danni riguardano il distacco della facciata dalle murature laterali ed il crollo parziale (Figura 6) della chiusura portante laterale della parte superiore della navata centrale (lato nord) e lesioni di diversa entità lungo le pareti delle navate laterali. I danni stimati ammontano a € 1.895.027,28.



Figura 5 - Chiesa di S. Giovanni Battista - Rif. Bibliog. [11]



Figura 6 - Dettaglio del crollo chiesa S. Giovanni battista - Rif. Bibliog. [11]

### **Chiesa di Santa Caterina**

Un altro edificio che ha riportato notevoli danni in seguito agli eventi sismici del maggio 2012 è la Chiesa di Santa Caterina. Costruita intorno al 1520 da una comunità di frati agostiniani la chiesa subì notevoli restauri nel corso dei secoli XVIII e XIX. Ad oggi presenta una ampia navata centrale affiancata da due navate minori, e la copertura in legno con ampie capriate, nascoste da un soffitto ligneo. La scossa del 20 maggio ha determinato lievi danni al campanile (Figura 7) ed il crollo di parte della copertura e del soffitto (Figura 8). I danni maggiori alla struttura si sono avuti in seguito al secondo evento sismico del 29 maggio: il crollo della



Figura 7 - Campanile della chiesa di S. Caterina dopo il sisma del 20 maggio 2012 - Rif. Bibliog. 01

torre campanaria sulla navata centrale ha determinato il collasso dell'intera copertura del presbiterio (Figura 11, Figura 12) e lo sfondamento di una navata laterale. Inoltre si sono verificati il crollo totale della rimanente copertura della chiesa e del timpano della facciata (Figura 10). I danni sono stimati attorno a € 2.581.250.



Figura 8 - Interno della chiesa di S. Caterina dopo il sisma del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. 01





Figura 9 - chiesa di S. Caterina dopo il sisma del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]



Figura 10 - Facciata della Chiesa di S. Caterina dopo il sisma del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]



Figura 11 - Copertura del presbiterio della Chiesa di S. Caterina dopo il sisma del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]



Figura 12 - Interno della Chiesa di S. Caterina dopo il sisma del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]

### ***Duomo della Conversione di San Paolo Apostolo***

L'edificio religioso, presente sul territorio, ad avere subito i maggiori danni è il Duomo di Concordia sulla Secchia, ovvero la Chiesa della Conversione di San Paolo Apostolo. L'edificio fu edificato più volte in epoche successive: la prima chiesa risale alla fine del sec. XIV e venne demolita nel 1510. Fu quindi ricostruita nel 1521 ma distrutta dal fiume nel 1595. Fu nuovamente riedificata nel 1599 e distrutta per ragioni belliche nel 1640. La ricostruzione definitiva terminò soltanto nel 1718 con la fine dei lavori della facciata neoclassica. La chiesa ha notevole interesse storico - culturale poiché ospita affreschi di Aureliano Milani (fine sec. XVII) e tre opere del modenese Adeodato Malatesta, della metà dell'800.

In seguito agli eventi del maggio 2012 ha riportato danni per 5.393.517 €. In particolare la prima scossa (20 maggio) ha provocato la caduta di parte della volta che ricopriva la copertura lignea della chiesa (Figura 13), mentre il secondo evento sismico ha determinato il distacco della facciata e il crollo totale della copertura (Figura 14, Figura 15).



Figura 13 - interno del Duomo della Conversione di S. Paolo dopo il sisma del 20 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]



Figura 14 - Duomo della Conversione di S. Paolo dopo il sisma del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]



Figura 15 - Duomo della Conversione di S. Paolo dopo il sisma del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]



Figura 16 - Duomo della Conversione di S. Paolo dopo il sisma del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]

## 2.1.2. Comune di Mirandola



Figura 17 - Chiesa del Gesù prima del sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [13]

Nel comune di Mirandola la maggior parte degli edifici di carattere storico ha riportato notevoli danni, ed è stato in seguito dichiarato inagibile; in particolare si segnalano il Castello dei Pico (danni per 10.000.000 €), il museo civico, il Palazzo Comunale (danni per € 7.191.151,00) e numerosi palazzi monumentali antichi di proprietà privata; tra questi: Palazzo della Ragione, Palazzo Bergomi, Palazzo dei conti Greco e Palazzo Personali.

Il sisma ha danneggiato anche tutti gli edifici di culto, che sono stati dichiarati per la maggior parte inagibili, e che hanno notevole importanza di carattere storico-culturale in quanto legati alla signoria della famiglia Pico della Mirandola.



## Chiesa del Gesù

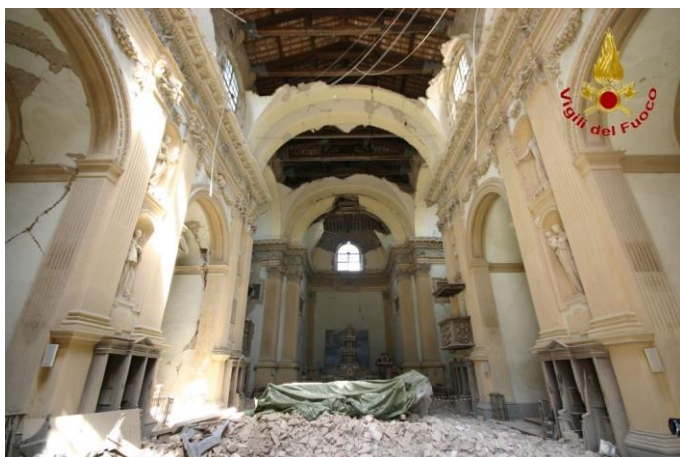


Figura 18 - interno della Chiesa del Gesù in seguito al sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [14]



Figura 19 - facciata della Chiesa del Gesù in seguito al sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [14]

Nel centro storico, in via Montanari, si trova la Chiesa del Gesù (Figura 17): l'edificio fu edificato su mandato di Alessandro I. Iniziata nel 1621, fu completata dal successore di Alessandro I, il nipote Alessandro II, nel 1689. La chiesa, presenta un fastoso interno in stile barocco, di ordine corinzio, ad una sola navata, ricco di arredi e opere d'arte ed è rimasta incompiuta nella facciata. L'arredamento interno, in gran parte in legno è opera di intagliatori mirandolesi, della fine del XVII secolo. Le ancone dei due altari lignei ai lati del transetto e le maestose cornici sono di Paolo Bonelli, mentre il pulpito è di Giacomo Gibertoni. Sono di pregevole fattura anche il ciborio dell'altare maggiore, in marmi policromi, la "Pala della Circoncisione", di Innocenzo Monti, e gli stucchi del cornicione, di Pompeo Solari. Al di sopra della porta, internamente, è collocata una magnifica composizione araldica che riproduce lo stemma della famiglia Pico-Mirandola-Concordia. Il cornicione è ricco di immagini allegoriche e simboli araldici che alludono alla gloria della famiglia Pico. Attiguo alla Chiesa si trova il collegio dei Gesuiti, aperto nel 1690. Il convento e gli alloggi dei Padri erano situati al piano superiore, mentre le scuole e le officine a quello inferiore. Il convento diventò sede dell'ospedale tra XIX e metà XX secolo e più recentemente del Liceo cittadino; attualmente ospita la Biblioteca e l'Archivio Comunali, oltre ad altri uffici del Comune di Mirandola. La Chiesa è tuttora utilizzata a scopi religiosi.

Gli eventi sismici del maggio 2012 hanno provocato danni per € 7.191.151,00: la struttura portante del soffitto costituita da capriate lignee composite ha retto senza riportare danni significativi, ma sono crollate le volte, inoltre la tenuta all'acqua della copertura è stata fortemente compromessa, lasciando esposte agli agenti atmosferici i preziosi altari lignei e gli affreschi presenti all'interno (Figura 18). Al contrario la muratura, lesionata in più punti, risulta pericolante e si è verificato il crollo della parte superiore della facciata (Figura 19). Anche l'ex convento situato a fianco della chiesa ha riportato gravi danni alla struttura, con crolli diffusi delle volte e della scala monumentale che risulta fortemente compromessa. Si allega il breve verbale dei danni disponibile sul sito web del comune di Mirandola (Allegato 01)

## Duomo di Santa Maria Maggiore



Figura 20 - Duomo di Mirandola prima del sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [16]



Figura 21 - Interno del Duomo di Mirandola dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [17]



Figura 22 - Duomo di Mirandola dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [18]

L'edificio di culto che ha riportato i maggiori danni è il Duomo di S. Maria Maggiore (danni stimati € 5.875.000,00), situato nella piazza principale della città, Piazza Duomo, in pieno centro storico. La costruzione del Duomo di Mirandola iniziò attorno all'anno 1440, per volere di Giovanni e Francesco I Pico. La realizzazione venne proseguita da Giovan Francesco I Pico e quindi, nel 1470, dai fratelli Galeotto e Anton Maria. L'importanza storica di detto edificio consiste nel fatto che con essa i Pico raggiunsero l'obiettivo di avere nella capitale dello stato la chiesa di maggiore importanza della Signoria e di costituire la Parrocchia di Mirandola, in quanto fino a quel momento Mirandola faceva capo a Quarantoli. L'edificio, costruito in un lungo lasso di tempo, si trovò inserito al centro di una nuova area in costruzione, il Borgo Novo. L'impianto originario presenta uno stile architettonico tardo gotico. Successive modifiche e interventi di restauro, i principali ultimati nel 1885, comportarono la ricostruzione dell'attuale facciata, secondo forme quattrocentesche e pseudo-rinascimentali. Gli spazi interni sono distribuiti su tre navate, con volte a crociera costolonate.

La Chiesa di S. Maria Maggiore conserva pregevoli dipinti, affreschi e monumenti funebri. Il campanile raggiunge l'altezza di 48 m. La parte inferiore del campanile è di epoca tardo-quattrocentesca. Nel XVII secolo è stato rialzato e nel 1888-1889 è stata rifatta

la guglia terminale. Internamente si trovano opere di particolare pregio, tra cui il S. Carlo Borromeo e S. Francesco d'Assisi di Sante Peranda, pittore di corte di casa Pico nel XVII secolo.

In seguito al sisma la copertura lignea sorretta da una serie di capriate che copriva la navata centrale, è completamente crollata (Figura 21, Figura 22), provocando anche il collasso delle volte interne. Il crollo della copertura ha determinato anche una forte compromissione degli interni, che risultano per la maggior parte distrutti e coperti da macerie. Il campanile è rimasto pericolante. Con la seconda scossa del 29 maggio si sono verificati crolli anche nelle murature e nella copertura delle navate laterali (Figura 22) e del timpano della facciata (Figura 23, Figura 24), rimasto solo leggermente



lesionato dopo la prima del 20 maggio. Si allega il breve verbale del comune a disposizione sul sito web di Mirandola (Allegato 02)



Figura 23 - Duomo di Mirandola dopo il sisma del 20 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [19]



Figura 24 - Duomo di Mirandola dopo il sisma del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [20]

### Chiesa di San Francesco



Figura 25 - Chiesa di S. Francesco prima del sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [21]



Figura 26 - Chiesa di S. Francesco dopo il sisma del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [22]

Il complesso della Chiesa di S. Francesco (Figura 25) situato nel centro storico in Piazza Garibaldi è uno dei più antichi della Città, unitamente al limitrofo convento francescano, compare già nel primissimo assetto urbano risalente al XIII Secolo.

La Chiesa di San Francesco, dai richiami gotici, figura tra le prime chiese francescane d'Italia, costruita subito dopo la canonizzazione del santo (1228). Sorta come piccola Chiesa, sul modello della Porziuncola, ad una sola navata e con il tetto a capanna, si ergeva fuori dalle mura dell'epoca, all'interno di un ristretto gruppo di case detto Borgo di Sopra e, in seguito, Borgo di San Francesco. Pur con lievi modifiche, assume l'aspetto attuale solo all'inizio del XV Secolo, quando venne inserita nel nucleo settentrionale della Città, in seguito all'allargamento della cinta muraria. Nel corso del tempo rivestì una grande importanza dal punto di vista sociale e religioso, per avere avviato alcune istituzioni sociali e umanitarie quali il Desco dei Poveri e il Sacro Monte di Pietà. L'importanza dell'edificio è data dal suo ruolo di "pantheon" della famiglia Pico: al suo interno, infatti, sono custodite le splendide tombe di Galeotto (1499), Prendiparte (1394 - opera di Paolo delle Masegne), di Spinetta (1399), ed infine di Giovan Francesco I e Giulia Boiardo, i genitori di Giovanni Pico (1467). La Chiesa e il convento attiguo ospitavano inoltre un patrimonio artistico e



culturale di incalcolabile valore: opere d'arte (alcune delle quali trasferite presso il Museo Civico), dipinti, statue devozionali, vetrate ricche di rimandi alla storia della città e del tempo; presso il convento inoltre era ospitata una ricca collezione libraria, che, insieme ad altri fondi, andò poi a costituire il nucleo originario della Biblioteca Comunale. In epoca attuale il convento costituisce la sede del Liceo Classico "Giovanni Pico", mentre la Chiesa è tuttora utilizzata a scopi religiosi.

I danni derivanti dal sisma sono stati valutati per € 10.067.611,40: si è verificato il crollo totale della struttura sia nella copertura che nelle pareti portanti; rimane soltanto la facciata (Figura 27). Si allega il breve verbale a disposizione sul sito del comune di Mirandola (Allegato 03)



Figura 27 - Chiesa di S. Francesco dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [22]

### **Oratorio del Santissimo Sacramento**



Figura 28 - Oratorio del Santissimo Sacramento dopo il terremoto del 2012 - Rif. Bibliog. [23]

Sempre all'interno del centro storico si trova L'Oratorio del Santissimo Sacramento: La Chiesa, da tempo sconsacrata e attigua al Duomo, fu eretta dalla Confraternita del SS. Sacramento nel periodo 1607 - 1610. L'oratorio venne completato nel 1631, ma già nel 1776 -77 fu ricostruito in forma più ampia. La facciata, ornata di terrecotte, è incompiuta nella parte superiore del timpano. L'interno è in stile tardo barocco, ad aula unica, e presenta tre cappelle di preghiera su ciascun lato maggiore. Il locale è attualmente utilizzato per esposizioni e mostre. A causa del terremoto si sono verificati il crollo del timpano e crolli diffusi su tutta la struttura e la facciata, mentre la copertura lignea, sorretta da capriate (queen trusses) ha presentato danni limitati (Figura 28). Si allega il breve verbale a disposizione sul sito del comune di Mirandola (Allegato 04).

Altre chiese che hanno subito danni rilevanti si trovano nelle frazioni della città di Mirandola che circondano il territorio comunale.

### **Chiesa di S. Giacomo e Filippo**



Figura 29 - Chiesa di S. Giacomo e Filippo prima del sisma de 2012 - Rif. Bibliog. [10]

Nella frazione di S. Giacomo Roncole si trova la Chiesa di S. Giacomo e Filippo (Figura 29). Costruita nel XIII secolo e già nota nel 1227, fu restaurata ed ampliata nel 1673 e successivamente nel 1794, quando assunse sostanzialmente l'aspetto attuale; lavori significativi furono poi realizzati nel 1893 e infine nel 1931, quando fu realizzata anche la decorazione pittorica interna. L'interno, completamente dipinto e affrescato è ad una sola navata, con due profonde cappelle sui lati. La Chiesa conserva ancora la sua cantoria e un monumentale organo a 850 canne e 24 registri, fabbricato nel 1865 da Carlo Comencini da Bompiano di Brescia e ricostruito nel 1975. Attraverso l'organizzazione di rassegne musicali, l'organo e la Chiesa stessa sono rientrati in percorsi di

valorizzazione degli organi storici. Oggi è tuttora usata per le funzioni religiose. Il terremoto ha profondamente segnato la chiesa che ha riportato danni per € 275.000,00. Si è verificato il crollo totale del timpano (Figura 30, Figura 31) e di parte delle volte della copertura; mentre il campanile è rimasto pericolante e necessita di opere per la messa in sicurezza. Si allega il breve verbale a disposizione sul sito del comune di Mirandola (Allegato 05).



Figura 30 - Chiesa di S. Giacomo e Filippo dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]



Figura 31 - Particolare del Timpano di S. Giacomo e Filippo - Rif. Bibliog. [10]

### **Chiesa di San Leonardo di Limoges**



Figura 32 - Chiesa di San Leonardo di Limoges dopo la scossa del 20 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]

La Chiesa di San Leonardo di Limoges (Figura 32) si trova nella frazione di Mortizzuolo. Citata dalle fonti per la prima volta nel 1222. La Chiesa attuale risale in parte al 1444 ed in parte maggiore al 1681, quando si raddoppiò la navata centrale e si costruirono le navate laterali. La Chiesa subì interventi e modifiche in diverse epoche, sino ai lavori di restauro, abbellimento e decorazione eseguiti tra il 1960 e il 1970, che hanno portato all'attuale aspetto interno, consistenti nel rivestimento con lastre di marmo dei pilastri, nell'apertura delle bifore dell'abside, nella sua sistemazione esterna e nella decorazione pittorica. Internamente sono da segnalare i dipinti ad affresco dell'abside, le eleganti vetrate a colori delle bifore

delle pareti laterali, due altari barocchi in marmi policromi, una tela con Madonna del Buon Consiglio, risalente al 1611, contenuta in una magnifica cornice in stile barocco. Attualmente l'edificio è utilizzato per le funzioni



religiose. In seguito al sisma del maggio 2012 la chiesa è rimasta in gran parte distrutta: il timpano è fortemente lesionato (Figura 32, Figura 33), vi sono crolli estesi e diffusi su tutta la struttura e le murature portanti sono compromesse. Inoltre dopo la scossa del 29 maggio il campanile è crollato portando al collasso quanto rimaneva della copertura (Figura 34). I danni sono stati stimati per un valore pari a € 1.750.000,00.



Figura 33 - Chiesa di San Leonardo di Limoges dopo la scossa del 20 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]



Figura 34 - Chiesa di San Leonardo di Limoges dopo la scossa del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]

### **Pieve di Santa Maria ad Nives**



Figura 35 - Pieve di S. Maria ad Nives prima del sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]



Figura 36 - Facciata di S. Maria ad Nives dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [10]

Nella frazione di Quarantoli vi è la Pieve di S. Maria ad Nives (Figura 35), unica Chiesa romanica del territorio mirandolese, citata dalle fonti per la prima volta nel 1044, la sua esistenza può essere ricondotta sino all'epoca preromanica. L'edificio presenta parti originali risalenti al XII secolo o ricondotte all'aspetto originale (torre campanaria e vano anteriore), parti di epoca e di stile barocco (la facciata) risalenti al 1670, quando il fabbricato subì una ricostruzione quasi totale, e parti risalenti alla seconda metà del XIX secolo (facciata). L'interno è a tre navate, con arcate a pieno centro, sostenute da colonne cruciformi. Di particolare rilevanza sono le antiche sculture in tufo e in pietra da taglio o in marmo che decorano l'interno della pieve, anche se non collocate nelle loro sedi originali. Le figure che adornano il pulpito sono probabilmente riconducibili ad artisti attivi nella cerchia di Wiligelmo, autore del Duomo di Modena. Anche l'altare maggiore è stato ricostruito con frammenti originali appartenenti alla Chiesa. L'edificio ha un particolare valore storico - culturale, in quanto si inserisce in un percorso ideale di chiese romaniche, che caratterizzano le province di Modena, Mantova, Verona, Ferrara e Parma, e che rientrano in progetti di promozione del patrimonio. Inoltre la frazione di Quarantoli ha una particolare importanza nella storia della città di Mirandola, in

quanto la corte di Quarantoli era la località più importante, del nucleo originario del territorio che dopo essere stato soggetto al Regno Longobardo, all'Abbazia di Nonantola, al Comune e alla Diocesi di Reggio, passò infine sotto il governo della Contessa Matilde di Canossa, la quale lo cedette in seguito ad un suo capitano, Ugo di Manfredi, da cui discendono vari rami di famiglie, tra cui i Pico, signori di Mirandola per quattrocento anni (dal 1311 al 1711). La chiesa è utilizzata per le funzioni religiose. Il terremoto del 2012 ha fortemente danneggiato la struttura della chiesa: il timpano è quasi totalmente crollato (Figura 36, Figura 37, Figura 38, Figura 40), la copertura lignea della navata centrale è lesionata e pericolante e si ha il collasso parziale della copertura della navata laterale destra (Figura 37, Figura 40, Figura 39). Attualmente è in fase di elaborazione il progetto per la messa in sicurezza. Gli ingenti danni ammontano ad oltre 4.000.000,00 €. Si allega il breve verbale a disposizione nel sito web del comune di Mirandola (Allegato 06).



Figura 37 - Pieve di S. Maria ad Nives dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [10]



Figura 38 - Particolare del timpano di S. Maria ad Nives - Rif. Bibliog. [10]



Figura 39 - Navata laterale destra di S. Maria ad Nives - Rif. Bibliog. [10]



Figura 40 - Navata laterale destra di S. Maria ad Nives - Rif. Bibliog. [10]



### **Chiesa di Santa Giustina**

Nella frazione di S. Giustina Vigona vi è la Chiesa di S. Giustina (Figura 41), costruita nel XIII secolo e affiancata, nel XV Sec dal convento degli agostiniani, che ha riportato danni per € 868.750,00. A causa del sisma si è verificato il crollo del soffitto e le murature presentano lesioni diffuse in tutto l'edificio (Figura 42, Figura 43, Figura 44).



Figura 41 - Chiesa di S. Giustina - Rif. Bibliog. [10]



Figura 42 - Interno della Chiesa di S. Giustina - Rif. Bibliog. [10]



Figura 43 - Soffitto della Chiesa di S. Giustina - Rif. Bibliog. [10]



Figura 44 - Lesioni alla muratura della Chiesa di S. Giustina - Rif. Bibliog. [10]

### **Chiesa Parrocchiale di San Martino**



Figura 45 - Chiesa Parrocchiale di S. Martino Carano - Rif. Bibliog. [10]

Nella Frazione di San Martino Carano vi è la Chiesa Parrocchiale di S. Martino. Costruita nel 1599, con i materiali di un'altra più antica. La Chiesa fu completata e rifinita nel 1619, anno in cui fu costituita anche la Parrocchia, la quale precedentemente era compresa in quella di Mirandola. Nonostante la modestia dell'edificio dal punto di vista storico - artistico, la chiesa e la frazione stessa sono rappresentative del territorio, richiamando in particolare l'aspetto della devozione nei confronti del Vescovo di Tour (a cui sono dedicate numerose chiese in zona, due delle quali nel Comune di Mirandola), per la sua lotta contro le eresie. Il sisma ha gravemente danneggiato la Chiesa: il campanile pericolante deve essere demolito e il crollo della facciata e di parte della muratura della navata

centrale la rendono inagibile. Si allega il breve verbale a disposizione sul sito del comune di Mirandola (Allegato 05).



Figura 46 - Lesioni alla muratura della Chiesa di S. Martino Carano - Rif. Bibliog. [10]



Figura 47 -Lesioni al campanile di S. Martino Carano - Rif. Bibliog. [10]

### **Chiesa di San Martino Spino**



Figura 48 - Chiesa di San Martino Spino dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]

Nella Località di San Martino Spino ad essere stata fortemente danneggiata dal terremoto è la Chiesa di San Martino Spino (Figura 48). Eretto sui resti di una precedente chiesa, l'edificio attuale fu costruito tra il 1636 e ed il 1647. Anche la prima chiesa dedicata a San Martino sorgeva probabilmente su precedenti ruderi, romani, di cui la zona è ricchissima. Internamente si trovano sei cappelle laterali e un altare maggiore, dedicato a San Martino Vescovo, con un magnifico ciborio di marmi intarsiati e due ali laterali che toccano le pareti del presbiterio. La struttura è oggi inagibile a causa dei numerosi crolli interni e strutturali e delle lesioni alla muratura portante. In occasione del sisma del 2012 l'edificio ha retto ai carichi derivanti dal sisma grazie ad un puntellamento esistente dovuto ad un

precedente evento sismico (2011). I danni riportati ammontano a € 812.500,00. Si allega il breve verbale disponibile sul sito internet del comune di Mirandola (Allegato 05).

### **Chiesa della Visitazione della Beata Vergine**

Anche la Chiesa della Visitazione della Beata Vergine Maria (nella Località Tramuschio) ha subito forti danni a causa del terremoto. La spesa per la ricostruzione è stata valutata pari a € 1.400.000,00. Dedicata alla visitazione di Maria, fu ricostruita nel luogo dove si trova ora, nel secolo XVI; nel 1616 fu ampliata e nel secolo scorso (nel 1933 e successivamente nel 1978) venne ulteriormente restaurata. Caratteristiche sono le vetrate con volti di Santi e la vetrata del rosone che rappresenta la visitazione di Maria. Durante il sisma si è verificato il crollo parziale del timpano, in particolar modo a partire dalla zona strutturalmente più debole in prossimità del rosone e di parte della volta e della copertura. Anche le pareti in muratura sono fortemente lesionate, tanto da compromettere la stabilità dell'edificio. Il campanile è pericolante e deve essere abbattuto. Si allega il breve verbale disponibile sul sito internet del comune di Mirandola (Allegato 05).



Figura 49 - Chiesa della Visitazione della Beata Vergine Maria dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [10]



Figura 50 - Chiesa della Visitazione della Beata Vergine Maria dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [10]

### 2.1.3. Comune di Novi di Modena

#### *Chiesa di San Michele Arcangelo*



Figura 51 - Interno della Chiesa di S. Michele Arcangelo dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]

Nel territorio comunale di Novi di Modena fra gli edifici di carattere storico maggiormente colpiti vi è la Chiesa di San Michele Arcangelo (Figura 51) L'attuale struttura risale alla metà del 1600 ed è il risultato di un integrale rifacimento di una quattrocentesca cadente chiesa, a sua volta edificata su una preesistente pieve romanica dedicata a Santa Maria Maddalena; anche quest'ultima, a sua volta, risulta essere il rifacimento di un'antecedente pieve preromantica, citata per la prima volta nell'anno 980 ma risalente al VI secolo. La chiesa attuale, caratterizzata da pianta a tre navate e soffitto ligneo coperto da volte presenta alcuni elementi architettonico-artistici di rilievo come la facciata realizzata alla fine del 1700 dall'architetto Giovanni Costa di Mirandola. Il terremoto del 2012 ha

profondamente segnato la struttura provocando importanti lesioni ai muri portanti, il distacco della facciata dalle chiusure laterali ed il collasso del soffitto voltato della navata centrale. E' stata inoltre necessaria la messa in sicurezza del campanile per evitarne il crollo sulla Chiesa e sulla casa parrocchiale. I danni provocati alla struttura ammontano a € 4.650.000,00.

#### *Chiesa di Santa Caterina*

La Chiesa di S. Caterina, risalente alla metà del sec. XV, fu eretta a parrocchia nel sec. XVI, su iniziativa dell'abate di Nonantola, Gabriele Paleotti, che unì i territori delle preesistenti parrocchie di S. Maria Maddalena e S. Tommaso. La chiesa, che inizialmente era solo un oratorio, nel sec. XVI fu ampliata e dotata di torre campanaria e subì ripetuti restauri nel corso dei secoli successivi. In seguito agli eventi sismici la chiesa è quasi totalmente distrutta: la facciata è staccata e pericolosamente fuori piombo, inoltre si è verificato il collasso completo della copertura (Figura 52, Figura 53) che ha determinato anche il crollo della volta interna. Il campanile, pericolante, deve essere abbattuto.





Figura 52 - Interno della Chiesa di S. Caterina - Rif. Bibliog. [10]



Figura 53 - Interno della Chiesa di S. Caterina - Rif. Bibliog. [10]



Figura 54 - Chiesa di S. Caterina - Rif. Bibliog. [10]



Figura 55 - Chiesa di S. Caterina - Rif. Bibliog. [10]

#### 2.1.4. Comune di Carpi

Il territorio comunale di Carpi è stato danneggiato in modo rilevante dagli eventi sismici avvenuti nella pianura emiliana tra il mese di maggio e di giugno del 2012. I danni sono stati importanti sia sugli edifici di nuova costruzione, compromettendo le attività economiche presenti sul territorio, che sulle costruzioni esistenti realizzate in muratura portante e con le coperture in legno. Fra le costruzioni esistenti danneggiate vi sono numerosi edifici a carattere storico come il Teatro Comunale (1860 progetto di Claudio Rossi), il Castello dei Principi Pio (danni per € 2.933.924,00), l'ex campo di concentramento e il Palazzo Vescovile (danni per € 4.333.750,00). Anche gli edifici di culto sono stati compromessi, in particolare gli edifici che presentano le caratteristiche in esame: pareti portanti di muratura e copertura in legno sorretta da capriate lignee.



## Duomo di Santa Maria Assunta



Figura 56 - Duomo di Carpi prima del sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [10]



Figura 57 - Lesioni alla cupola del Duomo di Carpi dopo il sisma del 20 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]

Il Duomo di Santa Maria Assunta è una delle strutture più danneggiate: ha riportato danni per € 4.063.750,00. Costruito a partire dal 1514 e ultimato sul finire nel XVIII secolo fu completato soltanto nella seconda metà del XVII secolo con la facciata dalle linee barocche; mentre l'alta cupola, costruita nel 1768, fu abbassata nel 1771 per ragioni statiche. La Chiesa presenta un interno a tre navate dovuto alla progettazione rinascimentale di Baldassarre derivante dalla basilica di San Pietro in Vaticano. La struttura durante il terremoto del 20 e 29 maggio, pur mantenendo la sua integrità complessiva, ha subito una serie di danni che ne hanno causato l'inagibilità e hanno portato alla chiusura di un intero isolato del centro storico di Carpi. I danni più gravi si sono localizzati sulla facciata e sulla cupola. La facciata ha subito sollecitazioni al di fuori dal piano che hanno determinato uno spostamento verso l'esterno che ha provocato lesioni orizzontali, ben visibili, alle paraste e al timpano. Il 29 maggio durante il secondo evento sismico si è verificato il distacco della croce sommitale che, pur essendo vincolata con un cavo di acciaio alla sottostante parete, è caduta sul retro della facciata. L'urto ha comportato una rottura della croce che è precipitata sul tetto in legno, sfondando questo e la sottostante volta in laterizio, in prossimità del portone. Il movimento ondulatorio sulla facciata ha inoltre comportato l'espulsione di parte della muratura nei due

contrafforti sulla controfacciata. La scossa ha determinato il crollo di quattro ornamenti sferici della facciata, comportando la rottura di altre due porzioni della copertura. La cupola è l'elemento più danneggiato sia in termini di rischio sia in termini di entità: già oggetto in passato di un intervento di consolidamento strutturale (incatenamento interno a livello dell'appoggio della volta interna), lo spostamento derivato dal sisma ha provocato la rottura del punto di minor resistenza (in prossimità del finestrone posto a sud-est) determinando il crollo dell'architrave e del muro sottostante, dove sono presenti anche due fratture a X probabilmente dovute agli effetti dell'azione tagliante. Si è verificata inoltre l'espulsione dalla propria sede della muratura posta sopra la volta interna, accompagnata da una lesione verticale. Le navate laterali presentano una serie di lesioni da distacco dovute al movimento est-ovest del fabbricato, che si sono verificate in corrispondenza dell'arco di collegamento tra le volte della navata centrale e quelle laterali.

L'intervento di messa in sicurezza della Cattedrale prevede più fasi. Attualmente si sta provvedendo alla messa in sicurezza della cupola e della facciata per evitare ulteriori crolli e infiltrazioni di acqua piovana all'interno del Duomo. Tali opere risultano particolarmente complesse per la difficoltà di raggiungimento della cupola centrale, che poi sarà sottoposta ad una preventiva cerchiatura su più livelli, sia sull'esterno che sull'interno, con il ripristino delle murature distrutte. Si provvederà anche alla messa in sicurezza della facciata e delle zone

di tetto lesionate dal crollo dei decori, attraverso la realizzazione di una copertura provvisoria delle porzioni mancanti.



Figura 58 - Interno del duomo di carpi dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [10]



Figura 59 - Particolare del danneggiamento della facciata del Duomo di Carpi dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]

### **Chiesa di San Francesco d'Assisi**

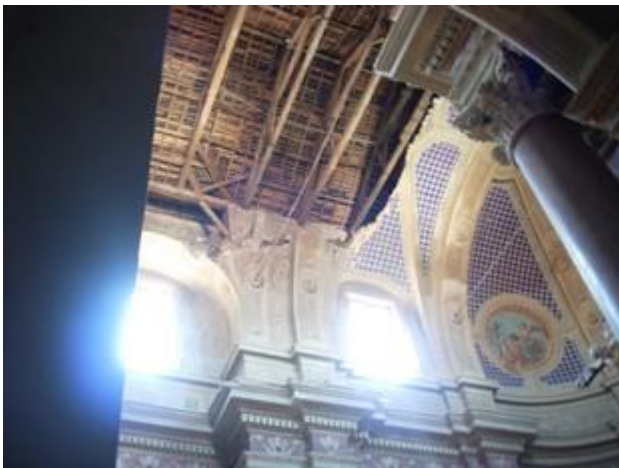


Figura 60 - Interno della Chiesa di S. Francesco, dettaglio del crollo del soffitto - Rif. Bibliog. [10]

Oltre al Duomo risulta danneggiata anche la Chiesa di San Francesco d'Assisi, opera dell'architetto Clemente Cariani. Fu costruita nel XVII secolo, in sostituzione di una precedente chiesa duecentesca, dedicata anche questa al Santo di Assisi. L'edificio venne completato nel '700, anche se la facciata rimase incompiuta. L'interno è ad una navata con pianta a croce latina, sorretta da colonne rotonde, ai lati troviamo quattro piccole cappelle. La Chiesa risulta inagibile per la caduta parziale della volta interna dovuta ad un abbassamento della copertura lignea.

### **Chiesa di San Martino**



Figura 61 - Chiesa di San Martino Secchia prima del sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]

Altra Chiesa sul territorio comunale di Carpi danneggiata dal terremoto è San Martino (Figura 61), nella frazione di San Martino Secchia. La chiesa nota già dal 971 ha subito vari rifacimenti. Rifabbricata nel 1620 è stata poi completamente ricostruita nel 1858 nella forma attuale, finemente restaurata nel 2008. Si presenta con caratteri neoclassici, assai sobria, con facciata a timpano. Dopo il sisma la chiesa risulta inagibile a causa del crollo totale della copertura lignea che ha fortemente danneggiato anche gli interni della chiesa (Figura 62, Figura 63). Il piccolo campanile è collassato a seguito del secondo evento sismico del 29 maggio.



Figura 62 - Interno della Chiesa di San Martino Secchia dopo il sisma del 20 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]



Figura 63 - Interno della Chiesa di San Martino dopo il sisma del 20 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]

### **Chiesa Madre**

Nella frazione di Fossoli è la Chiesa Madre ad avere subito i maggiori danni: il crollo quasi totale del tetto che ha danneggiato gravemente gli interni. I danni ammontano a € 1.395.000,00.



Figura 64 - Chiesa madre, crollo della copertura - Rif. Bibliog. [10]



Figura 65 - Interno della Chiesa Madre di Fossoli - Rif. Bibliog. [10]



## 2.1.5. Comune di San Possidonio

### *Chiesa Parrocchiale di San Possidonio*



*Figura 66 - Chiesa di S. Possidonio prima del sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [10]*



*Figura 67 - interno della Chiesa di san Possidonio dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [10]*

Nel comune di San Possidonio l'edificio che ha subito i maggior danni in seguito agli eventi sismici è la Chiesa Parrocchiale di S. Possidonio (Figura 66). La struttura, di costruzione settecentesca, riveste notevole importanza di carattere storico poiché custodisce il capolavoro del veneziano Sante Peranda, pittore dei Pico di Mirandola: il dipinto con l'Assunta, santi e Laura d'Este Pico (1612), e varie monumentali cornici in legno intagliato. L'edificio, a pianta a croce greca con 4 piccole cappelle agli angoli è rimasta parzialmente distrutta dopo il sisma: si sono infatti verificati crolli parziali della volta (Figura 67), della copertura lignea

(Figura 69), del timpano (Figura 68), della facciata e del campanile. Ad oggi è stata terminata la prima fase dei lavori di messa in sicurezza e di copertura provvisoria della chiesa. Il prezzo per i lavori di ricostruzione previsti è stimato pari a € 8.587.500,00.



*Figura 68 - Chiesa di S. Possidonio dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. 01*



*Figura 69 - Copertura della Chiesa di S. Possidonio dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. 01*

### 2.1.6. Comune di Finale Emilia

Nel 2012 il patrimonio artistico di Finale Emilia è stato gravemente danneggiato dal terremoto che ha colpito tutta la Bassa modenese. Le scosse hanno causato il crollo della Torre dei Modenesi, di buona parte della Rocca Estense, del Palazzo Veneziani e della parte superiore del Duomo di San Filippo e Giacomo. La maggioranza dei danni si è avuta con la scossa del 20 maggio, mentre quelle successive hanno causato danni minori; Finale Emilia fu proprio epicentro della scossa principale del 20 maggio, di magnitudo 5.9.

#### *Duomo di San Filippo e Giacomo*

Il Duomo, costruito nel 1474 era dedicato ai Santi Filippo e Giacomo. Su progetto di Angelo Marescotti, fu completamente ristrutturato nel 1770, la facciata, risaliva al 1807, per la firma di Cesare Rossi. In seguito al sisma si è verificato il crollo del timpano e di parte della facciata, inoltre la copertura lignea e parte delle volte del soffitto sono collassate.



Figura 70 - Duomo di finale Emilia prima del sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]



Figura 71 - Duomo di finale Emilia dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]

### 2.1.7. Comune di Camposanto

#### *Chiesa di San Nicola da Bari*

L'edificio maggiormente colpito sul territorio comunale di Camposanto è la Chiesa di San Nicola da Bari, antico tempio ristrutturato nel 1851, presenta danni per € 2.375.000,00: in particolare si sono verificati il crollo del timpano e di parte della copertura.



Figura 72 - Chiesa di S. Nicola da Bari - Rif. Bibliog. [10]



Figura 73 - Chiesa di S. Nicola da Bari - Rif. Bibliog. [10]



## 2.1.8. Comune di San felice sul Panaro

### *Chiesa Arcipretale di San Felice Vescovo*



*Figura 74 - Chiesa Arcipretale di S. felice Vescovo e Martire prima e dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [25]*

Il comune di S. Felice sul Panaro è stato uno fra i più danneggiati dai terremoti dell'Emilia del 2012, che nel paese hanno causato tre vittime e gravissimi danni, fra cui la chiesa arcipretale andata completamente distrutta, la Rocca Estense gravemente danneggiata e la torre dell'orologio crollata. Inoltre tutte le chiese presenti sul territorio hanno subito danni rivelanti. La più colpita è la Chiesa Arcipretale di San Felice Vescovo e Martire (Figura 74), che riporta danni per oltre 15 milioni di euro. La Chiesa riedificata più volte nel corso della storia viene costruita nella forma attuale a partire dal 1417, e modificata successivamente: ingrandita nel 1606, restaurata nel 1730 e completata con la facciata tra il 1892 e 1895. Presenta una pianta ad una sola navata con

copertura lignea nascosta da un soffitto voltato. A causa del terremoto è crollata totalmente sia la copertura che la volta, inoltre la facciata risulta compromessa e parzialmente crollata.

### *Chiesa di San Giuseppe Artigiano*

La Chiesa di San Giuseppe Artigiano (costruita nel 1425 e riedificata nel 1648), o Chiesa del Mulino, risulta fortemente compromessa in seguito agli eventi sismici: la copertura della navata centrale è parzialmente crollata e la muratura portante, sia della navata principale che di quelle laterali, sono fortemente lesionate. Inoltre si è verificato il crollo del timpano e di parte della facciata. I danni sono stimati per un valore pari a € 6.250.000,00.



*Figura 75 - Chiesa di San Giuseppe Artigiano - Rif. Bibliog. [26]*

### ***Chiesa della Natività di Santa Maria***

Altro edificio di culto lesionato dal terremoto è la Chiesa della Natività di S. Maria, chiesa quattrocentesca ristrutturata e modificata nel 1700. A seguito del terremoto ha riportato il crollo del timpano e di parte della copertura.



*Figura 76 - Chiesa della Natività di S. Maria prima del sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [27]*

### ***Chiesa di San Biagio***

Altro edificio duramente colpito è la Chiesa di San Biagio nominata dal XIII secolo con aspetto settecentesco e interventi ottocenteschi. Il terremoto ha determinato il collasso della copertura lignea e di parte delle pareti di muratura (Figura 77, Figura 78), provocando danni per oltre 8.500.000 €.



*Figura 77 - Chiesa di S. Biagio dopo il sisma del 20 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [28]*



*Figura 78 - Chiesa di S. Biagio dopo il sisma del 20 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [28]*

## **2.1.9. Comune di Cavezzo**

Cavezzo è uno dei tre comuni più colpiti dalle scosse del terremoto del 2012: quasi il 60 % degli edifici è rimasto danneggiato. Fra questi anche costruzioni di carattere storico-culturale: il Municipio settecentesco, l'osservatorio astronomico e numerose chiese, alcune caratterizzate dalla tipologia strutturale in esame. Fra queste si trova la Chiesa di San Giovanni Battista, nella frazione di Disvetro.

### ***Chiesa di San Giovanni Battista***

La Chiesa ha origine da un modesto oratorio sorto nel 1610. La configurazione attuale dell'edificio si deve alla ricostruzione del 1663, che non dimostra particolari pregi architettonici: la facciata, settecentesca, è sobriamente organizzata in due ordini di lesene poco pronunciate sui rispettivi basamenti, con due ali laterali appena accennate. La compattezza della superficie muraria è appena mossa dalla porta, dal finestrone centrale e dalle due nicchie. Il Campanile, già presente dal 1668 è stato completamente ricostruito nel 1923.

In seguito al sisma si è verificato il collasso della copertura lignea e di parte della facciata (Figura 79, Figura 80). Le murature portanti della navata hanno subito il crollo nella parte superiore. I danni stimati hanno un valore pari a € 7.500.000,00.



Figura 79 - Chiesa di S. Giovanni Battista dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [29]



Figura 80 - Chiesa di S. Giovanni Battista dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [29]

### **Chiesa Parrocchiale di Santa Maria ad Nives**



Figura 81 - Chiesa Parrocchiale di S. Maria ad Nives prima del terremoto del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [29]

La Chiesa Parrocchiale di Santa Maria ad Nives (Figura 81), nella frazione di Motta di Cavezzo, è senza dubbio l'emergenza artistico-architettonica di maggior rilievo nel territorio cavezzese, conservando ancora al proprio interno, pressoché inalterate, opere di notevole pregio. La chiesa sembra trarre la sua origine da una cappella eretta nel secolo XIV dalla nobile famiglia Azzolini, poi assoggettata alla parrocchiale di Cavezzo sin dalla metà del secolo. Nel 1642 furono rialzati i muri perimetrali e costruita la volta a botte. La facciata, in laterizio a vista, è di sobrio impianto organizzata su due ordini a tre campate affiancate da due esigue ali laterali. Nel periodo 1875-1892 l'edificio fu sottoposto a notevoli restauri: fu posato un

nuovo pavimento (1879) poi ricostruito nel 1931 e furono rifatte le gradinate di accesso agli altari laterali, originariamente undici e ridotti a sei nella prima metà del Novecento. Il terremoto ha provocato il crollo parziale (nella zona sovrastante l'ingresso principale) della copertura lignea (Figura 82) sorretta da capriate composite in legno e il crollo della parte superiore del timpano, all'altezza della vetrata presente nelle facciate (Figura 83). Il valore dei danni è pari a € 2.162.500,00.





Figura 82 - Interno della Chiesa Parrocchiale di S. Maria ad Nives prima del terremoto del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [29]



Figura 83 - Particolare della facciata della Chiesa Parrocchiale di S. Maria ad Nives prima del terremoto del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [29]

### **Chiesa Parrocchiale di Sant'Egidio**

La Chiesa Parrocchiale di Sant'Egidio di Cavezzo, ha le sue origini in un antico oratorio esistente sin dalla fine del secolo dodicesimo nell'Isola di Sant'Egidio. Già ricostruito nel 1620 e nel 1748, agli inizi del '900 il tempio versava in precarie condizioni tanto da rendere necessario un radicale rifacimento. Nel 1909, demolito il vecchio edificio, iniziarono i lavori di costruzione della nuova parrocchiale, terminati nel 1912. L'edificio è un sobrio e monumentale tempio in forme eclettiche neorinascimentali che arieggiano, nella maestosa facciata ad arco trionfale in laterizio alta 21 metri, con esempi albertiani e palladiani, riassunti in quattro lesene di ordine gigante (cimate da capitelli pseudo ionici con protomi) su alto basamento. Le lesene reggono cornicione e timpano in notevole aggetto, sovrastato a propria volta da altro elemento su cui troneggia la croce. L'interno a navata unica, voltato a botte, è assai luminoso grazie alla presenza di sei ampie finestre termali praticate nel cleristorio. Tre cappelle per parte si aprono nei lati, pausati da una travata ritmica di lesene cimate da capitelli pseudo ionici. L'ultimo radicale restauro risale ai primissimi anni Ottanta. La torre campanaria, ricostruita nel 1781, risanata nel 1921 dall'architetto Masi e sottoposta recentemente ad un importante restauro, vide sostituire nel 1830 la primitiva cupola con l'attuale guglia. Il terremoto ha determinato il collasso della copertura, su tutte le navate, e di parte della muratura della parte più alta della navata centrale (Figura 84, Figura 85, Figura 86, Figura 87). Il danno stimato ha un valore di € 5.750.000,00.



Figura 84 - Chiesa di S. Egidio dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [29]



Figura 85 - Chiesa di S. Egidio dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [29]



Figura 86 - Interno della Chiesa di S. Egidio dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [29]



Figura 87 - Chiesa di S. Egidio dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [29]

### 2.1.10. Comune di Medolla

#### *Chiesa di San Bartolomeo*

Il comune di Medolla è, insieme con S. Felice sul Panaro e Cavezzo il territorio più danneggiato dagli eventi sismici. Come accade nelle altre cittadine anche qui le chiese sono state duramente lesionate dagli effetti delle scosse. I maggiori danni (7.500.000,00 €) sono stati provocati alla Chiesa di San Bartolomeo (ultima ricostruzione 1621), nella frazione di Villafranca. La copertura lignea è completamente crollata, mentre la facciata e parte delle murature di sostegno sono in grande parte crollate (Figura 88, Figura 89, Figura 90).



Figura 88 - Chiesa di S. Bartolomeo prima del sisma - Rif. Bibliog. [30]



Figura 89 - Chiesa di S. Bartolomeo dopo il sisma - Rif. Bibliog. [31]



Figura 90 - Particolari della Chiesa di S. Bartolomeo prima del sisma - Rif. Bibliog. [30]



### ***Pieve di Camurana***

La Pieve di Camurana (Figura 91), piccola chiesa dalla pinata a tre navate e copertura lignea ha subito per effetto del terremoto il crollo della copertura e della facciata. Inoltre le pareti portanti sulle quali posava la struttura del tetto sono fortemente danneggiati.



Figura 91 - Pieve di Camurana - Rif. Bibliog. [30]



Figura 92 - Pieve di Camurana - Rif. Bibliog. [30]

### **2.1.11. Comune di Limidi di Soliera**

#### ***Chiesa di San Pietro in Vincoli***

La Chiesa della frazione di Limidi di Soliera, Vincoli, ha riportato danni in seguito agli eventi sismici in esame. La Chiesa di San Pietro in Vincoli (Figura 93) esistente fin dal 1113 è stata ricostruita nel 1642 e ancora nel 1775, portandola alla forma attuale. I danni sono stati stimati per un importo pari a € 300.000,00. Le volte hanno subito un parziale distacco dalle murature e sono quindi a rischio di crollo, inoltre è avvenuto il distacco della facciata e delle catene delle capriate di copertura dalla muratura.



Figura 93 - Chiesa di San Pietro in Vincoli - Rif. Bibliog. [10]



Figura 94 - Chiesa di San Pietro in Vincoli - Rif. Bibliog. [10]

## 2.2. Provincia di Reggio Emilia

Il territorio colpito dal sisma comprende un'area di 458 chilometri quadrati, pari al 20% dell'intero territorio provinciale, al cui interno vivono oltre 121 mila persone. I danni maggiori si sono avuti a seguito dei terremoti del 29 maggio e i comuni maggiormente danneggiati, secondo il rapporto dell'INGV sono Reggiolo e Rolo. I danni agli edifici pubblici, soprattutto a chiese e scuole, sono stati ingentissimi.

### 2.2.1. Comune di Rolo di Reggio Emilia

Il territorio di Rolo è stato colpito dagli effetti del terremoto, che ha causato seri danni al centro storico, alle abitazioni e alle strutture agricole ed industriali del paese. I danni riportati al Caseificio sociale Tullia alla Chiesa parrocchiale, alla Torre campanaria, alla Villa Resti-Ferrari del XVIII secolo, a diverse abitazioni private, ed al teatro comunale sono stati gravissimi.

#### *Chiesa di San Zenone*



*Figura 95 - Chiesa di S. Zenone durante i lavori di messa in sicurezza della facciata - Rif. Bibliog. [31]*

La Chiesa di San Zenone, risale probabilmente all'alto medioevo. La struttura muraria dell'edificio quasi certamente venne rifatta per intero nel XV secolo; fu poi ampiamente rimaneggiata tra la fine del Seicento e l'inizio del Settecento. Nel XIX secolo vennero costruite, nelle navate laterali, le due cappelle semicirculari, mentre nel 1912 la zona absidale fu riedificata a pianta poligonale ed allargata. Oggi la chiesa presenta una bella facciata settecentesca, suddivisa da lesene che sorreggono un ampio frontone triangolare. L'interno, costituito da una navata centrale coperta da volte a botte e da due navate laterali ribassate, presenta raffinate ancone in scagliola policroma, eleganti stucchi e, nella controfacciata, un affresco riferibile alla metà del XV secolo. Il terremoto ha provocato il distacco della facciata dalle parte murarie, e i

lavori di ristrutturazione e consolidamento, costati 400 mila euro sono stati mirati alla messa in sicurezza e miglioramento sismico dell'edificio. Gli interventi hanno riguardato l'inserimento di catene sull'edificio, la legatura della facciata che si era spostata di circa 30 centimetri, il consolidamento delle volte della sagrestia e delle navate laterali nelle parti di attacco alla facciata e opere per riparare le lesioni presenti nella muratura portante. La Chiesa è stata riaperta ed ha ripreso le sue normali funzioni dal 9 novembre 2013.

### 2.2.2. Comune di Luzzara

Gli edifici pubblici del comune di Luzzara che hanno subito i danni peggiori sono la palestra di Luzzara, il Museo dei Naif, il polivalente di via Panagulis. Chiuse anche le ex scuole elementari di Casoni, sede della scuola di musica della frazione. Delle cinque chiese del Comune, solo quella di Codisotto ha riaperto dopo le lesioni del sisma. Il patrimonio abitativo privato ha subito danni per quanto riguarda le costruzioni esistenti non adeguate alle moderne normative antisismiche.

### **Chiesa di San Giorgio**

La Chiesa di San Giorgio (Figura 96) ha subito danni per € 1.126.250,00, che hanno interessato soprattutto la copertura lignea della chiesa, che è crollata (Figura 97) in più parti e lesioni diffuse alla muratura portante.



Figura 96 - Chiesa di S. Giorgio - Rif. Bibliog. [32]

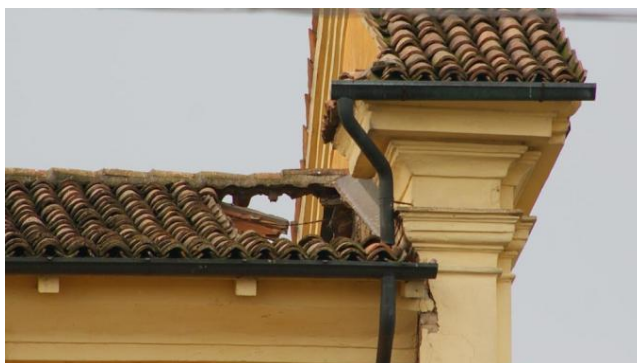


Figura 97 - Chiesa di S. Giorgio - Rif. Bibliog. [32]

### **2.3. Provincia di Ferrara**

Il territorio colpito dal sisma comprende un'area di 818 chilometri quadrati, pari al 31% dell'intero territorio provinciale, al cui interno vivono circa 214 mila persone (il 59% del totale provinciale di 360 mila). La zona occidentale della provincia di Ferrara è stata duramente colpita soprattutto dal sisma del 20 maggio. Si sono verificate numerose lesioni e crolli parziali alla maggior parte degli edifici storici e crolli in vari edifici industriali, civili ed agricoli. Nei sismi successivi a quello del 20 maggio la zona è risultata meno coinvolta. I comuni in cui si sono verificati i danni più gravi sono stati Bondeno, Cento, Mirabello, Poggio Renatico e Sant'Agostino. I danni più gravi al patrimonio storico e artistico si sono avuti con il crollo e il grave danneggiamento della chiesa di San Paolo a Mirabello, il crollo della torre dell'orologio del Castello Lambertini a Poggio Renatico, ed il crollo di parte del Palazzo Mosti a Pilastrini di Bondeno. Gravi danni anche a chiese e municipi: a Sant'Agostino parte del municipio è crollato, mentre a Bondeno le chiese delle frazioni di Gavello e Stellata, ma soprattutto quelle di Burana e Pilastrini sono state fra le più danneggiate della zona, uscendo semidistrutte dal sisma del 20 maggio. A Cento gravi danni al Municipio, al Teatro, alla Pinacoteca oltre a tutte le chiese e campanili, comprese quelle delle frazioni di Buonacompra, di Alberone di Cento e di Casumaro. L'80% degli edifici scolastici del comune e delle sue frazioni sono rimasti irrimediabilmente danneggiati, oltre a numerosissime abitazioni. Seri danni anche alla città di Ferrara dove risultano gravemente danneggiati o inagibili numerosi edifici pubblici, danni seri al patrimonio artistico e religioso, agli edifici scolastici, all'università ed all'ospedale. Circa 8000 abitazioni private gravemente danneggiate, di cui 4000 parzialmente o completamente inagibili, tanto da avere anche nella città capoluogo alcune centinaia di sfollati.



### 2.3.1. Comune di Mirabello

#### *Chiesa di San Paolo*

La Chiesa di San Paolo nel Comune di Mirabello ha subito danni per € 12.062.500,00. La prima costruzione dell'edificio risale al 1795, con la costruzione di un tempio in stile toscano ad una sola navata dedicata a San Paolo, portata a compimento nel 1804. Questo edificio venne completamente demolito e nel 1929 iniziò la costruzione dell'attuale chiesa di San Paolo, terminata nel 1943. Il campanile, inaugurato nel 1905, è alto 56 m e sostituisce uno più piccolo poi abbattuto. In seguito al terremoto del 20 maggio si è verificato il crollo totale della parte absidale (Figura 102) ed il collasso di parte della copertura lignea e del timpano della facciata (Figura 98, Figura 103).



*Figura 98 - Facciata della Chiesa di S. Paolo dopo il sisma del 20 maggio - Rif. Bibliog. [33]*



*Figura 99 - Facciata della Chiesa di S. Paolo dopo il sisma del 20 maggio - Rif. Bibliog. [34]*



*Figura 100 - Abside della Chiesa di S. Paolo dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [35]*



*Figura 101 - Abside della Chiesa di S. Paolo dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [35]*



Figura 102 - Chiesa di S. Paolo dopo il sisma del 20 maggio - Rif. Bibliog. [34]



Figura 103 - Abside della Chiesa di S. Paolo dopo il sisma del 20 maggio - Rif. Bibliog. [33]

### 2.3.2. Comune di Cento

Gli edifici storici presenti sul territorio di Cento sono rimasti fortemente danneggiati: il Teatro Comunale (€ 3.956.250,00), il palazzo del Governatore, il palazzo comunale (€ 3.200.000,00) la rocca (€ 770.000,00) Porta Pieve e tutte le Chiese presentano danni gravissimi.

#### *Chiesa di San Martino di Tour*



Figura 104 - Chiesa di S. Martino di Tour prima del sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [36]

Tra gli edifici di culto presenti sul territorio nella frazione di Buonacompra la Chiesa di San Martino di Tour (Figura 104) ha le caratteristiche architettoniche e strutturali in esame (pareti portanti in muratura e copertura sorretta da capriate in legno). L'edificio è documentato sin dal 1399. Nel 1863 subì un completo rifacimento, assumendo la configurazione attuale con pianta a tre navate. Prima del sisma custodiva al suo interno una tela preziosa attribuita a Bartolomeo Gennari, collaboratore del Guercino, messa in sicurezza assieme ad altre opere grazie all'intervento dei vigili del fuoco. In seguito al sisma del 2012 l'edificio è completamente compromesso: si è verificato un crollo totale della copertura (Figura 105), sia sulla

navata laterale che nella zona absidale, e delle pareti portanti della navata centrale. Le navate laterali sono anch'esse fortemente lesionate, crollate nella maggior parte. Anche la facciata (Figura 105, Figura 106) è rimasta danneggiata: si registra infatti il crollo di tutta la porzione che superava in altezza le navate laterali. E' stato inoltre necessario abbattere il campanile a causa della forte instabilità generata dalle lesioni causate dal sisma. I danni sono stati stimati per un valore di € 6.387.442, 73. I lavori di messa in sicurezza della chiesa sono iniziati il primo luglio 2013. Dopo un primo intervento di sgombero delle macerie all'esterno e di rimozione delle parti pericolanti, le operazioni preliminari di messa in sicurezza della chiesa sono proseguite con il consolidamento strutturale delle parti interne lesionate ma non completamente compromesse.



Figura 105 - Chiesa di S. Martino di Tour dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. 28



Figura 106 - Chiesa di S. Martino di Tour dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. 28

## 2.4. Provincia di Mantova

Anche la provincia di Mantova è stata duramente colpita dal sisma che si è verificato in Emilia, venendo colpito un territorio di 461 chilometri quadrati, comprendente i comuni appartenenti al "Cratere Sismico" costituito da 14 comuni dell'Oltrepò mantovano. I comuni maggiormente distrutti all'interno del cratere sismico risultano essere in particolare Moglia, San Giacomo delle Segnate, Poggio Rusco, Quistello, Gonzaga e San Giovanni del Dosso. In questi comuni si sono avuti danni ingentissimi a edifici pubblici e religiosi, che in molti casi sono stati distrutti, ma anche all'edilizia residenziale e industriale. Il patrimonio artistico e monumentale dei comuni colpiti ha subito danni ingentissimi: secondo la sovrintendenza sono 129 le chiese danneggiate e 83 quelle inagibili. I casi più gravi di chiese riguardano le Chiese di Moglia e di Quistello e le parrocchiali di Poggio Rusco, San Giovanni del Dosso, San Giacomo delle Segnate e Bondeno di Gonzaga. Il complesso Monastico di San Benedetto Po ha subito gravi danni. I centri storici di Moglia, Bondeno di Gonzaga, Quistello, Poggio Rusco e San Giacomo delle Segnate, esattamente come in Emilia, si sono trasformati in zone rosse con gravi danni alle attività commerciali. Le scosse hanno suscitato ripercussioni anche per quanto riguarda l'edilizia civile; risultano circa 3500 le abitazioni danneggiate in Provincia di Mantova di cui le 1500 inagibili sono localizzate nei 7 comuni più colpiti.

### 2.4.1. Comune di Bondeno di Gonzaga

#### *Chiesa di San Tommaso Apostolo*



Figura 107 - Chiesa di San Tommaso Apostolo - Rif. Bibliog. [37]

Nel Comune di Bondeno di Gonzaga la Chiesa di San Tommaso Apostolo ha risentito in modo importante degli effetti del sisma. La Chiesa risale al XVIII secolo ed è un esempio di arte barocca. Il campanile invece è stato realizzato successivamente, nel 1793. In seguito al terremoto del 2012 la facciata è rimasta danneggiata, si registra infatti il crollo del timpano (Figura 109). Inoltre si sono verificate lesioni nella parte superiore della muratura, in prossimità della copertura (Figura 108). I costi per il restauro ammontano a 180 000 euro.





Figura 108 - Chiesa di San Tommaso Apostolo - Rif. Bibliog. [38]



Figura 109 - Chiesa di San Tommaso Apostolo - Rif. Bibliog. [39]

## 2.4.2. Comune di Moglia



Figura 110 - Chiesa di S. Giovanni Battista - Rif. Bibliog. [41]

Il territorio comunale di Moglia ha risentito in modo grave degli effetti del sisma del 2012, in particolare della scossa del 29 maggio. Si sono registrati gravi danni al Municipio, alla scuola primaria, alla Chiesa parrocchiale e alle abitazioni civili. L'ammontare dei danni del territorio è stato valutato per una cifra di 104 milioni euro.

### **Chiesa di San Giovanni Battista**

L'attuale Chiesa di S. Giovanni Battista fu costruita su un edificio già esistente (edificato nel 1598) tramite l'ampliamento da una a tre navate del 1749. Recentemente è stato completato un intervento di manutenzione straordinaria che ha riguardato il rifacimento della copertura. Gli eventi sismici del 29 maggio hanno determinato il crollo parziale della facciata e di buona parte della volta affrescata.



Figura 111 - Chiesa di S. Giovanni Battista dopo il sisma del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [41]



Figura 112 - Chiesa di S. Giovanni Battista dopo il sisma del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [41]

### 2.4.3. Comune di Quistello

Quistello ha subito notevoli danni dai terremoti dell'Emilia del 2012, sia nel sisma del 20 maggio che in quello del 29 maggio 2012. Per quanto riguarda il patrimonio pubblico sono stati resi inagibili la maggioranza degli edifici pubblici come la chiesa parrocchiale di S. Bartolomeo Apostolo e le altre chiese di frazione, il municipio, il centro culturale, il palazzetto dello Sport, la casa del Balilla, il Museo nella frazione di Nuvolato nonché le scuole dell'infanzia, primaria e secondaria. Importanti interventi di messa in sicurezza sono stati effettuati in particolare sulla chiesa parrocchiale che ha registrato importanti crolli interni, sul municipio e sui portici del centro storico per un ammontare di 635mila euro.

#### *Chiesa di San Bartolomeo*



L'attuale Chiesa di San Bartolomeo è stata edificata nel 1735, lo stile è barocco con pianta a tre navate a croce greca. A seguito degli eventi sismici si è verificato il crollo di parte della copertura.

Figura 113 - Crollo della copertura della Chiesa di S. Bartolomeo - Rif. Bibliog. [42]

### 2.4.4. Comune di San Giacomo delle Segnate

#### *Chiesa di San Giacomo*

Il comune di S. Giacomo delle Segnate è stato colpito dagli eventi sismici del 29 maggio 2012. La Chiesa di S. Giacomo ha subito il crollo della parte superiore della facciata (Figura 114, Figura 115).



Figura 114 - Chiesa di S. Giacomo - Rif. Bibliog. [43]



Figura 115 - Chiesa di S. Giacomo - Rif. Bibliog. [43]

## 2.5. Provincia di Bologna

Il territorio colpito dal sisma comprende un'area di 930 chilometri quadrati, pari al 25% dell'intero territorio provinciale, al cui interno vivono oltre 207 mila persone. Gravissimi danni sono stati registrati in provincia di Bologna sia dopo il sisma del 20 maggio sia dopo le scosse del 29 maggio. La zona maggiormente colpita risulta essere la zona nord della provincia al confine con le provincie di Modena e Ferrara; i comuni più danneggiati sono Crevalcore e Pieve di Cento. I danni maggiori si sono avuti agli edifici pubblici e residenziali, minori al comparto agricolo e industriale: a Crevalcore il centro storico è stato dichiarato zona rossa a seguito di numerosi crolli e sono stati danneggiati anche il Castello di Galeazza e il Castello Ronchi oltre a tutte le chiese

delle frazioni e a Pieve di Cento è crollato il tetto della Pieve. Centinaia le abitazioni dichiarate inagibili e migliaia gli sfollati in tutta la provincia.

### 2.5.1. Comune di Crevalcore



Crevalcore è stato colpito dai terremoti dell'Emilia del 2012 che hanno provocato crolli nel Castello dei Ronchi e in alcuni edifici del centro storico. La **Chiesa di S. Silvestro** (Figura 116) ha subito danni alla struttura ma la copertura e la facciata rimangono intatte.

Figura 116 - Chiesa di S. Silvestro - Rif. Bibliog. [44]

### 2.5.2. Comune di Pieve di Cento

#### **Chiesa di Santa Maria Maggiore**

Nel comune di Pieve di Cento l'edificio ad avere subito i maggiori danni dall'evento sismico del maggio 2012 è la Chiesa di Santa Maria Maggiore, costruita nel 1710 su un tempio esistente, più volte modificato tra il 1300 e la metà del 1600. Il terremoto ha determinato il crollo della cupola centrale e della relativa copertura e ha inoltre provocato lesioni sulle pareti laterali della Chiesa in corrispondenza dell'intersezione con la porzione più alta della facciata. Anche il campanile è rimasto danneggiato dalla frattura della porzione sommitale della guglia del campanile. Si allega il breve verbale messo a disposizione sul sito web del comune (Allegato 07).



Figura 117 - Chiesa di S. Maria Maggiore prima del sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [45]



Figura 118 - Chiesa di S. Maria Maggiore prima del sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [14]





*Figura 119 - Interno della Chiesa di S. Maria Maggiore dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [14]*



*Figura 120 - facciata della Chiesa di S. Maria Maggiore dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [14]*



### 3. Meccanismo di collasso di risposta trasversale della navata

#### 3.1. Meccanismi di collasso e comportamento delle chiese in muratura

L'osservazione critica e sistematica dei meccanismi di dissesto, che definiscono gli scenari tipici dell'edilizia storica in zona sismica, rappresenta un elemento fondamentale per l'analisi strutturale degli edifici in muratura di tipo tradizionale. Gli scenari di danno sono infatti caratterizzati dall'aspetto ripetitivo di molti meccanismi, che si manifestano, con lievi varianti poco significative dovute alla specifica configurazione geometrica ed alla qualità dei materiali, ma sono sostanzialmente identici nella loro formazione ed evoluzione.

Un'altra caratteristica propria delle murature tradizionali, che emerge dall'osservazione dei quadri di dissesto, riguarda il carattere locale dei principali meccanismi di danno: alcune parti della struttura possono rovinarsi, mentre altre restano del tutto escluse dallo stato di danno. Questo tipo di risposta alle sollecitazioni sismiche è molto diverso da quello degli edifici a telaio, dove un'azione qualsiasi, applicata ad un punto generico, coinvolge comunque l'intera struttura. Questo comportamento locale è distintivo della muratura e fornisce informazioni importanti: suggerisce l'idea di una possibile scomposizione dell'organismo edilizio in porzioni elementari, tale da semplificare l'analisi delle singole parti e quindi dell'edificio nel suo complesso [49].

A tal fine è utile procedere allo studio di strutture semplici per esaminarne la reazione ai carichi statici verticali ed alle azioni sismiche orizzontali. In particolare la comprensione dei fenomeni che condizionano la risposta delle pareti isolate permette di prendere in esame strutture più articolate, sino ad arrivare allo studio della cella muraria vera e propria, che costituisce l'embrione di qualsiasi manufatto edilizio.

Questa progressiva articolazione del modello di riferimento favorisce la comprensione del comportamento strutturale di organismi semplici e complessi, permettendo di analizzare le cause dei dissesti e facilitando la messa a punto di appropriati modelli di analisi. Il criterio adottato risulta in linea con le indicazioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - I sezione che afferma, in merito alle norme tecniche da applicare alle opere in muratura che non è quasi mai realistico studiare l'intero edificio come un'unica scatola pluriconnessa.

L'analisi sismica globale prevista dalle norme va dunque intesa in questo caso 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 è possibile attraverso la suddivisione delle compagini murarie in porzioni elementari coinvolte nei singoli meccanismi resistenti.

Fra i modelli che rispondono maggiormente a questa impostazione, il più adatto è il metodo dei cinematicismi di collasso, il quale ipotizza la formazione di catene cinematiche caratterizzate dal distacco di solidi murari assimilabili a corpi rigidi e dalla formazione di cerniere plastiche nei punti di contatto. L'applicazione di questo metodo presuppone una capacità dei muri di poter arrivare al collasso senza disgregarsi (capacità che deve essere sempre verificata dal progettista). Meccanismi di questo tipo consentono una modellazione matematica accurata ed una previsione attendibile della loro evoluzione.

L'ipotesi di corpo rigido non è sempre valida, ma è compatibile con il comportamento della muratura, che in generale non può essere assimilata ad un materiale elastico, omogeneo ed isotropo. Tuttavia la muratura, entro limiti ristretti, risponde alle leggi del comportamento elastico, ma la debole resistenza a trazione e la repentina formazione di lesioni ne modificano la risposta, spingendo la struttura verso l'innescamento di catene cinematiche. In corrispondenza delle cerniere, dove si trasferiscono i flussi di compressione da un solido all'altro, si possono verificare fenomeni di plasticizzazione con schiacciamento della muratura, in grado di anticipare il collasso per rotazione rigida della parete. Le caratteristiche meccaniche del materiale influiscono quindi sulla risposta sismica.

La normativa italiana permette di ricondurre l'azione sismica a forze statiche equivalenti dirette orizzontalmente, il cui valore è proporzionale al peso della costruzione attraverso un coefficiente sismico che dipende dalla accelerazione massima al suolo e dall'amplificazione dinamica. Nel caso degli edifici, la distribuzione di queste forze varia con l'altezza, crescendo dal basso verso l'alto, in virtù della prevalente risposta del primo modo di vibrare.

Preso in considerazione uno dei meccanismi di collasso proposti dalle vigenti normative per gli edifici di tipo Chiesa (DCPM del 23 febbraio 2006 n. 55 e DCPM del 9 febbraio 2011) è quindi possibile studiare la risposta sismica attraverso l'approccio cinematico dell'analisi limite, identificando il moltiplicatore orizzontale dei carichi, che attiva la condizione limite di perdita dell'equilibrio.

Il metodo dei meccanismi di collasso presuppone la trasformazione dell'elemento murario in cinematismo. Tale moltiplicatore si ottiene applicando le equazioni di equilibrio od il principio dei lavori virtuali considerando le forze agenti (pesi verticali, azione sismica orizzontale pari al prodotto dei pesi per il moltiplicatore incognito, altre forze interne, quali quelle delle catene presenti nell'edificio) e lo stato di spostamenti virtuali associato all'atto di moto. La validità del metodo è legata alla scelta del meccanismo di collasso nei riguardi del quale la fabbrica è più vulnerabile: i teoremi dell'analisi limite dicono infatti che il corretto meccanismo di collasso è quello per cui il moltiplicatore è minimo. In linea di principio i possibili meccanismi di collasso sono infiniti, in quanto ciascuna struttura può essere trasformata in un cinematismo inserendo piani di frattura o cerniere; in realtà la conoscenza delle tecniche costruttive e l'osservazione dei danni sui manufatti consente di restringere l'analisi a pochi casi significativi. Le caratteristiche tecnologiche delle murature (tessitura dei paramenti, dimensione degli elementi lapidei, tipologia dei cantonali) determinano percorsi preferenziali delle lesioni: ciò permette di eseguire l'analisi su un numero limitato di meccanismi, effettivamente possibili in considerazione della tecnologia costruttiva e riconosciuti in seguito ad un sisma, sul manufatto in oggetto o su altre chiese simili.

Il comportamento delle chiese in muratura a seguito di un terremoto, può essere rappresentato attraverso una serie di meccanismi predefiniti che si manifestano correntemente seppure si tratti di manufatti realizzati in epoche, con tecnologie, dimensioni e forme differenti. Le modalità di comportamento sono state approvate dal DCPM del 23 febbraio 2006 n. 55 e successivamente nel DCPM del 9 febbraio 2011, e predispongono una apposita scheda (denominata "Modello A – DC) per il rilievo dei danni riportati al seguito di un terremoto da parte delle chiese. I meccanismi finora riscontrati sono 28 e si possono suddividere in:

- 4 meccanismi relativi alla facciata
- 5 meccanismi relativi all'aula
- 3 meccanismi relativi al transetto
- 1 meccanismo relativo all'arco trionfale
- 2 meccanismi relativi alla cupola
- 3 meccanismi relativi all'abside
- 3 meccanismi relativi alla copertura
- 4 meccanismi relativi alle cappelle ed ai corpi annessi
- 3 meccanismi relativi agli aggetti ed al campanile.

I 28 meccanismi di danno presenti nella scheda, caratteristici per le chiese, permettono di descrivere i danni subiti dall'intero complesso, attraverso la suddivisione dell'edificio in macroelementi. L'analisi per macroelementi permette infatti di indirizzare meglio la modellazione del comportamento sismico delle chiese. Un macroelemento può essere definito come una parte costruttivamente riconoscibile e compiuta del manufatto, che può coincidere (ma non necessariamente) con una parte identificabile sotto l'aspetto architettonico e funzionale. Si intende quindi la parte edilizia nell'ambito della quale è osservabile e compiutamente descrivibile un comportamento unitario e riconoscibile dei meccanismi di insieme a seguito

delle azioni sismiche (Presidenza del Consiglio dei Ministri dipartimento della protezione Civile, *Manuale per la compilazione della scheda A – DC*, a cura di S. Papa, G. Di Pasquale, 2013). Normalmente è possibile distinguere come macroelementi:

- Facciata: è costituito dal pannello murario di facciata ed ha come zone di sovrapposizione una parte delle pareti laterali, in caso di chiese ad aula unica, ed anche parte delle pareti della navata centrale in caso di chiese a tre navate.
- Aula: è la parte compresa tra la facciata e l'arco trionfale; può essere a una o più navate, e racchiusa dalle pareti laterali. Le fasce di sovrapposizione sui lati sono da individuarsi in metà facciata da un lato e metà arco trionfale dall'altro. Anche le coperture e, se presenti le volte, interagendo con le pareti laterali, vengono comprese in queste zone di sovrapposizione.
- Transetto: è costituito da una o più navate che intersecano trasversalmente la chiesa.
- Arco trionfale: è costituito dal pannello murario opposto alla facciata. Le fasce di sovrapposizione per questo pannello sono sia le pareti laterali che il presbiterio e sono fissate in parti di larghezza uguale a metà dell'altezza
- Cupola: è una struttura di copertura di vani a pianta quadrata, circolare o poligonale. Può essere a calotta o strutturata come un volta. Alla sommità è possibile trovare la lanterna, piccola costruzione simile ad un'edicola.
- Abside: è costituito da una nicchia a pianta semicircolare, rettangolare o poligonale, coperta da una calotta posta nella parte terminale della chiesa.
- Copertura: il macroelemento è generalmente costituito da un'orditura principale a capriate lignee, su cui si innesta una orditura secondaria anch'essa lignea con sovrastante listellatura e manto in coppi
- Cappelle: piccole strutture in muratura poste in adiacenza alla chiesa.
- Campanile: può essere in genere o del tipo a vela, costruito in continuità con la facciata, oppure essere costituito da torri campanarie, collocate in posizioni diverse rispetto alla chiesa (isolate, accostate o accorpate).
- Protiro e narcece: il protiro è un piccolo portico posto a protezione e copertura dell'ingresso principale di una chiesa, mentre il narcece collega le navate con l'esterno della chiesa, ed ha la funzione di un corto atrio, largo quanto la chiesa stessa.

MECCANISMO DI DANNI	PARTE DELLA CHIESA
M1. Ribaltamento della facciata	FACCIATA
M2. Meccanismi nella sommità della facciata	
M3. Meccanismi nel piano della facciata	
M4. Protiro e Nartece	
M5. Risposta trasversale dell'aula	AULA
M6. Meccanismi di taglio delle pareti laterali	
M7. Risposta longitudinale del colonnato	
M8. Volte dell'aula e della navata centrale	
M9. Volte delle navate laterali	
M10. Ribaltamento delle pareti del transetto	TRANSETTO
M11. Meccanismi di taglio del transetto	
M12. Volte del transetto	ARCO TRIONFALE
M13. Archi trionfali	
M14. Cupola e tamburo/tiburio	
M15. Lanterna	CUPOLA
M16. Ribaltamento dell'abside	ABSIDE
M17. Meccanismi di taglio nell'abside	
M18. Volte del presbiterio o dell'abside	
M19. Meccanismi negli elementi di copertura - pareti laterali dell'aula	COPERTURA
M20. Meccanismi negli elementi di copertura - transetto	
M21. Meccanismi negli elementi di copertura - abside	
M22. Ribaltamento delle cappelle	CAPPELLE E CORPI ANNESSI
M23. Meccanismi di taglio nelle pareti delle cappelle	
M24. Volte delle cappelle	
M25. Interazioni in prossimità di irregolarità plano-altimetriche (corpi adiacenti, archi rampanti)	
M26. Aggetti (Vela, guglie, pinnacoli, statue)	
M27. Torre campanaria	AGGETTI CAMPANILE
M28. Cella campanaria	

Tabella 1 - Meccanismi di collasso delle chiese in muratura

La scheda (modello A-DC), utilizzata per il rilievo del danno sismico alle chiese, è composta da due parti distinte: la prima sezione contiene i dati generali del bene; la seconda contiene informazioni riferite ai meccanismi di collasso dei macroelementi.

Il rilievo dei danni, riferito ai meccanismi, deve essere eseguito indicando sia la possibilità di attivazione del meccanismo di collasso sia l'entità del danno in accordo con la scala macrosismica europea EMS-98, graduando il giudizio su 5 differenti livelli:

- 0 – danno nullo
- 1 – danno lieve
- 2 – danno medio
- 3 – danno grave
- 4 – danno molto grave
- 5 – crollo

In generale, nonostante il significato possa cambiare in relazione ai diversi meccanismi di collasso, per un danneggiamento medio o grave (livello 2-3) si intendono le lesioni che indicano chiaramente l'attivazione del meccanismo, attraverso la sconnessione del fabbricato in varie parti; il caso di danno molto grave (livello 4) si



riferisce, invece, sia alle situazioni di crollo locale del macroelemento, sia ai casi di in cui il meccanismo ha prodotto evidenti deformazioni permanenti (fuori piombo, perdita di forma di archi o volte) e la funzionalità strutturale può considerarsi compromessa anche in relazione ai soli carichi verticali. In area non epicentrale ha assunto, tuttavia, importanza anche il rilievo del danno lieve, caratterizzato da lesioni che non compromettono la funzionalità strutturale del manufatto, ma che evidenziano la predisposizione di attivazione del meccanismo.

Nella seconda sezione della scheda A-DC, in relazione alle problematiche inerenti la messa in sicurezza dell'edificio (sezione A 25), il rilevatore deve anche indicare quali provvedimenti di pronto intervento devono essere eseguiti, siano essi di natura strutturale o per la conservazione e tutela di opere mobili di valore artistico. Inoltre è molto importante effettuare una stima sommaria dei danni dovuti al sisma (sezione A-27 Descrizione e stima sommaria delle opere), poiché per il Dipartimento della Protezione Civile risulta prioritaria l'esigenza di conoscere fin dalle prime ore dopo un terremoto una stima economica dei danni. In particolare nella scheda devono essere inserite le opere di riparazione strutturale con relativa valutazione economica (intendendo per costo di riparazione il fabbisogno economico necessario per riportare il bene nello stato antecedente all'evento sismico indipendentemente dallo stato di conservazione del corpo di fabbrica) e una descrizione delle opere di finitura e di miglioramento sismico, con relativa valutazione di miglioramento (per costo di miglioramento sismico si deve considerare la stima delle opere necessarie per migliorare il comportamento meccanico della struttura durante una scossa sismica) e degli eventuali provvedimenti di pronto intervento.

Si riporta di seguito il modello A-DC per il rilievo dei danni in chiese in muratura, provocati in seguito ad un evento sismico.



Presidenza del Consiglio dei Ministri  
DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE



Ministero  
per i Beni e le Attività Culturali

GRUPPO DI LAVORO PER LA SALVAGUARDIA E LA PREVENZIONE DEI BENI CULTURALI DAI RISCHI NATURALI



## Manuale a supporto della compilazione modello A – DC

### SCHEDA PER IL RILIEVO DEL DANNO – CHIESE

La scheda è indirizzata al rilievo del danno delle chiese.

Le informazioni sono generalmente inserite annerendo le caselle corrispondenti: le caselle quadrate (□) indicano la possibilità di multiscelta (in questi casi si possono fornire più indicazioni), quelle tonde (○) indicano invece la possibilità di una scelta singola. Infine le caselle contrassegnate da  indicano i campi in cui è necessario scrivere. I campi con fondo grigio sono compilati in ufficio.

La scheda si divide in due sezioni ciascuna ripartita in campi di cui viene data di seguito descrizione.

#### Prima sezione

La prima sezione si divide in 13 campi (da A<sub>1</sub> a A<sub>13</sub>):

A<sub>1</sub>: in tale campo deve essere inserito la data del sopralluogo e un numero progressivo in relazione alla squadra ed alla data del sopralluogo. Il numero identificativo di tale strumento schedografico sarà, invece, assegnato a cura dell'Ufficio una volta che il sopralluogo sarà terminato.

A<sub>2</sub> – RIFERIMENTO VERTICALE: in tale campo è necessario indicare se la chiesa, oggetto del rilievo, sia un bene individuo o parte di un bene complesso. In tal caso è richiesta la denominazione del bene complesso all'interno del quale la chiesa è inserita, il numero totale di schede di rilievo rilevate per i beni componenti e il codice identificativo del bene complesso. Con possibilità multiscelta è richiesto di segnalare la tipologia dei beni componenti e con possibilità di singola scelta la conformazione in pianta del bene complesso.

A<sub>3</sub> – LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA AMMINISTRATIVA: in tale campo è richiesto di localizzare il bene rispetto a Regione, Provincia, Comune e Località e di fornirne indirizzo e numero civico. E' inoltre richiesto di inserire i numeri di riferimento dell'aggregato e dell'edificio oggetto del rilievo presenti in una eventuale cartografia urbana. Saranno poi riportati a cura dell'Ufficio, a sopralluogo terminato, i codici Istat associati rispettivamente a Regione, Provincia, Comune, nonché il codice Istat identificativo della sezione censuaria all'interno della quale la chiesa è collocata e i relativi dati catastali.

A<sub>4</sub> – COORDINATE UTM: in tale campo devono essere inserite le coordinate della chiesa rispetto al sistema geografico di riferimento UTM. Se tali coordinate sono state desunte da mappa IGM, si chiede di indicare il quadrante di riferimento; nel caso invece le coordinate risultino da lettura GPS è necessario segnalarlo.

A<sub>5</sub> – OGGETTO: in tale campo devono essere indicate sia la denominazione attuale che la denominazione storica della chiesa, la datazione corrispondente segnalando l'anno, il secolo o semplicemente l'epoca di costruzione (a seconda delle informazioni disponibili); nel caso di trasformazioni successive indicare la data relativa all'ultima. Sono richieste le generalità e un recapito telefonico del proprietario della chiesa e di un eventuale utilizzatore.

A<sub>6</sub> – DESTINAZIONE D'USO ATTUALE: con possibilità multiscelta è richiesto di segnalare le destinazioni d'uso a cui la chiesa è adibita. Per ciascuna è necessario indicarne l'utilizzazione temporale (uso continuo, saltuario o non utilizzato) E' possibile inoltre segnalare l'eventuale affollamento della chiesa, che dovrà essere definito tenendo conto delle sue dimensioni, del numero e delle dimensioni delle vie d'uscita.

A<sub>7</sub> – CARATTERISTICHE DEL SITO: in tale campo, con possibilità di singola scelta, è necessario indicare la conformazione morfologica prevalente del sito ove la chiesa è stata edificata.

A<sub>8</sub> – CONTESTO URBANO E POSIZIONE: in tale campo, con possibilità di singola scelta, è necessario indicare il contesto urbano prevalente all'interno del quale la chiesa si trova inserita; deve essere inoltre rilevata la posizione della chiesa in relazione agli eventuali edifici limitrofi.

A<sub>9</sub> – INFRASTRUTTURE: è necessario indicare con quali mezzi sia possibile l'accesso al sito ove la chiesa è ubicata, nonché le infrastrutture e gli spazi adiacenti ad essa ai fini di eventuali operazioni di evacuazione e/o soccorso.

A<sub>10</sub> – PRESENZA DI RISCHIO: con possibilità multiscelta è necessario segnalare la presenza di altre forme di rischio naturale o antropico da cui la chiesa potrebbe potenzialmente essere minacciata. E' richiesto di indicare se tale informazione sia stata direttamente rilevata o acquisita da altri.

A<sub>11</sub> – TIPOLOGIA DEI BENI ARTISTICI PRESENTI: in tale campo, con possibilità multiscelta, è necessario indicare la tipologia dei beni artistici presenti all'interno della chiesa. Per ciascuna tipologia individuata è richiesto di indicarne il numero e la superficie totale (espressa in metri quadrati).

A<sub>12</sub> – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA ALLEGATA: è richiesto di indicare se durante il sopralluogo sia stata realizzata la documentazione fotografica e il nome dell'operatore. Fotografare sempre, anche se non danneggiata, la facciata o altra porzione della fabbrica che possa far individuare la chiesa. Eventuali immagini video realizzate possono essere riportate nel campo B<sub>31</sub>.

A<sub>13</sub> – COMPILATORE SCHEDA (PRIMA SEZIONE): devono essere inseriti il nominativo, i recapiti telefonici, l'indirizzo e-mail e l'ente di appartenenza del tecnico che ha compilato la prima sezione della scheda.

### Seconda sezione

La seconda sezione si divide in 14 campi (da A<sub>14</sub> a A<sub>27</sub>):

A<sub>14</sub> – RIFERIMENTO SCHEDA DELLA VULNERABILITA' DELLE CHIESE: in tale campo devono essere inseriti rispettivamente la data del sopralluogo, il nome del rilevatore e un numero progressivo in relazione alla scheda di vulnerabilità associata alla chiesa oggetto del rilievo.

A<sub>15</sub> – STATO DI MANUTENZIONE GENERALE: si deve esprimere un giudizio complessivo dello stato di conservazione del manufatto graduando il giudizio su quattro livelli. Inoltre, è prevista la possibilità di marcare se sono attualmente in corso dei lavori. E' inoltre prevista la possibilità di marcare l'eventuale presenza di precedenti lesioni, indicandone anche la gravità (limitate, estese, gravi).

A<sub>16</sub> – DANNO SISMICO: DANNO E VULNERABILITA' SISMICA (RILIEVO PER MECCANISMI NEI DIVERSI MACROELEMENTI): in tale parte sono stati definiti 28 meccanismi di danno che rappresentano le modalità di collasso più ricorrenti (vedi ABACO DEI MECCANISMI DI COLLASSO DELLE CHIESE). Per ogni meccanismo si deve marcare l'individuazione del macroelemento in relazione al meccanismo di collasso considerato, valutato in funzione della presenza degli elementi architettonici rilevati ed alla possibilità di attivazione del meccanismo. Il danno rilevato dovrà essere graduato su cinque livelli (□□□□□: assenza di danno; ■□□□□ danno lieve; ■■□□□ danno medio; ■■■□□ danno grave; ■■■■□ danno molto grave; ■■■■■ crollo).

A<sub>17</sub> – INDICE DI DANNO: in tale campo sarà inserito, a cura dell'Ufficio, il valore dell'indice di danno.

A<sub>18</sub> – AGIBILITA': campo relativo al giudizio dell'agibilità della chiesa. Sono previste 6 diverse possibilità: agibile; inagibile; parzialmente agibile; agibile con provvedimenti; temporaneamente inagibile; inagibile per cause esterne.

A<sub>19</sub> – TIPO DI VISITA: permette di esprimere una valutazione dell'accuratezza del sopralluogo, evidenziando se è stato completo o se si sono riscontrati dei motivi ostativi che hanno impedito una visita accurata del manufatto.

A<sub>20</sub> – PROVVEDIMENTI DI P.I. SUGGERITI: al compilatore è data la possibilità di scegliere (modalità multiscelta) tra una serie di tipologie di provvedimenti di messa in sicurezza. E' inoltre richiesto di valutare l'onere dei provvedimenti definendo se sono di natura limitata o estesa.

A<sub>21</sub> – DANNI ALL'APPARATO DECORATIVO E ALLE OPERE D'ARTE: tale campo permette una descrizione sintetica dell'apparato decorativo o opera d'arte in esame, nonché la descrizione del danno e gli eventuali provvedimenti provvisori suggeriti. E' possibile marcare la necessità di un intervento da parte di uno storico dell'arte. Infine è possibile inserire una preliminare valutazione della stima economica per la salvaguardia delle opere d'arte presenti.

A<sub>22</sub> – DESCRIZIONE E STIMA SOMMARIA DELLE OPERE: tale campo permette di inserire una preliminare valutazione della stima economica delle opere necessarie per il ripristino strutturale e il miglioramento sismico della chiesa, nonché relativa al costo delle opere di finitura e di quelle di pronto intervento. Le diverse voci previste (A<sub>22.1</sub> - A<sub>22.2</sub> - A<sub>22.3</sub>) presentano un campo libero nel quale inserire una sommaria descrizione dell'intervento e un campo in cui si può (in base all'esperienza del rilevatore) definire una valutazione economica. Tale stima, basata appunto su un giudizio esperto dei rilevatori, ha il solo scopo di fornire una primissima stima di larga massima al solo fine di quantificare una prima esigenza di fondi da inserire nel primo atto normativo a seguito dell'emergenza.

A<sub>23</sub> – NOTE: campo libero per eventuali note aggiuntive (ad esempio in relazione ad altri danni non rilevabili nella scheda).

A<sub>24</sub> – DATI DIMENSIONALI: permette di rilevare le dimensioni principali dei macroelementi che costituiscono la chiesa; tali dati possono essere rilevati direttamente (distanziometro laser o rotella metrica) o stimati, nel caso il livello di danneggiamento impedisca un rilievo diretto.

A<sub>25</sub> – ELABORATI GRAFICI: campo a disposizione del compilatore per illustrare tramite piante, sezioni, prospetti, etc. il manufatto oggetto del rilievo.

A<sub>26</sub> – DOCUMENTAZIONE ALLEGATA: indicare se reperita e il tipo di documentazione (disegni, foto, ecc.).

A<sub>27</sub> – SQUADRA CHE HA ESEGUITO IL RILIEVO: devono essere inseriti i nominativi, le qualifiche e l'ente di appartenenza di tutti i tecnici che hanno partecipato al sopralluogo. Inoltre, sono previsti gli spazi per le firme dei diversi tecnici.







**A<sub>6</sub> – DESTINAZIONE D'USO ATTUALE**

Uso	Utilizzazione temporale			Affollamento
	Continuo	Saltuario	Non utilizzato	
Cattedrale / Duomo <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Chiesa parrocchiale <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Oratorio <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Santuario <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Museo <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Auditorium <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Servizi <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Altro <input type="checkbox"/> _____	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>

**A<sub>7</sub> – CARATTERISTICHE DEL SITO**

In piano  Su rilievo / su cresta / su vetta  Su riporto  In pendio / su versante  Avvallamento

**A<sub>8</sub> – CONTESTO URBANO E POSIZIONE**

Centro urbano  Periferia urbana  Area industriale - commerciale  Area agricola  Centro storico

Isolata  Connessa con altri edifici  su \_\_\_\_\_ lati Altro  \_\_\_\_\_

**A<sub>9</sub> – INFRASTRUTTURE**

Accesso pedonale <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Rete viaria idonea in relazione al rischio	<input type="checkbox"/>
Accesso carrabile <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Parcheggio nelle vicinanze	<input type="checkbox"/>
Accesso con altezza inferiore a 4 metri <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Spazi aperti a disposizione	<input type="checkbox"/>
Accesso con mezzi pesanti <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Altro <input type="checkbox"/> _____	

**A<sub>10</sub> – PRESENZA DI RISCHIO**

		RILEVAZIONE DIRETTA	INFORMAZIONI ACQUISITE
Insedimento minacciato da frana <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Insedimento in zona alluvionabile <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Insedimento soggetto a minacce di tipo industriale <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Insedimento soggetto ad altre minacce naturali <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**A<sub>11</sub> – TIPOLOGIA DEI BENI ARTISTICI PRESENTI**


TIPOLOGIA	Num.	superficie	TIPOLOGIA	Num.	superficie
Affreschi <input type="checkbox"/>	__	__	Dipinti mobili su vario supporto <input type="checkbox"/>	__	__
Mosaici <input type="checkbox"/>	__	__	Arredi (soffitti, amboni, pulpito, stalli corali) <input type="checkbox"/>	__	__
Stucchi <input type="checkbox"/>	__	__	Decorazioni plastiche mobili <input type="checkbox"/>	__	__
Arazzi <input type="checkbox"/>	__	__	Manufatti in carta e pergamena <input type="checkbox"/>	__	__
Altari / statue <input type="checkbox"/>	__	__	Reperti archeologici <input type="checkbox"/>	__	__
Libri / Stampe <input type="checkbox"/>	__	__	Altri _____ <input type="checkbox"/>	__	__

**A<sub>12</sub> – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA** - Realizzata da \_\_\_\_\_ SI  NO

**A<sub>13</sub> – COMPILATORE SCHEDA**

Cognome \_\_\_\_\_ Nome \_\_\_\_\_

Ente/ufficio di appartenenza \_\_\_\_\_

 \_\_\_\_\_ E-Mail: \_\_\_\_\_

**A<sub>14</sub> - RIFERIMENTO SCHEDA DELLA VULNERABILITA' DELLE CHIESE**

N° Scheda	_____	Data	____/____/____	Ente	_____
-----------	-------	------	----------------	------	-------

**A<sub>15</sub> - STATO DI MANUTENZIONE GENERALE**

Buono	<input type="radio"/>	Discreto	<input type="radio"/>	Scadente	<input type="radio"/>	Pessimo	<input type="radio"/>	In corso lavori	<input type="checkbox"/>		
Eventuali precedenti lesioni esistenti		NO	<input type="radio"/>	SI	<input type="radio"/>	Limitate	<input type="radio"/>	Estese	<input type="radio"/>	Gravi	<input type="radio"/>

**A<sub>16</sub> - DANNO SISMICO (Abaco dei meccanismi di collasso delle chiese)**

**LIVELLO DI DANNO**

0 - □□□□□ assenza di danno    1 - ■□□□□ danno lieve    2 - ■■□□□ danno moderato  
 3 - ■■■□□□ danno grave    4 - ■■■■□□ danno molto grave    5 - ■■■■■□□ crollo

**IDENTIFICAZIONE DEL DANNO**

danno sismico  
 danno progressivo  
 aggravamento

1	<b>RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA</b>	<input type="checkbox"/>
danno	DISTACCO DELLA FACCIATA DALLE PARETI O EVIDENTI FUORI PIOMBO	□□□□□
2	<b>MECCANISMI NELLA SOMMITÀ DELLA FACCIATA</b>	<input type="checkbox"/>
danno	RIBALTAMENTO DEL TIMPANO, CON LESIONE ORIZZONTALE O A V – DISGREGAZIONE DELLA MURATURA O SCORRIMENTO DEL CORDOLO – ROTAZIONE DELLE CAPRIATE	□□□□□
3	<b>MECCANISMI NEL PIANO DELLA FACCIATA</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI INCLINATE (TAGLIO) – LESIONI VERTICALI O ARCUATE (ROTAZIONE) – ALTRE FESSURAZIONI O SPANCIAMENTI	□□□□□
4	<b>PROTIRO – NARTECE</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NEGLI ARCHI O NELLA TRABEAZIONE PER ROTAZIONE DELLE COLONNE – DISTACCO DALLA FACCIATA – MARTELLAMENTO	□□□□□
5	<b>RISPOSTA TRASVERSALE DELL'AULA</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NEGLI ARCONI (CON EVENTUALE PROSECUZIONE NELLA VOLTA) – ROTAZIONI DELLE PARETI LATERALI – LESIONI A TAGLIO NELLE VOLTE – FUORI PIOMBO E SCHIACCIAMENTO NELLE COLONNE	□□□□□
6	<b>MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI LATERALI (RISPOSTA LONGITUDINALE)</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI INCLINATE (SINGOLE O INCROCIATE) – LESIONI IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITÀ NELLA MURATURA	□□□□□
7	<b>RISPOSTA LONGITUDINALE DEL COLONNATO NELLE CHIESE A PIÙ NAVATE</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NEGLI ARCHI O NEGLI ARCHITRAVI LONGITUDINALI – SCHIACCIAMENTO E/O LESIONI ALLA BASE DEI PILASTRI – LESIONI A TAGLIO NELLE VOLTE DELLE NAVATE LATERALI	□□□□□
8	<b>VOLTE DELLA NAVATA CENTRALE</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLE VOLTE DELL'AULA CENTRALE – SCONNESSIONI DELLE VOLTE DAGLI ARCONI	□□□□□
9	<b>VOLTE DELLE NAVATE LATERALI</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONI DAGLI ARCONI O DALLE PARETI LATERALI	□□□□□
10	<b>RIBALTAMENTO DELLE PARETI DI ESTREMITÀ DEL TRANSETTO</b>	<input type="checkbox"/>
danno	DISTACCO DELLA PARETE FRONTALE DALLE PARETI LATERALI – RIBALTAMENTO O DISGREGAZIONI DEL TIMPANO IN SOMMITÀ	□□□□□
11	<b>MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI LATERALI DEL TRANSETTO</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI INCLINATE (SINGOLE O INCROCIATE) – LESIONI ATTRAVERSO DISCONTINUITÀ	□□□□□
12	<b>VOLTE DEL TRANSETTO</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONI DAGLI ARCONI E DALLE PARETI LATERALI	□□□□□
13	<b>ARCHI TRIONFALI</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELL'ARCO – SCORRIMENTO DI CONCI – SCHIACCIAMENTO O LESIONI ORIZZONTALI ALLA BASE DEI PIEDRITTI	□□□□□

14	<b>CUPOLA – TAMBURO/TIBURIO</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLA CUPOLA (AD ARCO) CON EVENTUALE PROSECUZIONE NEL TAMBURO	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
15	<b>LANTERNA</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NEL CUPOLINO DELLA LANTERNA – ROTAZIONI O SCORRIMENTI DEI PIEDRITTI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
16	<b>RIBALTAMENTO DELL’ABSIDE</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI VERTICALI O ARCUATE NELLE PARETI DELL’ABSIDE – LESIONI VERTICALI NEGLI ABSIDI POLIGONALI – LESIONE AD U NEGLI ABSIDI SEMICIRCOLARI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
17	<b>MECCANISMI DI TAGLIO NEL PRESBITERIO O NELL’ABSIDE</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI INCLINATE (SINGOLE O INCROCIATE) – LESIONI IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITÀ MURARIE	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
18	<b>VOLTE DEL PRESBITERIO O DELL’ABSIDE</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONI DAGLI ARCONI O DALLE PARETI LATERALI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
19	<b>MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA – PARETI LATERALI DELL’AULA</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI VICINE ALLE TESTE DELLE TRAVI LIGNEE, SCORRIMENTO DELLE STESSE – SCONNESSIONI TRA CORDOLI E MURATURA – MOVIMENTI SIGNIFICATIVI DEL MANTO DI COPERTURA	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
20	<b>MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA – TRANSETTO</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI VICINE ALLE TESTE DELLE TRAVI LIGNEE, SCORRIMENTO DELLE STESSE – SCONNESSIONI TRA I CORDOLI E MURATURA – MOVIMENTI SIGNIFICATIVI DEL MANTO DI COPERTURA	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
21	<b>MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA – ABSIDE E PRESBITERIO</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI VICINE ALLE TESTE DELLE TRAVI LIGNEE, SCORRIMENTO DELLE STESSE – SCONNESSIONI TRA I CORDOLI E MURATURA – MOVIMENTI SIGNIFICATIVI DEL MANTO DI COPERTURA	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
22	<b>RIBALTAMENTO DELLE CAPPELLE</b>	<input type="checkbox"/>
danno	DISTACCO DELLA PARETE FRONTALE DALLE PARETI LATERALI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
23	<b>MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI DELLE CAPPELLE</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI INCLINATE (SINGOLE O INCROCIATE) – LESIONI IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITÀ MURARIE	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
24	<b>VOLTE DELLE CAPPELLE</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONI DALLE PARETI LATERALI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
25	<b>INTERAZIONI IN PROSSIMITÀ DI IRREGOLARITÀ PLANO-ALTIMETRICHE (CORPI ADIACENTI, ARCHI RAMPANTI)</b>	<input type="checkbox"/>
danno	MOVIMENTO IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITÀ COSTRUTTIVE - LESIONI NELLA MURATURA PER MARTELLAMENTO	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
26	<b>AGGETTI (VELA, GUGLIE, PINNACOLI, STATUE)</b>	<input type="checkbox"/>
danno	EVIDENZA DI ROTAZIONI PERMANENTI O SCORRIMENTO – LESIONI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
27	<b>TORRE CAMPANARIA</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI VICINO ALLO STACCO DAL CORPO DELLA CHIESA – LESIONI A TAGLIO O SCORRIMENTO – LESIONI VERTICALI O ARCUATE (ESPULSIONE DI UNO O PIÙ ANGOLI)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
28	<b>CELLA CAMPANARIA</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NEGLI ARCHI – ROTAZIONI O SCORRIMENTI DEI PIEDRITTI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

#### A<sub>17</sub> - INDICE DI DANNO

n =  (numero dei meccanismi possibili)    d =  (punteggio totale di danno)     $i_d = d / 5n =$

**A<sub>18</sub> - AGIBILITA'**

Agibile  Inagibile

Parzialmente Agibile <input type="radio"/>	Agibile con Provvedimenti <input type="radio"/>	Temporaneamente Inagibile <input type="radio"/>	Inagibile per cause Esterne <input type="radio"/>
Indicare le parti agibili	Segnalare i provvedimenti anche indicandoli nella tabella sottostante	<input type="checkbox"/> Verifica più accurata <input type="checkbox"/> Si consiglia visita di esperti <input type="checkbox"/> Altro	Indicare le cause esterne
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....

**A<sub>19</sub> - TIPO DI VISITA**

Completa  Parziale  Solo dall'esterno  Motivi ostativi .....

**A<sub>20</sub> - PROVVEDIMENTI DI P.I. SUGGERITI** (\* interventi limitati \*\* interventi estesi)

	PROVVEDIMENTI	*	**		PROVVEDIMENTI	*	**
1	Revisione manto di copertura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8	Ripristino smaltimento delle acque meteoriche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Copertura provvisoria	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9	Monitoraggio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Puntellamenti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10	Protezioni o consolidamenti su opere d'arte fisse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Rimozione delle macerie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	11	Catalogazione e smontaggio delle parti pericolanti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Transennamenti / recinzioni / protezioni	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	12	Sgombero opere d'arte mobili	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Consolidamenti localizzati	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	13	Raccolta sistematica dei frammenti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	Messa in opera di cerchiatura e/o tiranti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	14	Ricovero e protezione dei frammenti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**A<sub>21</sub> - DANNI ALL'APPARATO DECORATIVO E ALLE OPERE D'ARTE** (scheda dettagliata a parte)

**A<sub>21.1</sub>** - Descrizione apparato decorativo o opera d'arte

.....

.....

.....

**A<sub>21.2</sub>** - Descrizione danno

.....

.....

.....

**A<sub>21.3</sub>** - Provvedimenti provvisionali sugli apparati decorativi e sgombero opere d'arte mobili

SI CONSIGLIA INTERVENTO STORICO DELL'ARTE

.....

.....

.....

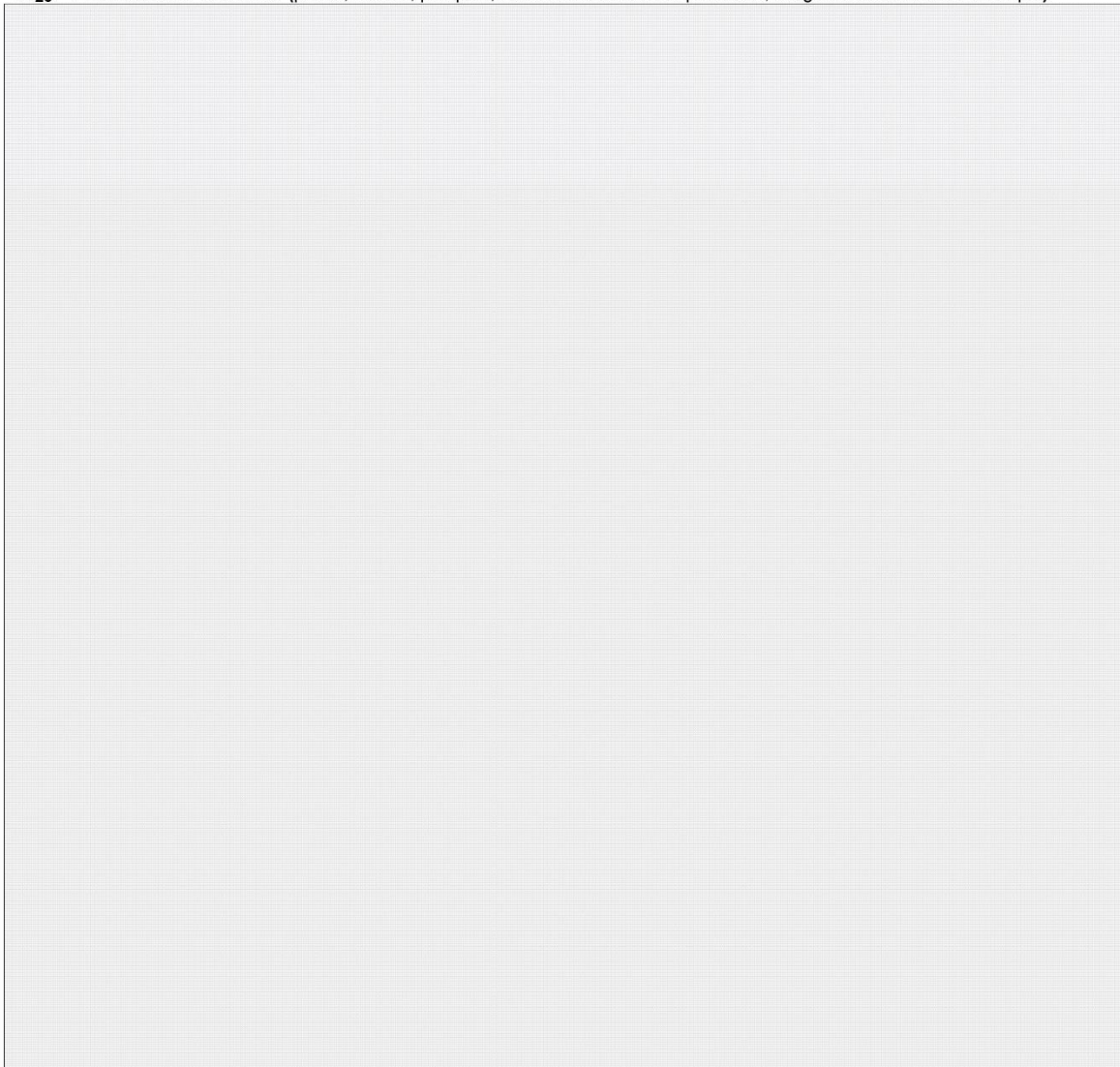
**STIMA DEL COSTO PER LA SALVAGUARDIA DELLE OPERE D'ARTE**

€                      \_ \_ \_ \_ \_ ,00





**A<sub>25</sub> - ELABORATI GRAFICI** (piante, sezioni, prospetti, illustrazione di dissesti particolari, allegare eventualmente fotocopie)



**A<sub>26</sub> - DOCUMENTAZIONE ALLEGATA**

SI  NO

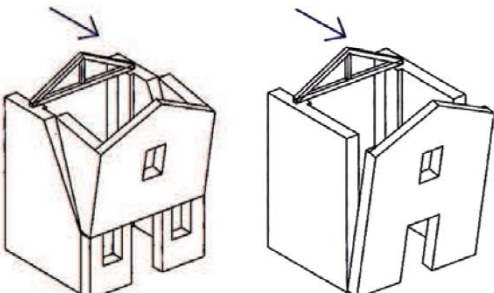
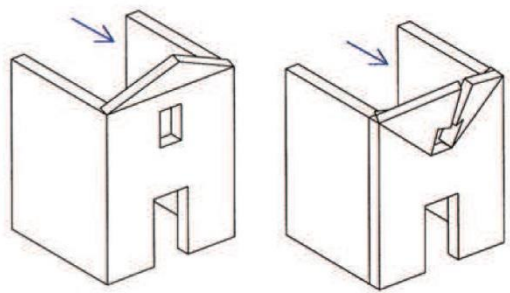
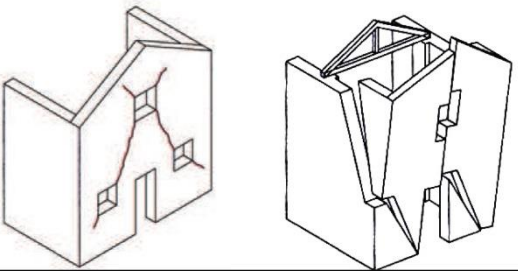
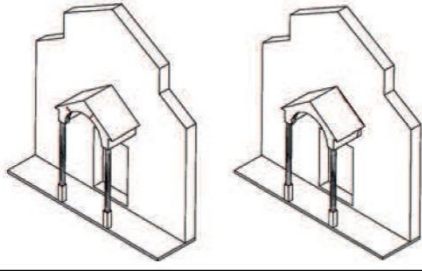
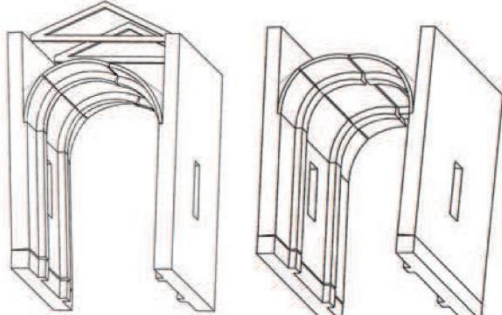
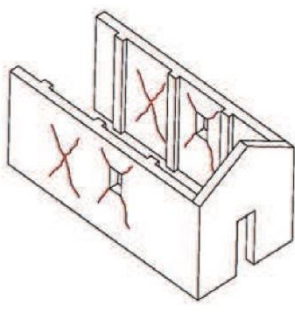
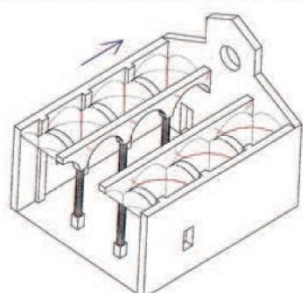
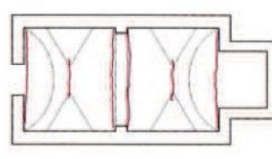
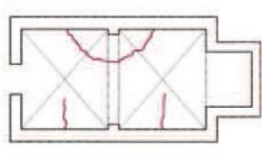
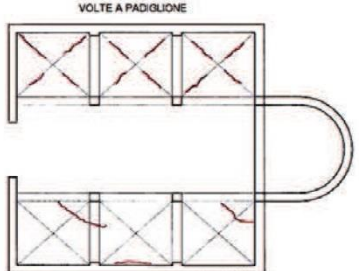
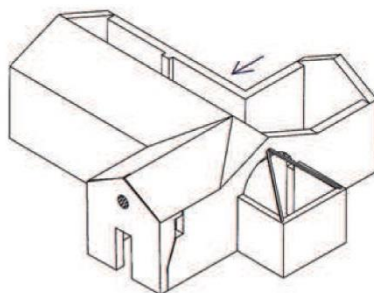
.....  
.....  
.....

**A<sub>27</sub> - SQUADRA CHE HA ESEGUITO IL RILIEVO**

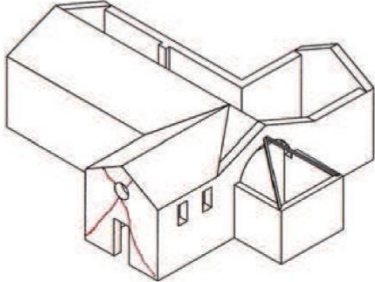
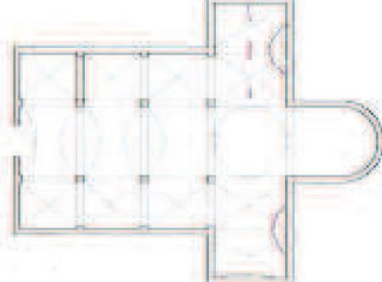
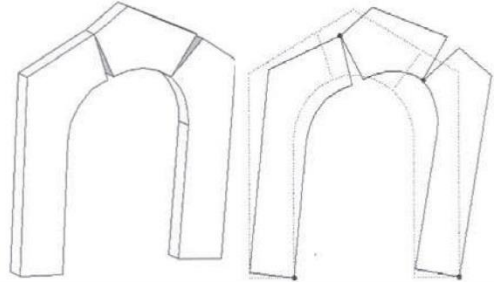
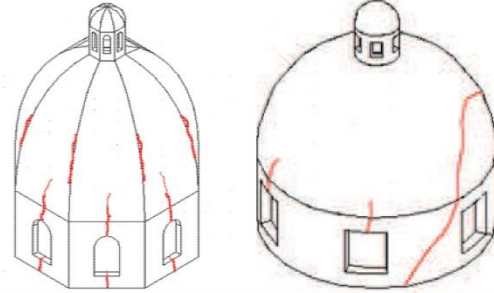
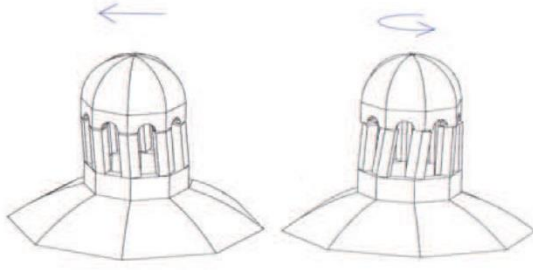
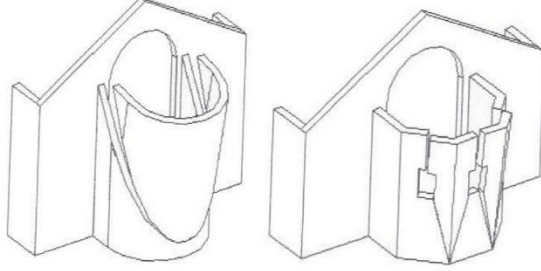
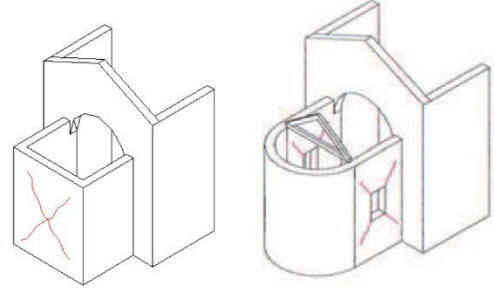
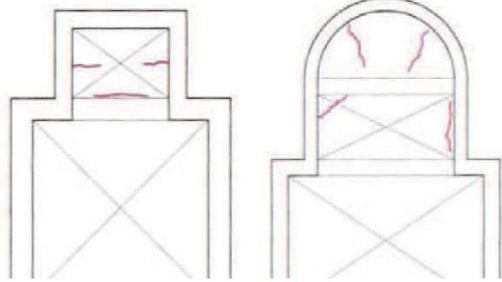
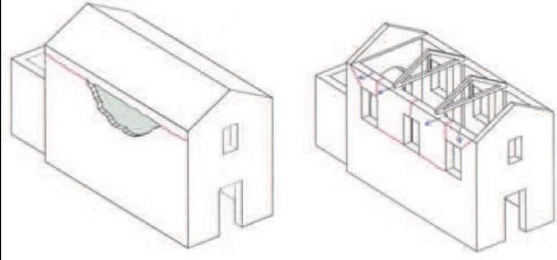
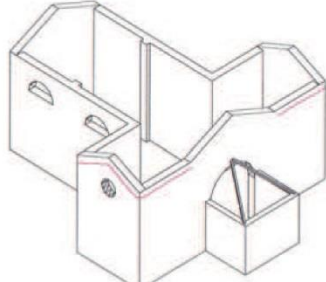
SISMA	C.O.M.	SQUADRA N.	
<i>Componenti della squadra</i>			
Cognome e nome	Qualifica	Ente appartenenza	Firma

Modello A-DC PCM-DPC MIBAC 2006

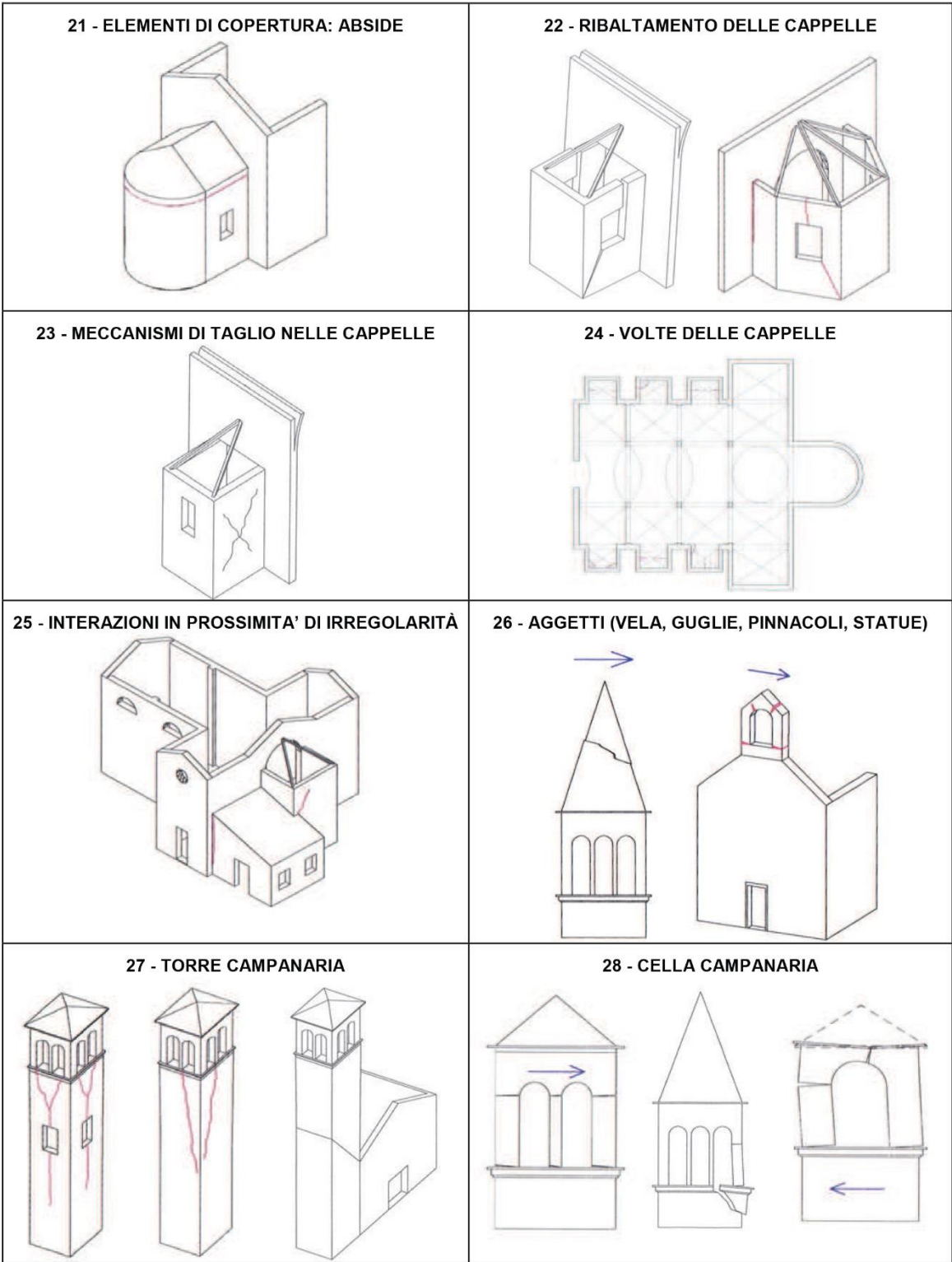
## ABACO DEI MECCANISMI DI COLLASSO DELLE CHIESE

<p style="text-align: center;"><b>1. RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>2. MECCANISMI NELLA SOMMITÀ DELLA FACCIATA</b></p> 
<p style="text-align: center;"><b>3. MECCANISMI NEL PIANO DELLA FACCIATA</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>4 - PROTIRO E NARTECE</b></p> 
<p style="text-align: center;"><b>5 - RISPOSTA TRASVERSALE DELL'AULA</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>6 - MECCANISMI DI TAGLIO PARETI LATERALI</b></p> 
<p style="text-align: center;"><b>7 - RISPOSTA LONGITUDINALE DEL COLONNATO</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>8 - VOLTE DELL'AULA O DELLA NAVATA CENTRALE</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span>VOLTA A BOTTE LUNETTATA</span> <span>VOLTA A CROCIERA</span> </div>
<p style="text-align: center;"><b>9 - VOLTE DELLE NAVATE LATERALI</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">  </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span>VOLTE A PADIGLIONE</span> <span>VOLTE A CROCIERA</span> </div>	<p style="text-align: center;"><b>10 - RIBALTAMENTO PARETI DEL TRANSETTO</b></p> 



<p><b>11 - MECCANISMI DI TAGLIO DEL TRANSETTO</b></p> 	<p><b>12 - VOLTE DEL TRANSETTO</b></p> 
<p><b>13 - ARCHI TRIONFALI</b></p> 	<p><b>14 - CUPOLA E TAMBURO / TIBURIO</b></p> 
<p><b>15 - LANTERNA</b></p> 	<p><b>16 - RIBALTAMENTO DELL'ABSIDE</b></p> 
<p><b>17 - MECCANISMI DI TAGLIO NELL'ABSIDE</b></p> 	<p><b>18 - VOLTE DEL PRESBITERIO O DELL'ABSIDE</b></p> 
<p><b>19 - ELEMENTI DI COPERTURA: AULA</b></p> 	<p><b>20 - ELEMENTI DI COPERTURA: TRANSETTO</b></p> 





Modello A-DC PCM-DPC MIBAC 2006

### 3.2. Indice del livello medio di danneggiamento

L'elaborazione dei dati relativi alle chiese danneggiate, rilevati con la scheda ministeriale A-DC consente, a valle del rilievo, di ricavare un indice rappresentativo del livello medio di danneggiamento che si è verificato nella chiesa analizzata, attraverso una media normalizzata dei punteggi relativi al livello di danno per ciascun meccanismo di collasso:

$$i = \frac{1}{5} \sum_{k=1}^n d$$

Dove:

$d$  è il livello di danno (compreso tra 0 e 5) subito nei riguardi del  $k$ -esimo meccanismo;

$n$  è il numero di meccanismi che si sarebbero potuti attivare nella chiesa;

L'indice di danno rappresenta un parametro sintetico che permette di paragonare il livello di danneggiamento di chiese di dimensioni e forme differenti, consentendo di definire una gerarchia della severità del danno strutturale subito dai corpi di fabbrica molto diversi tra loro. L'indice di danno vale 1 se il livello di danno è correlabile con il crollo (totale o eventualmente parziale) per tutti i macroelementi presenti nella chiesa.

### 3.3. Analisi e verifica dei meccanismi locali negli edifici in muratura

La metodologia di analisi per i meccanismi di collasso locali degli edifici esistenti in muratura presentata nelle norme tecniche per le costruzioni (D.M 14 gennaio 2008) e nella relativa circolare (n 617 del 2 febbraio 2009) si basa sui metodi dell'analisi limite secondo un approccio cinematico. Il sistema proposto deriva dall'osservazione del quadro dei danneggiamenti post-sismici relativi ai principali terremoti italiani.

L'analisi limite è un potente strumento analitico, il quale permette di affrontare il problema della sicurezza strutturale di un edificio. Dato un sistema su cui agisce una configurazione di carico proporzionale ad un moltiplicatore  $\alpha$ , attraverso tale metodo è possibile individuare il valore di  $\alpha$  che individua il carico di collasso e corrisponde alla trasformazione della struttura in un cinematismo (meccanismo di collasso). Schematizzando l'azione sismica in un sistema di forze orizzontali proporzionali ai pesi attraverso un moltiplicatore  $\alpha$  l'analisi limite costituisce uno strumento che permette di stilare la definizione della capacità portante di un sistema strutturale nei confronti di un terremoto. La valutazione del moltiplicatore di collasso tramite l'analisi limite, lecita per le strutture in muratura non resistenti a trazione, può avvenire tramite due differenti metodi: il primo basato sull'uso del teorema statico dell'analisi limite, il secondo di quello cinematico.

Il teorema statico afferma che il moltiplicatore di collasso è il massimo dei moltiplicatori staticamente ammissibili, mentre il teorema cinematico afferma che il moltiplicatore di collasso è il minimo dei moltiplicatori cinematicamente ammissibili. La stima del moltiplicatore attraverso il teorema statico può avvenire attraverso una analisi incrementale. Un approccio basato invece sul teorema cinematico richiede invece di ipotizzare un meccanismo di collasso congruente e di valutare il corrispondente moltiplicatore cinematicamente ammissibile tramite l'applicazione del principio dei lavori virtuali, in relazione al campo di spostamento ottenuto da una variazione infinitesima del cinematismo rispetto ad una configurazione iniziale [50]. Ripetendo questo procedimento per differenti cinematismi ammissibili, il minimo dei moltiplicatori così ottenuti rappresenta quello che meglio approssima il moltiplicatore di collasso. L'utilizzo dei meccanismi limite per l'analisi di edifici in muratura appare particolarmente efficace sulla base dell'osservazione del loro comportamento in occasione del terremoto. L'analisi sistematica ai danni ha infatti evidenziato come tali meccanismi locali siano caratterizzati dalla trasformazione del sistema in un cinematismo labile che giunge a collasso principalmente per perdita di equilibrio piuttosto che per superamento di uno stato limite di resistenza. Sulla base dell'osservazione sistematica dei danneggiamenti post-sismici, dell'osservazione delle caratteristiche tecnologiche delle murature e dei dettagli costruttivi è possibile evidenziare come vi sia un

numero limitato di cinematismi effettivamente probabili, rendendo operativamente possibile l'utilizzo dell'analisi limite secondo un approccio cinematico.

Le NTC 2008 impongono la verifica dei meccanismi locali degli edifici esistenti in muratura proponendo un metodo basato sull'analisi limite dell'equilibrio secondo un approccio cinematico. Il primo passo consiste nella definizione dei meccanismi più probabili con riferimento all'edificio in esame: nel caso di una chiesa i 28 meccanismi presentati nel modello AD – C. Tuttavia perché questa analisi sia possibile è importante che le caratteristiche della muratura permettano ai differenti blocchi che compongono un edificio di mantenersi integri. Infatti, in presenza di muratura di bassa qualità, i blocchi potrebbero disgregarsi in seguito alle sollecitazioni determinate dalle azioni a cui è sottoposta la struttura.

La valutazione del moltiplicatore orizzontale  $\alpha_0$  può avvenire applicando alla catena cinematica individuata, il principio dei lavori virtuali secondo l'espressione riportata dalla Circolare 2009:

$$\alpha_0 \left( \sum_{i=1}^n P_i \delta_{x,i} + \sum_{j=n+1}^{n+m} P_j \delta_{x,j} \right) - \sum_{i=1}^n P_i \delta_{y,i} - \sum_{h=1}^o F_h \delta_h = L_{fi}$$

Dove:

$P_i$ , generica forza peso applicata al cinematismo e rappresenta sia il peso proprio dei blocchi, applicato al rispettivo baricentro, sia altri carichi verticali che gravano sugli stessi;

$P_j$ , generica forza peso non applicata direttamente ai blocchi, la cui massa per effetto dell'azione sismica genera una forza orizzontale sugli elementi della catena cinematica, in quanto non efficacemente trasmessa ad altre parti dell'edificio;

$F_h$ , generica azione esterna agente sui blocchi rigidi;

$n, m, o$ , rispettivamente numero delle forze  $P_i, P_j, F_h$

$L_{fi}$ , lavoro svolto da eventuali forze interne

$\delta_{x,i}$ , spostamento virtuale orizzontale del punto di applicazione della  $i$ -esima generica forza peso applicata al cinematismo (assunto positivo se concorde alla direzione secondo cui agisce l'azione sismica che attiva il cinematismo)

$\delta_{x,j}$ , spostamento virtuale orizzontale del punto di applicazione della  $j$ -esima forza  $P_j$  (assunto positivo se concorde alla direzione secondo cui agisce l'azione sismica che attiva il cinematismo)

$\delta_h$ , spostamento virtuale del punto di applicazione della  $h$ -esima forza esterna nella direzione della forza stessa (assunto positivo se discorde alla direzione secondo cui agisce la corrispondente forza  $F_h$ )

L'accelerazione spettrale  $a^*_0$  di attivazione del meccanismo è definita dalla forza sismica orizzontale di attivazione, divisa per la massa partecipante e per il fattore di confidenza FC (tabella C8.A.1.1, Circolare 2009), secondo l'espressione:

$$a^*_0 = \frac{\alpha_0 \sum_{i=1}^{n+m} P_i}{M^* FC}$$

La massa partecipante può essere valutata considerando gli spostamenti virtuali dei punti di applicazione dei diversi pesi, associati al cinematismo, come la prima forma modale di vibrazione:

$$M^* = \frac{\sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}}{g \sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}^2}$$

La frazione di massa partecipante  $e^*$  della struttura può essere calcolata come:

$$e^* = \frac{g M^*}{\sum_i^{n+m} P_i}$$

$g$ , l'accelerazione di gravità

$e^*$ , frazione di massa partecipante della struttura

FC, fattore di confidenza

$n+m$ , numero delle forze peso  $P_i$  applicate alle masse per effetto dell'azione sismica che generano forze orizzontali sugli elementi della catena cinematica

$\delta_{x,i}$ , spostamento virtuale orizzontale del punto di applicazione della  $i$ -esima generica forza peso applicata al cinematismo (assunto positivo se concorde alla direzione secondo cui agisce l'azione sismica che attiva il cinematismo)

$M^*$ , massa partecipante al cinematismo

$a_0$  è l'accelerazione in grado di produrre l'attivazione del meccanismo. Nel caso in cui la massa partecipante sia tutta la massa coinvolta nel cinematismo, e quindi il coefficiente  $e^*$  sia pari a 1, si ha la totale e piena coincidenza dell'accelerazione di attivazione con il moltiplicatore di attivazione (che va moltiplicato per l'accelerazione di gravità  $g$  essendo adimensionale se preso da solo). Il valore di  $a_0^*$  diventa più elevato al diminuire della massa effettivamente partecipante al cinematismo. L'accelerazione di attivazione calcolata è una accelerazione che si intende applicata direttamente sulle masse facenti parte del meccanismo, prescindendo dalla quota a cui sono posizionate le pareti coinvolte nel cinematismo. Ciò comporta una procedura differenziata in fase di verifica dipendente dalla quota da terra del meccanismo.

### 3.3.1. Verifica allo Stato Limite di Danno con accelerazione al suolo

La verifica si ritiene soddisfatta se:

$$a_0^* \geq a_g(P_{Vr})S$$

Dove  $S$  è il coefficiente topografico definito al paragrafo 3.2.3.2.1 del DM 14 gennaio 2008,  $P_{Vr}$  per SLD è pari a 0,63.

### 3.3.2. Verifica allo Stato Limite di Danno con accelerazione in quota

La normativa italiana prevede il controllo di una seconda condizione di verifica dove si tiene conto che l'accelerazione del sisma di progetto risulta amplificata ad una quota più alta di quella del suolo:

$$a_0^* \geq S_e(T_1) \Psi(Z) \gamma$$

$T_1$ , primo periodo di vibrazione dell'intera struttura nella direzione considerata. In assenza di una adeguata analisi modale è possibile ricorrere alle formule semplificate proposte dalle NTC che forniscono  $T_1$  in funzione delle caratteristiche della costruzione. Per le costruzioni in muratura è possibile utilizzare:

$$T_1 = 0,05 H^{3/4}$$

$H$ , altezza dell'edificio in metri;

$S_e(T_1)$ , spettro elastico orizzontale in accelerazione definito al paragrafo 3.2.3.2.1 del DM 14 gennaio 2008, funzione della probabilità di superamento dello stato limite scelto e del periodo di riferimento  $V_R$  calcolato per il periodo  $T_1$  come indicato dalle NTC.



Z, altezza rispetto alla fondazione dell'edificio, del baricentro delle linee di vincolo tra i blocchi interessati dal meccanismo ed il resto della struttura. Nel caso si abbia un cinematismo con rotazione di una sola porzione muraria si ha una sola linea di vincolo: la cerniera orizzontale attorno la quale ruota la parte in esame. Nel caso di cinematismi a più cerniere si considera solamente la media delle quote di tali assi di rotazione.

$\Psi(Z)$ , primo modo di vibrazione dell'edificio nella direzione considerata, normalizzato ad 1 in sommità all'edificio; in assenza di valutazioni più accurate può essere assunto pari a

$$\Psi(Z) = Z/H$$

$\gamma$ , coefficiente di partecipazione modale, in assenza di valutazioni più accurate può essere assunto pari a:

$$\gamma = 3N/2N + 1$$

N, numero di piani dell'edificio

Per edifici particolari è possibile utilizzare le formule in Tabella 2 proposte da S. Lagomarsino [6] [7]:

Tipologia	Periodo $T_1$	Coefficiente di partecipazione modale $\gamma$	Altezza della struttura H
Edifici, palazzi (N= numero di piani)	$0,05 H^{3/4}$	$\gamma = 3N/(2N+1)$	Quota di colmo
Chiese	$0,07 H^{3/4}$	1,1	Quota di gronda
Campanili, torri	$0,04 H$	1,5	Quota di gronda

Tabella 2 - Formule semplificate per il calcolo del periodo e del coeff. di partecipazione modale per edifici particolari [6] [7]

### 3.3.3. Verifica allo Stato Limite Ultimo (SLV) con accelerazione al suolo

La condizione da rispettare è la seguente:

$$a_0^* \geq \frac{a_g(P_{Vr})S}{q}$$

$a_0^*$ , accelerazione di attivazione del meccanismo;

$a_g$ , accelerazione orizzontale massima del terreno; rispetto alla verifica allo SLD varia la probabilità di superamento dello stato limite (diventa 10%) e quindi il valore di  $a_g$  si modifica;

S, coefficiente di topografia definito al paragrafo 3.2.3.2.1 delle NTC, può variare dal coefficiente utilizzato per SLD in funzione dell'accelerazione  $a_g$  e della categoria di suolo;

q, fattore di struttura, può essere assunto per le norme italiane pari a 2;

### 3.3.4. Verifica allo Stato Limite Ultimo (SLV) con accelerazione in quota

Deve essere verificata la condizione:

$$a_0^* \geq \frac{S_e(T_1) \Psi(Z) \gamma}{q}$$

Dove:

$S_e(T_1)$ , spettro elastico orizzontale in accelerazione definito al paragrafo 3.2.3.2.1 del DM 14 gennaio 2008, funzione della probabilità di superamento dello stato limite scelto e del periodo di riferimento  $V_R$  calcolato per il periodo  $T_1$  come indicato dalle NTC. Deve essere riferito allo SLV;

$Z$ , altezza rispetto alla fondazione dell'edificio, del baricentro delle linee di vincolo tra i blocchi interessati dal meccanismo ed il resto della struttura. Nel caso si abbia un cinematismo con rotazione di una sola porzione muraria si ha una sola linea di vincolo: la cerniera orizzontale attorno la quale ruota la parte in esame. Nel caso di cinematismi a più cerniere si considera solamente la media delle quote di tali assi di rotazione, assume il medesimo valore calcolato per SLD;

$\Psi(Z)$ , primo modo di vibrazione dell'edificio nella direzione considerata, normalizzato ad 1 in sommità all'edificio; in assenza di valutazioni più accurate può essere assunto pari a

$$\Psi(Z) = Z/H$$

$\gamma$ , coefficiente di partecipazione modale, in assenza di valutazioni più accurate può essere assunto pari a:

$$\gamma = 3N/2N + 1$$

Per edifici particolari è possibile utilizzare le formule in Tabella 2 proposte da S. Lagomarsino [6] [7]. Il coefficiente  $\Psi(Z)$  assume il medesimo valore calcolato per SLD.

### 3.4. Meccanismo di risposta trasversale dell'aula



Figura 121 - Effetti del "nave transversal response", duomo di Mirandola - Rif. Bibliog. [10]

Il meccanismo di collasso che analizza il rapporto tra copertura a capriate lignee e pareti in muratura portante è identificato come "risposta trasversale dell'aula" (*Nave transversal response*) e indicato nella Tabella 1 al punto M5. Il meccanismo è dovuto principalmente allo spostamento fuori piano di una o di entrambe le pareti laterali dell'aula e comporta deformazioni e abbassamento in chiave degli archi o delle volte, ove esistenti, con la conseguente formazione di cerniere plastiche. In seguito a questo si verifica lo sfilamento e la perdita di appoggio delle capriate di copertura, o il punzonamento localizzato. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da

lesioni diffuse negli arconi che possono eventualmente proseguire nella volta, e dal verificarsi di fenomeni di fuori piombo e/o schiacciamento delle colonne.

Il meccanismo di collasso viene attivato dalle azioni sismiche agenti in direzione perpendicolare all'asse principale di una chiesa, e quindi perpendicolare alla navata. Le pareti portanti longitudinali sono così soggette a forze fuori dal piano, corrispondenti ai carichi di inerzia provenienti dal sistema strutturale della copertura, che determinano il ribaltamento della muratura. Questo meccanismo di collasso può coinvolgere una sola

trave oppure una porzione maggiore della copertura, ma comunque rimane estremamente pericoloso: il collasso della muratura per ribaltamento comporta infatti il crollo del tetto per l'improvvisa mancanza del supporto che lo sosteneva.

Questo meccanismo di collasso può riguardare anche solamente la parte superiore della navata principale, dove le pareti longitudinali sono sottoposte alle azioni di vincolo derivanti dalle navate laterali, usualmente più basse. Quando il soffitto dell'edificio è caratterizzato dalla presenza di una volta che copre la navata, gli effetti della volta sulle pareti portanti, devono essere considerati. Si assume in seguito l'ipotesi che il meccanismo di collasso precedentemente descritto sia attivato al di sopra dell'asse di intersezione tra muri e volte.



Figura 122 - Sollecitazioni fuori dal piano - Rif. Bibliog. [48]

La presenza di catene trasversali, paraste o contrafforti esterni, di corpi annessi adiacenti contribuisce ad un buon comportamento di questo macroelemento, e quindi può essere presa in considerazione come indicatore per valutare la vulnerabilità di un manufatto al meccanismo di risposta trasversale dell'aula. Di contro la presenza di elementi spingenti (come archi o volte), di pareti con elevata snellezza o di volte in foglio, favorisce l'attivazione del meccanismo. Inoltre, le rotazioni fuori piano delle pareti laterali dell'aula possono causare lesioni vicino alle teste delle travi

lignee, lo scorrimento delle stesse, sconnessioni tra cordoli e muratura.

In particolare paraste o contrafforti esterni (meglio se presenti su entrambi i lati dell'aula) possono impedire parzialmente o totalmente la rotazione fuori dal piano delle pareti longitudinali: la loro efficacia dipende dalle dimensioni del contrafforte (che devono essere adeguate all'altezza della parete longitudinale), dalla qualità delle murature del contrafforte e dell'ammorsamento con le pareti longitudinali.

La rotazione è limitata anche da corpi adiacenti annessi al fabbricato principale, in funzione delle loro dimensioni (che devono essere adeguate all'altezza delle pareti longitudinali) e della qualità della muratura.

Un miglioramento del comportamento sismico del macroelemento aula, tale da limitare l'attivazione del meccanismo di collasso per risposta trasversale, si può ottenere tramite l'irrigidimento controllato delle falde attuando soluzioni che non aumentino il peso della copertura (come controventi a croce di S. Andrea, tavolato ligneo incrociato). E' importante procedere con questi interventi solo dopo aver verificato le ripercussioni sulla facciata e sugli archi trionfali. Altri sistemi per migliorare il comportamento dell'aula sono l'inserimento od il ritensionamento di catene trasversali per contrastare i meccanismi di ribaltamento di uno o di entrambi i piedritti, oppure la realizzazione di paraste interne o di rifianchi con conglomerato alleggerito in modo da diminuire l'altezza libera delle porzioni di muro che sono soggette a ribaltamento.

Le chiese presentate al capitolo 2 che hanno subito danni per effetto dell'instaurarsi del meccanismo di risposta trasversale della aula sono:

- Chiesa di San Giovanni, Concordia sulla Secchia (Mo)
- Duomo di Santa Maria Maggiore, Mirandola (Mo)
- Chiesa di San Francesco, Mirandola (Mo)
- Chiesa di S. Caterina, Novi di Modena (Mo)
- Chiesa di S. Martino Secchia, Carpi, loc. San Martino Secchia (Mo)
- Chiesa Madre, Fossoli (Mo)
- Chiesa di San Biagio, San Felice sul Panaro (Mo)
- Chiesa di San Giovanni Battista, Cavezzo (Mo)
- Chiesa di Sant'Egidio, Cavezzo, (Mo)
- Chiesa di Bartolomeo, Medolla (Mo)
- Chiesa di San Martino di Tour, Cento (Fe)

I danni più frequenti che sono stati riscontrati in questi edifici sono lesioni o crolli per effetti di ribaltamento delle pareti portanti che sorreggono la copertura e crolli parziali o totali della struttura lignea del tetto. Si riporta in Figura 123 la sezione del modello AD-C relativa al meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula.



5 – RISPOSTA TRASVERSALE DELL’AULA				
Presenza del macroelemento in relazione al meccanismo: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			Punta di danno massimo (da 0 a 5): <u>  </u> <sup>1</sup>	
Vulnerabilità	Si	No	<i>Presidi antisismici</i> <sup>2</sup> Presenza di paraste o contrafforti esterni <sup>3</sup> Presenza di corpi annessi adiacenti <sup>4</sup> Presenza di catene trasversali <sup>5</sup> .....	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	Si	No	<i>Indicatori di vulnerabilità</i> <sup>6</sup> Presenza di pareti con elevata snellezza <sup>7</sup> Presenza di volte e archi <sup>8</sup> .....	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Danno	attuale <sup>9</sup>		Lesioni negli arconi (con eventuale prosecuzione nella volta) – Rotazioni delle pareti – Lesioni a taglio nelle volte – Fuori piombo e schiacciamento colonne <sup>11</sup>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	pregresso <sup>10</sup>		Lesioni negli arconi (con eventuale prosecuzione nella volta) – Rotazioni delle pareti – Lesioni a taglio nelle volte – Fuori piombo e schiacciamento colonne <sup>11</sup>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

<sup>1</sup> Punta di danno massimo che si è rilevato in relazione a tale meccanismo di danno.

<sup>2</sup> Lista di quelle soluzioni tecnologiche-costruttive che possono contrastare l’attivazione e lo sviluppo del meccanismo di danno).

<sup>3</sup> Paraste o contrafforti esterni che totalmente o parzialmente impediscono la rotazione fuori dal piano delle pareti longitudinali. *Efficacia*: alcuni parametri che possono essere considerati al fine di valutare il giudizio sull’efficacia sono:

- dimensioni del contrafforte adeguate all’altezza della parete longitudinale;
- qualità della muratura del contrafforte;
- qualità dell’ammorsamento tra il contrafforte e la parete longitudinale;
- presenza dei contrafforti su entrambe le pareti longitudinali.

<sup>4</sup> Corpi annessi adiacenti che totalmente o parzialmente impediscono la rotazione fuori dal piano delle pareti longitudinale. *Efficacia*: alcuni parametri che possono essere considerati al fine di valutare il giudizio sull’efficacia sono:

- dimensioni del corpo annesso adeguate all’altezza della parete longitudinale;
- qualità della muratura del corpo adiacente;
- presenza dei corpi annessi su entrambe le pareti longitudinali.

<sup>5</sup> Catene, tiranti, paralleli alla facciata, spesso posizionati in corrispondenza degli arconi di irrigidimento della volta della navata principale che suddividono l’aula nelle diverse campate. *Efficacia*: alcuni parametri che possono essere considerati al fine di valutare il giudizio sull’efficacia sono:

- catena in tensione o lenta;
- contatto bolzone-muratura;
- numero adeguato in relazione alle dimensioni delle facciate;
- ancoraggi passivi o attivi;
- dimensione della catena ( 26-30 mm).

<sup>6</sup> Lista di quelle carenze costruttive che possono favorire l’attivazione del meccanismo di danno.

<sup>7</sup> Si deve considerare la snellezza delle pareti longitudinali calcolata come il rapporto tra lo spessore e la quota di colmo. *Efficacia*: alcuni parametri che possono essere considerati al fine di valutare il giudizio delle carenze costruttive sono:

- valore minore di 0.1;
- qualità muraria delle pareti laterali;
- spessore inferiore ai 0.4 m.

<sup>8</sup> Si deve valutare se sono presenti volte ed archi nell’aula della chiesa. *Efficacia*: alcuni parametri che possono essere considerati al fine di valutare il giudizio delle carenze costruttive sono:

- tipologia delle volte;
- qualità muraria delle volte e degli archi;
- luce delle volte e degli archi;
- presenza di volte ed archi in tutte le navate della chiesa.

<sup>9</sup> Si intende il danno causato dall’evento sismico (nel caso che si stia effettuando un censimento a seguito di un terremoto)

<sup>10</sup> Si intende il danno pregresso non completamente correlato all’evento sismico (nel caso che si stia effettuando un censimento a seguito di un terremoto) imputabile prevalentemente ad un danno già esistente di varia natura (terremoti storici, rotazioni per spinte statiche, ecc.) ma tuttavia sempre associabile al meccanismo che si sta rilevando. Nel caso di un aggravamento del danno si dovrà marcare nel danno attuale il danno complessivo e nel danno pregresso il danno che si stima potesse essere già presente prima del terremoto.

<sup>11</sup> La descrizione del quadro fessurativo è supportata da alcuni esempi schematici delle modalità di danneggiamento correlate al meccanismo di danno in esame. I livelli di danno sono 5 in accordo con la scala macrosismica EMS di cui si riporta la definizione dei diversi livelli:

**0** = Danno nullo; **1** = Danno lieve; **2** = Danno medio; **3** = Danno grave; **4** = Danno molto grave; **5** = Collasso

Figura 123 - Scheda AD-C, sezione relativa al meccanismo di collasso per risposta trasversale dell’aula

### 3.5. Formula semplificata e parametri chiave

Il meccanismo di collasso di risposta trasversale dell'aula può essere analizzato in maniera semplificata tramite l'uso della formula proposta in M.A. Parisi, C. Chesì, *Seismic vulnerability of traditional buildings: the effect of roof-masonry walls interaction*.

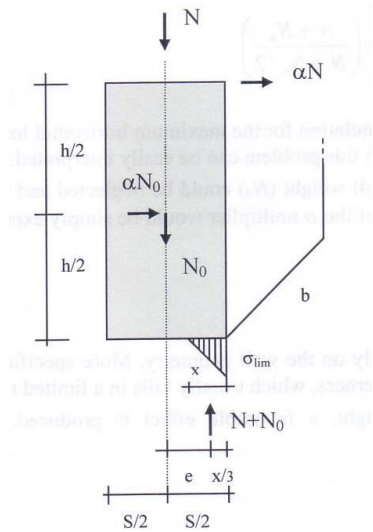


Figura 124 - Parametri chiave dell'analisi - Rif. Bibliog. [4]

Il parametro chiave nello studio del rapporto tra copertura a capriate lignee e parete portante in muratura è l'accelerazione orizzontale adimensionalizzata, che può essere determinata dallo studio dell'equilibrio della situazione limite.

Definiti:

- $\alpha$ , moltiplicatore dei carichi orizzontali, che corrisponde all'accelerazione orizzontale (espresso in g), necessaria per l'attivazione del meccanismo
- $b$ ,  $h$ ,  $s$  dimensioni geometriche delle pareti (lunghezza, altezza, spessore). L'analisi si concentra su una porzione centrale delle chiusure longitudinali di lunghezza  $b$ , tale da non essere influenzata dagli effetti dei vincoli delle pareti trasversali (facciata e transetto). In caso di presenza di aperture nelle murature portanti la porzione di parete da analizzare è quella

compresa tra gli assi di due finestre contigue, mentre il valore della lunghezza  $b$  corrisponde alla parte delimitata dalle aperture.

- $N_0$ , peso della parete
- $N$ , carichi verticali derivanti dalla copertura
- $f_m$ , resistenza a compressione del materiale della parete portante
- $e$ , eccentricità dei carichi assiali totali  $N + N_0$
- $x$ , posizione dell'asse neutro

Per l'analisi del meccanismo di collasso, che coinvolge la parte superiore della muratura di una navata, bisogna fare riferimento all'equilibrio di un corpo rigido sottoposto all'azione del sistema di forze mostrato in Figura 124.

Nella situazione mostrata il coefficiente dei carichi orizzontali  $\alpha$  assume il massimo valore possibile; allo stesso tempo anche l'eccentricità dei carichi verticali è massima, mentre lo stato di sforzo alla base della parete determina il valore massimo della posizione dell'asse neutro  $x$  e della resistenza  $f_m$ .

Le condizioni di equilibrio alla traslazione ed alla rotazione possono essere espresse come:

$$\frac{x}{3} = \frac{s}{2} - e \quad (1)$$

$$N + N_0 = b \cdot x \cdot \frac{f_m}{2} \quad (2)$$

Considerando che:

$$e = \frac{M}{N + N_0} = \frac{\alpha \cdot N \cdot h + \alpha \cdot N_0 \cdot \frac{h}{2}}{N + N_0}$$

I valori di  $\alpha$  e  $x$  sono incogniti e possono essere determinati esprimendo  $x$  dalle equazioni (1) e (2) e in seguito ponendo uguali le due espressioni in una equazione. Si ricava una espressione di  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right)$$

Nel caso limite in cui il peso delle pareti ( $N_0$ ) possa essere trascurato e la resistenza ( $f_m$ ) abbia valore molto elevato, il coefficiente  $\alpha$  si potrebbe calcolare come:

$$\alpha = \frac{s/2}{h}$$

Nella situazione appena evidenziata l'accelerazione orizzontale adimensionalizzata dipenderebbe solo dalla geometria della parete portante; inoltre può essere correlata con la snellezza del muro, che normalmente assume valori compresi in un intervallo limitato.

Includendo nel calcolo il peso della parete in muratura si ottiene un effetto che ne migliora le prestazioni, tramite un coefficiente calcolabile come:

$$c = \frac{N + N_0}{N + N_0/2}$$

Il valore di questo coefficiente è compreso tra 1 e 2.

Prendendo ora in considerazione il reale valore della resistenza  $f_m$ , si ottiene l'effetto equivalente ad una riduzione dello spessore della muratura, di conseguenza il valore di  $\alpha$  si riduce. Tuttavia dal punto di vista numerico questo effetto è molto limitato anche se si assumono valori di resistenza molto bassi.





## 4. Effetti della variabilità dei parametri geometrici nella formula nel collasso per risposta trasversale della navata

### 4.1. Casi studio

Al fine di valutare gli effetti dei parametri della formula semplificata si prendono in considerazione, oltre alle chiese che hanno manifestato il meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula durante il terremoto dell'Emilia 2012, alcuni casi di studio di edifici che presentano le caratteristiche in esame: pareti in muratura storica e copertura sorretta da capriate in legno. Si tratta di chiese di differenti dimensioni, ad una o tre navate nelle provincie di Varese, Monza e Brianza, Como, Lecco, Milano, Novara, Genova e La Spezia.

#### 4.1.1. Chiese con pianta ad una navata

##### *Chiesa di San Pietro, Albese con Cassano (Co)*



Figura 125 - Chiesa di S. Pietro - Rif. Bibliog. [55]



Figura 126 - Chiesa di S. Pietro - Rif. Bibliog. [56]

La Chiesa di S. Pietro con Cassano è stata edificata nella sua struttura attuale nel Quattrocento sui resti di una cappella di epoca Longobarda e di una chiesa carolingia ampliata nel XII secolo. L'edificio mantiene l'aspetto romanico con pietre a vista e facciata a capanna con portale sormontato da una finestra a lunetta. L'interno è costituito da un'aula ad un'unica navata con copertura a capriate lignee, divisa in due campate da un arco a sesto ribassato in mattoni; in mattoni è anche l'arco ogivale del presbiterio che presenta una volta a crociera. All'area absidale rettangolare è annessa la sacrestia, locale settecentesco che fuoriesce dal corpo principale della chiesa. Vicino ad essa si trova la torre campanaria, sulla quale si aprono (su tutti e quattro i lati ed in sequenza) tre ordini di feritoie e due ordini di bifore. La torre è fortemente in pendenza verso sinistra, a causa di un cedimento del terreno.

### **Chiesetta della Madonna di Loreto, Molena di Albavilla (Co)**



Figura 127 - Chiesetta della Madonna di Loreto - Rif. Bibliog. [58]



Figura 128 - Interno della Chiesetta della Madonna di Loreto - Rif. Bibliog. [58]

Anticamente dedicata a San Bartolomeo, di stile romanico, la chiesa subì numerosi rifacimenti nel corso dei secoli che ne modificarono in buona parte l'aspetto. In passato l'edificio aveva una pianta diversa dall'attuale, era infatti a due navate e due absidi, separate da una fila di colonne e aveva al centro della facciata un campanile. Oggi è strutturata in un'unica navata centrale affiancata da un piccolo edificio utilizzato come sacrestia. La chiesetta assunse la forma attuale forse solo nel XVI secolo. La ricostruzione fu effettuata richiamando lo stile romanico originario mantenendo le pareti in pietra locale e la facciata a capanna con un portale d'ingresso affiancato da due finestre. Attorno al 1980 si effettuò un intervento di restauro in cui vennero demolite le parti ottocentesche, venne rifatto il tetto, tolto l'intonaco dalle pareti facendo emergere le pietre sottostanti. Le pareti interne sono quasi completamente prive d'affreschi, solo l'abside è abbellita da un dipinto raffigurante la Madonna e da altri due rappresentanti due Sante. L'edificio è stata restaurato nel 1716 e nel 1981.

### **Chiesa di S. Rocco, Olera (Bg)**



Figura 129 - Chiesa di S. Rocco - Rif. Bibliog. [59]



Figura 130 - Chiesa di S. Rocco - Rif. Bibliog. [59]

La chiesa di S. Rocco venne concepita come oratorio isolato, posto su un pendio, ad oriente dell'abitato, dal quale dista una decina di minuti di cammino. Non si conosce la data della sua costruzione e limitatissime sono le fonti documentarie ad essa legate. I primi dati storici rintracciabili che ne testimoniano

l'esistenza risalgono al 1587. La facciata dell'edificio è liscia, con tetto a spioventi, e nel centro si apre il portale di ingresso in pietra, affiancato da due finestre rettangolari (una per lato) a due luci. Sopra il portone spicca il rosone circolare in contorno di pietra sagomata. La pianta dell'edificio è rettangolare con un'unica navata, divisa in due campate da un arco a sesto acuto sul quale poggia la struttura del tetto in legno a vista. Il presbiterio è sopraelevato rispetto al resto della chiesa per tutte le sue dimensioni e presenta abside semicircolare.

### ***Chiesa di San Damiano, Cogliate (MB)***

La Chiesetta di S. Damiano, testimonianza del monastero benedettino del XII secolo presenta una pianta ad una sola navata coperta con capriate lignee, facciata a capanna ed abside rettangolare. Alla chiesa fu aggiunta in epoca successiva la cappella della Sacra Famiglia che presenta struttura seicentesca e stucchi del secolo successivo.



Figura 131 - Chiesetta di S. Damiano - Rif. Bibliog. [60]



Figura 132 - Chiesetta di S. Damiano - Rif. Bibliog. [60]

### ***Chiesa di Santa Maria la Rossa o Santa Maria alla Fonte, Milano (Mi)***



Figura 133 - Chiesa di S. Maria la Rossa o S. Maria alla Fonte - Rif. Bibliog. [62]



Figura 134 - Chiesa di S. Maria la Rossa o S. Maria alla Fonte - Rif. Bibliog. [62]

La Chiesa di Santa Maria alla Fonte, costruita in una serie di interventi temporalmente molto distanti tra loro (tra il XII ed il XVIII secolo) si presenta oggi nel suo aspetto duecentesco romanico lombardo in mattoni a vista, con una semplice facciata a capanna su cui si aprono un unico portale e, più in alto, un'ampia monofora; sopra quest'ultima si vedono le poche tracce rimaste dell'affresco

quattro-cinquecentesco raffigurante una Madonna col Bambino tra due angeli e i santi Benedetto e Bernardo. Conclude la facciata una cornice dentellata sotto gli spioventi del tetto; al di sopra, una piccola campana sostituisce il campanile rimasto incompiuto. Nei fianchi della chiesa si aprono piccole monofore strombate; La zona absidale conserva i caratteri stilistici di quell'epoca: nella parete curvilinea dell'abside, scandita verticalmente da costoloni, si aprono finestrelle strette ed alte, a forte strombatura, profilate in cotto ed arenaria. La zona absidale e le mura esterne più antiche presentano in alto una cornice ad archi intrecciati su beccatelli, alcuni modellati in foggia di teste umane. L'interno è ad una sola navata ed aveva originariamente tre altari: l'altare maggiore dedicato alla Vergine, gli altri due a S. Dionigi vescovo ed a S. Stefano. A lato dell'altare maggiore vi erano infatti due cappelle con volta a crociera. Sul lato di fondo e sul fianco esterno delle cappelle vi erano piccole finestre. Le pareti internamente sono intonacate, i pochi resti di affreschi rimasti fanno pensare che un tempo doveva essere tutta affrescata con episodi della passione di Cristo e della vita della Vergine.



### **Abbazia di Piona, Chiesa di San Nicola, Colico (Lc)**

Il complesso del Priorato di Piona ha radici che risalgono al 610 d.C., quando sulla penisola venne fondato un oratorio dedicato a Santa Giustina. Fu consacrata nel 1138 accanto ai resti di un altro edificio romanico, di cui resta la sola abside. La Chiesa, di stile romanico lombardo, ha pianta a navata unica terminante in un'abside con copertura a botte affrescata, è lunga circa 20 metri e larga circa 8. L'edificio attuale è il risultato di un ampliamento, per allungamento, di una precedente chiesa l'esame delle caratteristiche architettoniche della nuova addizione ne suggerisce per la costruzione il XII secolo. La geometria della navata è rettangolare lievemente irregolare con la parte aggiunta non perfettamente in linea con l'asse dei primitivi muri perimetrali.



Figura 135 - Chiesa di S. Nicola, Abbazia di Piona - Rif. Bibliog. [64]



Figura 136 - Chiesa di S. Nicola, Abbazia di Piona - Rif. Bibliog. [64]

### **Chiesa di San Rocco, Somma Lombardo (Va)**

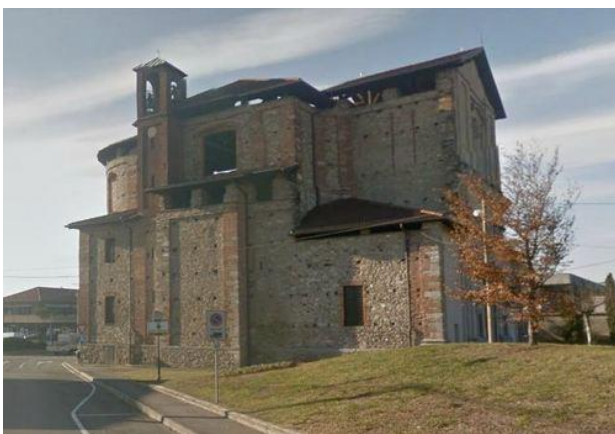


Figura 137 - Chiesa di S. Rocco - Rif. Bibliog. [67]

La chiesa di San Rocco sorge nella parte sud del paese di Somma Lombardo, caratteristica è la sua attuale forma: l'edificio risulta infatti composto da due corpi di fabbrica, l'uno inglobato nell'altro. Fatto questo che sottolinea proprio la trasformazione dell'ambiente circostante da rurale a cittadino: aumentando infatti la moltitudine dei fedeli, divenne impellente la necessità di ampliare la cappella originaria. Non si hanno notizie certe riguardo la fondazione della chiesa di San Rocco. Le prime descrizioni dell'edificio e i primi documenti certi riguardanti la chiesa risalgono al 1524. La prima planimetria dell'edificio è stata prodotta in seguito alla visita pastorale condotta dall'Arcivescovo Carlo

Borromeo nel 1570: nella pianta la chiesa originaria appare come un edificio rettangolare, a navata unica terminante in un'abside anch'essa rettangolare in cui è collocato l'altare. A partire dalla metà del Seicento si parla dei lavori per l'erezione di una nuova chiesa, più precisamente in un documento del 1648 il card. Federico Visconti la descrive come imponente; nei documenti relativi ad una successiva visita pastorale condotta nel 1707, viene ribadito il fatto che fuori dall'oratorio di S. Rocco si sta costruendo un nuovo edificio con pianta a croce. Alla fine del Settecento la nuova chiesa di San Rocco risulta ancora incompiuta. Durante la Prima Guerra Mondiale la chiesa di San Rocco venne requisita e trasformata in magazzino dell'aviazione; liberata nel 1919 dal materiale e dai militari che l'avevano occupata viene restituita alla parrocchia di Somma. L'edificio, al termine dell'occupazione si presentava in notevole stato di degrado: i parapetti e la balaustra dell'altare risultavano danneggiati in diversi punti, i vetri delle finestre erano rotti e i muri avevano subito diversi danni. La chiesa di San Rocco risulta costituita da due corpi di fabbrica uno inglobato nell'altro, formando nel complesso un edificio absidato a pianta centrale. Il corpo di fabbrica più piccolo, quello interno e corrispondente all'ingombro della cappella originale, misura circa sei metri in larghezza e tredici in lunghezza.



L'edificio primitivo, il cui ingombro originale è indicato da due archi ribassati trasversi, presentava una terminazione ad abside piatta, coperta da tetto a due spioventi; di questa costruzione rimangono oggi solo i due muri laterali, poveri di elementi architettonici decorativi. Sicuramente successive sono le due cappelle collocate verso l'ingresso settentrionale, che nella loro struttura poggiano contro i muri della successiva chiesa, come successivi sono gli interventi di demolizione dell'abside e della facciata per collegare il nucleo originario all'edificio esterno. Infine, negli anni Settanta del secolo scorso, venne abbattuta l'abside piatta, per ampliare l'edificio sfruttando il coro della chiesa esterna; venne quindi strappato l'affresco databile alla prima metà del Cinquecento attualmente collocato sulla parete a sinistra dell'entrata. Tra il XVI e il XVII secolo venne realizzato attorno alla cappella più antica un nuovo edificio a pianta centrale: la pianta può essere schematizzata in una croce greca, sulla quale si innesta l'abside e il cui transetto è chiuso da due cappelle a terminazione piatta; negli spazi tra i bracci della croce sono ricavati quattro ambienti, uno dei quali è attualmente utilizzato come sacrestia; esternamente l'edificio assume quindi la forma di un quadrilatero, completato su un lato dall'abside. Nel 2005 sono stati necessari ampi lavori di ristrutturazione che includevano anche il rifacimento della copertura lignea.

### ***Chiesa di Santa Maria In Binda, Nosate (Mi)***



*Figura 138 - Chiesetta di S. Maria in Binda*

La costruzione, di origine longobarda, risale addirittura all'VIII secolo, anche se ha subito numerosi rimaneggiamenti nel corso dei secoli. L'esterno si presenta con mattoni a vista; l'interno della chiesetta è costituito da un'unica navata, le cui pareti sono tutte ricoperte da pregevoli affreschi rinascimentali, in parte rovinati.

### ***Chiesa di Santo Stefano, Varese (Va)***



*Figura 139 - Interno della Chiesa di S. Stefano - Rif. Bibliog. [66]*

La Chiesa di S. Stefano nacque come oratorio prima del 1347, quando l'arcivescovo di Milano Giovanni Visconti le concesse una cappellania. L'edificio, realizzato in stile romanico, ha pianta ad una sola navata, coperta da capriate lignee. Le decorazioni interne risalgono per lo più al XV e XVI secolo. All'interno, però, si trovano affreschi che risalgono al periodo compreso fra l'XI e il XV secolo, fra i quali alcune opere di Galdino da Varese.

#### 4.1.2. Chiese con pianta a tre navate

##### ***Basilica di San Vittore, Arsago al Seprio (Va)***

La Basilica, di datazione incerta tra il IX ed il XII secolo sorge su una più antica costruzione del V-VI secolo, i cui frammenti sono visibili all'esterno dell'abside in una fascia decorativa in cotto e pietra a spina di pesce. La chiesa presenta una struttura basilicale a tre navate, terminate ad Est da tre absidi, e pianta rettangolare priva di transetto. Unico elemento decorativo sono le sequenze di archetti pensili, costituiti di piccoli conci attorno ad un unico blocco a lunetta. La facciata è a salienti interrotti. All'altezza della lunetta del portale, settecentesco, si notano dei fori quadrati, forse le sedi delle travi di un porticato ora scomparso. L'interno della chiesa è a sostegni alternati. Le finestre della navata sono posizionate molto in alto lasciando un'ampia superficie tra di loro e gli archi longitudinali



Figura 140 - Basilica di San Vittore - Rif. Bibliog. [68]



Figura 141 - Interno della Basilica di San Vittore - Rif. Bibliog. [68]

##### ***Collegiata di San Vittore, Brezzo di Bedero (Va)***

La Collegiata di San Vittore, venne fondata nel 1173, sui resti di un tempio paleocristiano, nel territorio di Brezzo di Bedero e conserva tuttora alcune travi antecedenti al XII secolo. L'aspetto attuale della Collegiata deriva dai vari interventi che nel corso dei secoli hanno modificato più o meno vistosamente la sua architettura iniziale. La facciata per esempio è stata rimaneggiata nel 1876, quando fu ricostruita la parte superiore e creata la cappella battesimale lungo la navata sinistra. Il campanile risale invece al 1600.

La chiesa presenta la pianta tipica delle plebane (pievi) suddivisa in tre navate concluse da tre absidi. Le navate laterali sono separate da semplici pilastri di pietra a sezione rettangolare con cornice di pietra sui lati più corti. La Navata centrale è coperta da una copertura a capriate lignee, riportate a vista durante il restauro avvenuto alla fine degli anni Settanta; le navate laterali sono invece coperte da volte seicentesche.



Figura 142 - Collegiata di S. Vittore - Rif. Bibliog. [69]



Figura 143 - Copertura della navata centrale della collegiata di S. Vittore - Rif. Bibliog. [69]

### **Chiesa di San Donato, Sesto Calende (Va)**

L'Abbazia di San Donato venne costruita attorno al IX secolo; l'attuale struttura è tuttavia il risultato dei rimaneggiamenti avvenuti tra l'XI (navata e abside principale) e il XIII secolo, epoca a cui risale il Narcece: struttura tipica delle basiliche cristiane dei primi secoli, di cui rappresenta infatti uno dei pochi esemplari rimasti. Si tratta di una sorta di atrio, nettamente separato dalle vere e proprie navate. L'attuale struttura dell'Abbazia consta di tre navate absidate, l'abside sud è andata distrutta nel '700 e venne sostituita da una sacrestia. All'interno troviamo subito il Narcece, posto nella parte antistante e contrassegnato da colonne romane. La struttura della copertura è lignea, mentre il soffitto, sia delle navate laterali che di quella centrale è coperto da volte a crociera.



Figura 144 - Chiesa di S. Donato - Rif. Bibliog. [70]



Figura 145 - Chiesa di S. Donato - Rif. Bibliog. [70]

### **Chiesa di S. Eugenio, Concorezzo (MB)**



Figura 146 - Chiesa di S. Eugenio - Rif. Bibliog. [71]



Figura 147 - Interno della Chiesa di S. Eugenio - Rif. Bibliog. [72]

La Chiesa di Sant'Eugenio è la più antica delle chiese presenti sul territorio comunale: si ha notizia già in un documento dell'853. Inizialmente apparteneva ai signori di Agrate; da questi passò ai monaci di Baraggia e successivamente al capitolo di Monza. Restaurata diverse volte nel corso dei secoli (l'ultima nel 1928). La primitiva costruzione era ad una sola navata rettangolare, con tre vani ed archi verso l'uscita, ai due lati, divisi tra

loro da piccole lesene in muratura con capitello. Ora l'edificio è a tre navate suddivise da 5 colonne per parte, ha terminazione absidale piana e soffitto a cassettoni. Sulla destra dell'abside si trova la sacrestia, sulla sinistra il campanile, scandito orizzontalmente da cornici. Dietro l'altare è un affresco di epoca quattrocentesca con la Madonna in trono e, ai due lati, due angeli musicanti; nella navata destra, un'altra immagine della Vergine con il Bambino, detta la Madonna dell'aiuto. Pare che nel XVI secolo un'immagine della Madonna dipinta sui muri di S. Eugenio desse segni miracolosi.



### ***Pieve di San Pancrazio Montichiari (Br)***

La Pieve di Montichiari è sicuramente fra le più antiche e interessanti della Lombardia. Edificata nel V-VI secolo, raggiunse il suo apice nel XII secolo, come testimonia la costruzione del nuovo imponente edificio romanico. La Pieve è orientata esattamente secondo l'asse est-ovest e presenta una pianta con marcato andamento longitudinale suddivisa in tre navate, ritmate da pilastri cruciformi e colonne impreziosite da capitelli paleocristiani. La maestosa facciata sorge ad un livello inferiore rispetto al piano interno della chiesa. Le murature interamente realizzate in pietra di botticino presentano episodi di reimpiego di pietre iscritte o figurate databili all'epoca romana del II o III secolo d.C. Il campanile, concluso dalla cella campanaria con cuspide ottagonale, ha sostituito nel 1693 l'originale romanico, crollato nel XIV secolo. Le navate sono separate da un'alternanza di colonne e pilastri cruciformi sostenenti archi a tutto sesto. Nella navata centrale l'altare attuale, in stile tardo barocco, venne realizzato all'inizio del secolo XVIII con marmi policromi.



Figura 148 - Pieve di S. Pancrazio - Rif. Bibliog. [73]

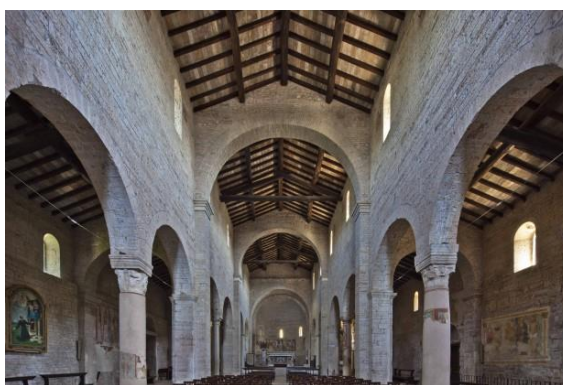


Figura 149 - Interno della Pieve di S. Pancrazio - Rif. Bibliog. [73]

### ***Basilica di San Michele, Oleggio (No)***

La chiesa di San Michele sorge all'interno del cimitero di Oleggio. Di antiche origini, viene già citata nel 973. L'edificio è una costruzione basilicale protoromanica in pietra con facciata a salienti scandita da lesene che si raccordano tra loro con archetti pensili. In facciata, che presenta portale di ingresso asimmetrico, sono visibili resti di affreschi al di sopra dell'unica finestra. L'interno è a tre navate asimmetriche orientate, divise da pilastri rettangolari e con copertura a capriate, ciascuna terminante con absidi semi-circolari. La navata centrale è di dimensioni maggiori con presbiterio sopraelevato di nove gradini, al di sotto del quale si trova la cripta a tre navate scandite in dodici campatelle e coperta da basse volte a crociera con nervature.



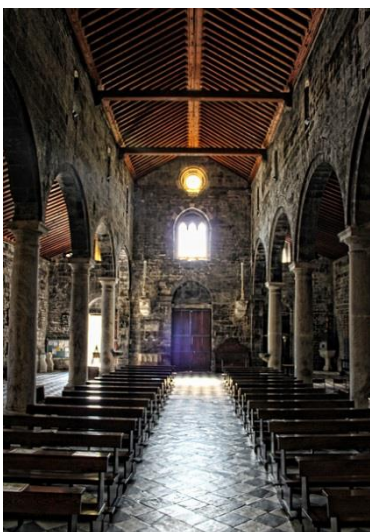
Figura 150 - Basilica di S. Michele - Rif. Bibliog. [74]



Figura 151 - Basilica di S. Michele - Rif. Bibliog. [74]



### ***Chiesa di San Lorenzo, Portovenere (Sp)***

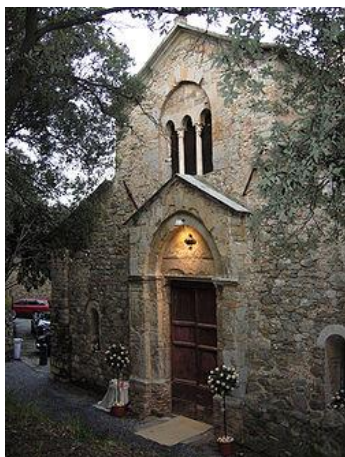


*Figura 152 - Chiesa di San Lorenzo - Rif. Bibliog. [76]*

La Chiesa di San Lorenzo, costruita tra il 1116 ed il 1130 ad opera dei maestri Antelami, si ispirava alla cattedrale genovese come richiesto dai committenti; salendo tra lo snodo di vicoletti e strette gradinate si sfocia nel sagrato a forma semi-rettagonale da cui si può accedere alla chiesa attraverso tre portali, uno per ogni navata. La navata centrale, più ampia delle altre, è sopraelevata a quelle laterali e prende luce da una serie di piccole aperture che la percorrono in lunghezza; oggi è coperta da un soffitto in legno scuro. Percorrendo la navata centrale, sorretta da due file di quattro colonne a sezione quadrata, si raggiunge il presbiterio retto da due grandi pilastri di pietra nera locale. Nel 1340 la struttura fu danneggiata da un grave incendio e da qui ebbero inizio una serie di rimaneggiamenti che si adeguarono, via via, agli stili delle epoche di rinnovamento. La facciata subì l'influenza dello stile gotico che si andava diffondendo in tutta la riviera; una riproduzione in marmo bianco del martirio di San Lorenzo venne posta sull'ingresso centrale insieme a due colonne di forma elicoidale che ne decorarono i laterali. I bombardamenti aragonesi danneggiarono gravemente il paese senza risparmiare le due chiese, questo segnò per la chiesa di San Lorenzo una nuova serie di rifacimenti questa volta in stile più classico. Il cambiamento più evidente fu quello dei pilastri in pietra nera locale con quattro di marmo nero a sezione circolare. Delle due cappelle laterali quella destra è arricchita da un altare in marmo bianco che incornicia il dipinto miracoloso della Madonna Bianca.

### ***Chiesa di San Nicolò dell'Isola, Sestri Levante (Sp)***

La costruzione della Chiesa di San Nicolò data intorno al 1151 nei pressi del promontorio sestrese. San Nicolò è l'unica tra le chiese medievali di Sestri ad apparire oggi in una fisionomia molto simile all'originale; il merito è senz'altro anche dell'ampia opera di ripristino avvenuta all'inizio del Novecento (1909-1912), che eliminò le sovrastrutture dell'architettura barocca. L'edificio fu nel suo complesso restaurato e consolidato nel 1951 dalla Soprintendenza ai Monumenti della Liguria. La chiesa si sviluppa longitudinalmente da est a ovest per circa ventitré metri con l'abside all'estremità orientale; la larghezza massima è di circa dieci metri. La torre misura circa venti metri di altezza. Recuperata dal restauro, la chiesa rivela grande semplicità di linee; le tre navate sono sostenute da colonne in rocchi di pietra e non presentano altro ornamento se non la doppia ghiera degli archi leggermente ogivali. La muratura, in parte lasciata a intonaco all'interno ma all'esterno riportata a vista, si presenta in pietra a conci irregolari. La facciata dell'edificio è movimentata da un protiro, aggiunto forse in epoca posteriore e da una trifora a colonnine marmoree e capitelli a foglie d'acanto.



*Figura 153 - Chiesa di S. Nicolò - Rif. Bibliog. [77]*



*Figura 154 - Chiesa di S. Nicolò - Rif. Bibliog. [77]*

### *Basilica di San Salvatore dei Fieschi, Cogorno (Ge)*



*Figura 155 - Basilica di S. Salvatore dei Fieschi - Rif. Bibliog. 55*

La basilica fu costruita nel 1244 ad opera di papa Innocenzo IV, discendente nobile della famiglia Fieschi. I lavori coinvolsero anche l'area antistante, in cui furono eretti un Oratorio e un nuovo palazzo comitale, poi denominato Palazzo dei Fieschi. Il complesso sorge su un colle immerso fra ulivi e vigneti, nel borgo di San Salvatore a Cogorno e fu dichiarato monumento nazionale nel 1860. La Basilica è costruita in stile di transizione romanico-gotico e presenta elementi già gotici come l'ampio rosone in facciata, la lunetta archiacuta del portale e la guglia. La facciata, a salienti, tripartita da lesene che indicano la divisione interna, è in ardesia (pietra estratta dalle vicine cave di Lavagna), e nella parte superiore alterna fasce di ardesia e di marmo bianco, mentre nei coronamenti degli spioventi è

una decorazione ad archetti pensili a sesto acuto, sovrastati da una cornice a denti di sega. Al centro della facciata spicca un ampio rosone gotico in marmo bianco a colonnine radiali, sormontate da archetti acuti. L'interno della basilica è a tre navate, scandite da sei colonne poggianti su base attica, con due tori, sormontate da capitelli in pietra. Gli archi, sia longitudinali, sia trasversali sono leggermente acuti. In corrispondenza dei sei archi longitudinali si aprono sei bifore alte m. 1,70 e con una luce di m. 0,80. Le navate terminano in tre absidi rettangolari coperti da volte a crociera (quella centrale) o a botte (absidi laterali). Il soffitto della navata centrale è a capanna, in legno di abete con travi sagomate e tavole verniciate. All'incrocio della navata centrale con le due trasversali, dove si innalza la torre nolare, c'è una volta a crociera costolonata che, sostenuta da quattro pilastri, riprende la suggestiva dicromia delle fasce bianche e nere della parte superiore dell'arco trionfale.



*Figura 156 - Basilica di S. Salvatore dei Fieschi - Rif. Bibliog. [78]*



*Figura 157 - Interno della Basilica di S. Salvatore dei Fieschi - Rif. Bibliog. [78]*

## 4.2. Applicazione della formula semplificata ai casi di studio

### 4.2.1. Foglio di calcolo

Si presentano in questo paragrafo i risultati ottenuti applicando la formula semplificata ai casi di studio descritti ai paragrafi 4.1.1, 4.1.2 ed al capitolo 2.

Lo sviluppo del procedimento applicato ai casi studio è stato effettuato tramite un foglio di calcolo appositamente elaborato ed inserito fra gli allegati (Allegato 08) che permette di effettuare l'intera metodologia di valutazione dell'accelerazione di attivazione del meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula.

La prima scheda del foglio di calcolo è uno strumento utile in fase di rilievo che permette di annotare tutti i dati degli elementi necessari all'applicazione del procedimento proposto, dalle note sui materiali ed i dettagli di realizzazione sino alle dimensioni geometriche coinvolte nell'elaborazione della metodologia per determinare il moltiplicatore dei carichi di collasso.

Per la stima dei carichi provenienti dalla copertura si può fare riferimento alla seconda scheda inserendo caratteristiche dei materiali e spessori della stratigrafia del pacchetto tecnologico di copertura. Il peso delle pareti portanti viene invece calcolato nella terza scheda inserendo il valore della densità del materiale della muratura.

Le schede successive determinano in modo automatico il valore dell'accelerazione di attivazione del meccanismo, utilizzando le informazioni inserite in precedenza. Le schede permettono inoltre l'elaborazione di grafici necessari al fine di valutare al meglio l'andamento dell'accelerazione di attivazione del meccanismo e l'incidenza dei diversi parametri nel valore del risultato finale.

### 4.2.2. Chiese con pianta ad una navata

#### *Chiesa di San Pietro, Albese con Cassano (Co)*

L'edificio, attualmente utilizzato per le funzioni religiose, presenta pareti in muratura in pietra di Saltrio, materiale tipico delle costruzioni romaniche del Lario, e copertura in coppi su lastre di pietra completate da un getto in cemento.

Si riportano nella Tabella 3 i dati geometrici rilevati tramite un distanziometro e utilizzati per il calcolo del coefficiente  $\alpha$  attraverso la formula proposta al paragrafo 3.5.

Il peso della parete in muratura  $N_0$  è calcolato come:

$\rho$ , densità del materiale pari a 2725 kg/m<sup>3</sup>

$V$ , volume della parete espresso in m<sup>3</sup>

$g$ , accelerazione di gravità, pari a 9,81 m/s<sup>2</sup>

$$N_0 = \rho \times V \times g = 365,68 \text{ kN}$$

La copertura è composta da:

- Strato di rivestimento esterno e tenuta all'acqua in coppi (60 kg/m<sup>2</sup>)
- Pannelli in ardesia ( $\rho = 2900 \text{ kg/m}^3$ )
- Getto di completamento in calcestruzzo alleggerito ( $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ )

Si stima per l'area di calcolo (Allegato 08), un valore dei carichi gravitazionali provenienti dalla copertura pari a  $N = 35,19 \text{ kN}$

La distanza  $b$  è assunta pari alla distanza tra i due vani finestra presenti nella chiusura portante.

S [m]	b [m]	h [m]	$f_m$ [MPa]	N [kN]	$N_0$ [kN]
0,416	6,303	5,217	150	35,19	365,68

Tabella 3 - Dati geometrici rilevati, Chiesa di S. Pietro

Tramite la prima espressione della formula, ossia nel caso limite in cui sia possibile trascurare il peso della parete  $N_0$  e la resistenza  $f_m$  abbia valore molto elevato si può calcolare:

$$\alpha = \frac{s/2}{h} = 3,99 \% g$$

Utilizzando la seconda espressione della formula, che include nel calcolo il peso della parete in muratura, si ottiene coefficiente migliorativo calcolabile come:

$$\frac{N + N_0}{N + N_0/2} = 1,84$$

Da cui si ricava un valore di  $\alpha$  pari a 7,33 % g

Prendendo ora in considerazione il reale valore della resistenza  $f_m$ , si ottiene l'effetto equivalente ad una riduzione dello spessore della muratura, di conseguenza il valore di  $\alpha$  è calcolabile come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 7,32 \% g$$

### ***Chiesetta della Madonna di Loreto, Molena di Albavilla (Co)***

L'edificio, attualmente utilizzato per le funzioni religiose, presenta pareti in muratura in pietra di Saltrio, materiale tipico delle costruzioni romaniche del Lario e copertura in coppi su assito ligneo.

Si riportano nella Tabella 4 i dati geometrici rilevati tramite un distanziometro e utilizzati per il calcolo del coefficiente  $\alpha$  attraverso la formula proposta al paragrafo 3.5.

Il peso della parete in muratura  $N_0$  è calcolato come:

$\rho$ , densità del materiale pari a 2725 kg/m<sup>3</sup>

$V$ , volume della parete espresso in m<sup>3</sup>

$g$ , accelerazione di gravità, pari a 9,81 m/s<sup>2</sup>

$N_0 = \rho \times V \times g = 529,57$  kN

La copertura è composta da:

- Strato di rivestimento esterno e tenuta all'acqua in coppi (60 kg/m<sup>2</sup>)
- Listelli di supporto ligneo
- Assito ligneo ( $\rho = 600$  kg/m<sup>3</sup>)

Si stima per l'area di calcolo (Allegato 08), un valore dei carichi gravitazionali provenienti dalla copertura pari a  $N = 28,79$  kN



La distanza  $b$  è assunta pari alla lunghezza della chiusura portante verticale dell'aula della chiesa, in quanto non sono presenti finestre.

S [m]	b [m]	h [m]	$f_m$ [MPa]	N [kN]	$N_0$ [kN]
0,46	8,9	4,86	150	28,79	529,57

Tabella 4 - Dati geometrici rilevati, Chiesa della Madonna di Loreto

Tramite la prima espressione della formula, ossia nel caso limite in cui sia possibile trascurare il peso della parete  $N_0$  e la resistenza  $f_m$  abbia valore molto elevato si può calcolare:

$$\alpha = \frac{s/2}{h} = 4,71 \% g$$

Utilizzando la seconda espressione della formula, che include nel calcolo il peso della parete in muratura, si ottiene coefficiente migliorativo calcolabile come:

$$\frac{N + N_0}{N + N_0/2} = 1,90$$

Da cui si ricava un valore di  $\alpha$  pari a 8,96% g

Prendendo ora in considerazione il reale valore della resistenza  $f_m$ , si ottiene l'effetto equivalente ad una riduzione dello spessore della muratura, di conseguenza il valore di  $\alpha$  è calcolabile come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 8,95 \% g$$

### **Chiesa di San Damiano, Cogliate (MB)**

L'edificio, attualmente utilizzato per le funzioni religiose, presenta pareti in muratura in laterizio e copertura in coppi su assito ligneo. Si riportano nella Tabella 5 i dati geometrici rilevati tramite un distanziometro e utilizzati per il calcolo del coefficiente  $\alpha$  attraverso la formula proposta al paragrafo 3.5.

Il peso della parete in muratura  $N_0$  è calcolato come:

$\rho$ , densità del materiale pari a 1910 kg/m<sup>3</sup>

$V$ , volume della parete espresso in m<sup>3</sup>

$g$ , accelerazione di gravità, pari a 9,81 m/s<sup>2</sup>

$N_0 = \rho \times V \times g = 405,54$  kN

La copertura è composta da:

- Strato si rivestimento esterno e tenuta all'acqua in coppi (60 kg/m<sup>2</sup>)
- Listelli di supporto ligneo
- Assito ligneo ( $\rho = 600$  kg/m<sup>3</sup>)

Si stima per l'area di calcolo (Allegato 08), un valore dei carichi gravitazionali provenienti dalla copertura pari a  $N = 15,01$  kN

La distanza  $b$  è assunta pari alla lunghezza della chiusura portante verticale dell'aula della chiesa, in quanto non sono presenti finestre.

S [m]	b [m]	h [m]	$f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	N [kN]	$N_0$ [kN]
0,44	8,63	5,7	56	15,01	405,54

Tabella 5 - Dati geometrici rilevati, Chiesetta di San Damiano

Tramite la prima espressione della formula, ossia nel caso limite in cui sia possibile trascurare il peso della parete  $N_0$  e la resistenza  $f_m$  abbia valore molto elevato, si può calcolare:

$$\alpha = \frac{s/2}{h} = 3,86 \% g$$

Utilizzando la seconda espressione della formula, che include nel calcolo il peso della parete in muratura, si ottiene coefficiente migliorativo calcolabile come:

$$\frac{N + N_0}{N + N_0/2} = 1,93$$

Da cui si ricava un valore di  $\alpha$  pari a 7,45 % g.

Prendendo ora in considerazione il reale valore della resistenza  $f_m$ , si ottiene l'effetto equivalente ad una riduzione dello spessore della muratura, di conseguenza il valore di  $\alpha$  è calcolabile come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 7,43 \% g$$

### **Chiesa di Santa Maria alla Fonte, Milano (Mi)**

L'edificio, attualmente utilizzato per le funzioni religiose, presenta pareti in muratura in laterizio e copertura in coppi su supporto in cemento armato.

Si riportano nella Tabella 6 i dati geometrici rilevati tramite un distanziometro e utilizzati per il calcolo del coefficiente  $\alpha$  attraverso la formula proposta al paragrafo 3.5.

Il peso della parete in muratura  $N_0$  è calcolato come:

$\rho$ , densità del materiale pari a 1910 kg/m<sup>3</sup>

$V$ , volume della parete espresso in m<sup>3</sup>

$g$ , accelerazione di gravità, pari a 9,81 m/s<sup>2</sup>

$$N_0 = \rho \times V \times g = 2565,08 \text{ kN}$$

La copertura è composta da:

- Strato di rivestimento esterno e tenuta all'acqua in coppi (60 kg/m<sup>2</sup>)
- Assito ligneo ( $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ )
- Getto di completamento in calcestruzzo alleggerito ( $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ )
- Listelli di supporto in legno

Si stima per l'area di calcolo (Allegato 08), un valore dei carichi gravitazionali provenienti dalla copertura pari a  $N = 35,19 \text{ kN}$

La distanza  $b$  è assunta pari alla lunghezza della chiusura portante verticale dell'aula della chiesa, in quanto non sono presenti finestre.

S [m]	b [m]	h [m]	$f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	N [kN]	$N_0$ [kN]
0,6	24,4	9,32	56	256,10	2565,08

Tabella 6 - Dati geometrici rilevati, Chiesa di S. Maria alla Fonte

Tramite la prima espressione della formula, ossia nel caso limite in cui sia possibile trascurare il peso della parete  $N_0$  e la resistenza  $f_m$  abbia valore molto elevato si può calcolare

$$\alpha = \frac{s/2}{h} = 3,21 \% g$$

Utilizzando la seconda espressione della formula, che include nel calcolo il peso della parete in muratura, si ottiene coefficiente migliorativo calcolabile come:

$$\frac{N + N_0}{N + N_0/2} = 1,83$$

Da cui si ricava un valore di  $\alpha$  pari a 5,88 % g.

Prendendo ora in considerazione il reale valore della resistenza  $f_m$ , si ottiene l'effetto equivalente ad una riduzione dello spessore della muratura, di conseguenza il valore di  $\alpha$  è calcolabile come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 5,86 \% g$$

#### **Abbazia di Piona, Chiesa di San Nicola, Colico (Lc)**

L'edificio, attualmente utilizzato per le funzioni religiose, presenta pareti in muratura in marmo di Musso, pietra calcarea tipica del luogo, e copertura in pietra.

Si riportano nella Tabella 7 i dati geometrici rilevati tramite un distanziometro e utilizzati per il calcolo del coefficiente  $\alpha$  attraverso la formula proposta al paragrafo 3.5.

Il peso della parete in muratura  $N_0$  è calcolato come:

$\rho$ , densità del materiale pari a 2497 kg/m<sup>3</sup>

V, volume della parete espresso in m<sup>3</sup>

g, accelerazione di gravità, pari a 9,81 m/s<sup>2</sup>

$N_0 = \rho \times V \times g = 2427,96$  kN

La copertura è composta da:

- Strato di rivestimento esterno e tenuta all'acqua in ardesia (2900 kg/m<sup>2</sup>)
- Assito ligneo su copertura ( $\rho = 600$  kg/m<sup>3</sup>)
- Listelli di supporto in legno
- Assito ligneo di copertura soffitto ( $\rho = 600$  kg/m<sup>3</sup>)

Si stima per l'area di calcolo (Allegato 08), un valore dei carichi gravitazionali provenienti dalla copertura pari a  $N = 87,55$  kN

La distanza  $b$  è assunta pari alla distanza tra la facciata ed il primo dei due vani finestra presenti nella chiusura portante. Le finestre sono presenti soltanto su una delle chiusure.

S [m]	b [m]	h [m]	$f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	N [kN]	$N_0$ [kN]
0,77	13,55	9,5	105	82,78	2427,96

Tabella 7 - Dati geometrici rilevati, Chiesa di S. Nicola

Tramite la prima espressione della formula, ossia nel caso limite in cui sia possibile trascurare il peso della parete  $N_0$  e la resistenza  $f_m$  abbia valore molto elevato, si può calcolare:

$$\alpha = \frac{s/2}{h} = 4,05 \% g$$

Utilizzando la seconda espressione della formula, che include nel calcolo il peso della parete in muratura, si ottiene coefficiente migliorativo calcolabile come:

$$\frac{N + N_0}{N + N_0/2} = 1,93$$

Da cui si ricava un valore di  $\alpha$  pari a 7,82 % g.

Prendendo ora in considerazione il reale valore della resistenza  $f_m$ , si ottiene l'effetto equivalente ad una riduzione dello spessore della muratura, di conseguenza il valore di  $\alpha$  è calcolabile come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 7,79 \% g$$

### **Chiesa di San Rocco, Somma Lombardo (Va)**

L'edificio, attualmente utilizzato per le funzioni religiose, presenta pareti in muratura in pietra di Viggiù mista a laterizio e copertura in coppi su assito ligneo.

Si riportano nella Tabella 8 i dati geometrici rilevati tramite un distanziometro e utilizzati per il calcolo del coefficiente  $\alpha$  attraverso la formula proposta al paragrafo 3.5.

Il peso della parete in muratura  $N_0$  è calcolato come:

$\rho$ , densità del materiale pari a 2650 kg/m<sup>3</sup>

V, volume della parete espresso in m<sup>3</sup>

g, accelerazione di gravità, pari a 9,81 m/s<sup>2</sup>

$$N_0 = \rho \times V \times g = 2789,43 \text{ kN}$$

La copertura è composta da:

- Strato di rivestimento esterno e tenuta all'acqua in coppi (60 kg/m<sup>2</sup>)
- Listelli di supporto ligneo
- Assito ligneo ( $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ )

Si stima per l'area di calcolo (Allegato 08), un valore dei carichi gravitazionali provenienti dalla copertura pari a  $N = 86,37 \text{ kN}$



La distanza  $b$  è assunta pari alla lunghezza della chiusura portante verticale dell'aula della chiesa, in quanto non sono presenti finestre.

S [m]	b [m]	h [m]	$f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	N [kN]	$N_0$ [kN]
0,89	11,6	10,37	56	86,37	2789,43

Tabella 8 - Dati geometrici rilevati, Chiesa di S. Rocco

Tramite la prima espressione della formula, ossia nel caso limite in cui sia possibile trascurare il peso della parete  $N_0$  e la resistenza  $f_m$  abbia valore molto elevato si può calcolare:

$$\alpha = \frac{s/2}{h} = 4,30 \% g$$

Utilizzando la seconda espressione della formula, che include nel calcolo il peso della parete in muratura, si ottiene coefficiente migliorativo calcolabile come:

$$\frac{N + N_0}{N + N_0/2} = 1,94$$

Da cui si ricava un valore di  $\alpha$  pari a 8,35 % g.

Prendendo ora in considerazione il reale valore della resistenza  $f_m$ , si ottiene l'effetto equivalente ad una riduzione dello spessore della muratura, di conseguenza il valore di  $\alpha$  è calcolabile come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 8,32 \% g$$

### **Chiesa di Santa Maria in Binda, Nosate (Mi)**

L'edificio, attualmente utilizzato per le funzioni religiose, presenta pareti in muratura in pietra del Ticino (gneiss) mista a laterizio e copertura in coppi su assito ligneo.

Si riportano nella Tabella 9 i dati geometrici rilevati tramite un distanziometro e utilizzati per il calcolo del coefficiente  $\alpha$  attraverso la formula proposta al paragrafo 3.5.

Il peso della parete in muratura  $N_0$  è calcolato come:

$\rho$ , densità del materiale pari a 2620 kg/m<sup>3</sup>

$V$ , volume della parete espresso in m<sup>3</sup>

$g$ , accelerazione di gravità, pari a 9,81 m/s<sup>2</sup>

$N_0 = \rho \times V \times g = 530,25$  kN

La copertura è composta da:

- Strato di rivestimento esterno e tenuta all'acqua in coppi (60 kg/m<sup>2</sup>)
- Listelli di supporto ligneo
- Assito ligneo ( $\rho = 600$  kg/m<sup>3</sup>)

Si stima per l'area di calcolo (Allegato 08), un valore dei carichi gravitazionali provenienti dalla copertura pari a  $N = 33,52$  kN

La distanza  $b$  è assunta pari alla distanza tra l'unico vano finestra presente nella chiusura portante verticale dell'aula della chiesa e la zona absidale.

S [m]	b [m]	h [m]	$f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	N [kN]	$N_0$ [kN]
0,40	10,59	4,82	173	33,52	530,25

Tabella 9 - Dati geometrici rilevati, Chiesa di S. Maria in Binda

Tramite la prima espressione della formula, ossia nel caso limite in cui sia possibile trascurare il peso della parete  $N_0$  e la resistenza  $f_m$  abbia valore molto elevato si può calcolare:

$$\alpha = \frac{s/2}{h} = 4,20 \% g$$

Utilizzando la seconda espressione della formula, che include nel calcolo il peso della parete in muratura, si ottiene coefficiente migliorativo calcolabile come:

$$\frac{N + N_0}{N + N_0/2} = 1,89$$

Da cui si ricava un valore di  $\alpha$  pari a 7,92 % g.

Prendendo ora in considerazione il reale valore della resistenza  $f_m$ , si ottiene l'effetto equivalente ad una riduzione dello spessore della muratura, di conseguenza il valore di  $\alpha$  è calcolabile come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 7,92 \% g$$

### **Chiesa di Santo Stefano, Varese (Va)**

L'edificio, attualmente utilizzato per le funzioni religiose, presenta pareti in pietra locale (pietra di Viggiù) e copertura in coppi su assito ligneo.

Si riportano nella Tabella 10 i dati geometrici rilevati tramite un distanziometro e utilizzati per il calcolo del coefficiente  $\alpha$  attraverso la formula proposta al paragrafo 3.5.

Il peso della parete in muratura  $N_0$  è calcolato come:

$\rho$ , densità del materiale pari a 2650 kg/m<sup>3</sup>

$V$ , volume della parete espresso in m<sup>3</sup>

$g$ , accelerazione di gravità, pari a 9,81 m/s<sup>2</sup>

$N_0 = \rho \times V \times g = 452,76$  kN

La copertura è composta da:

- Strato di rivestimento esterno e tenuta all'acqua in coppi (60 kg/m<sup>2</sup>)
- Pannelli in ardesia ( $\rho = 2900$  kg/m<sup>3</sup>)
- Getto di completamento in calcestruzzo alleggerito ( $\rho = 600$  kg/m<sup>3</sup>)

Si stima per l'area di calcolo (Allegato 08), un valore dei carichi gravitazionali provenienti dalla copertura pari a  $N = 35,19$  kN

La distanza  $b$  è assunta pari alla distanza tra l'unico vano finestra presente nella chiusura portante verticale dell'aula della chiesa e la zona absidale.

S [m]	b [m]	h [m]	$f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	N [kN]	$N_0$ [kN]
0,56	4,34	7,166	115,6	16,63	452,76

Tabella 10 - Dati geometrici rilevati, Chiesa di S. Stefano

Tramite la prima espressione della formula, ossia nel caso limite in cui sia possibile trascurare il peso della parete  $N_0$  e la resistenza  $f_m$  abbia valore molto elevato, si può calcolare

$$\alpha = \frac{s/2}{h} = 3,91 \% g$$

Utilizzando la seconda espressione della formula, che include nel calcolo il peso della parete in muratura, si ottiene coefficiente migliorativo calcolabile come:

$$\frac{N + N_0}{N + N_0/2} = 1,93$$

Da cui si ricava un valore di  $\alpha$  pari a 7,55 % g.

Prendendo ora in considerazione il reale valore della resistenza  $f_m$ , si ottiene l'effetto equivalente ad una riduzione dello spessore della muratura, di conseguenza il valore di  $\alpha$  è calcolabile come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 7,53 \% g$$

#### 4.2.3. Chiese con Pianta a tre Navate

##### *Basilica di San Vittore, Arsago al Seprio (Va)*

L'edificio, attualmente utilizzato per le funzioni religiose, presenta pareti in muratura in pietra di Viggiù, materiale tipico delle costruzioni romaniche del Varesotto, e copertura in coppi su lastre di pietra completate da un getto in cemento. Si riportano nella Tabella 11 i dati geometrici rilevati tramite un distanziometro e utilizzati per il calcolo del coefficiente  $\alpha$  attraverso la formula proposta al paragrafo 3.5.

Il peso della parete in muratura  $N_0$  è calcolato come:

$\rho$ , densità del materiale pari a 2650 kg/m<sup>3</sup>

$V$ , volume della parete espresso in m<sup>3</sup>

$g$ , accelerazione di gravità, pari a 9,81 m/s<sup>2</sup>

$$N_0 = \rho \times V \times g = 168,20 \text{ kN}$$

La copertura è composta da:

- Strato si rivestimento esterno e tenuta all'acqua in coppi (60 kg/m<sup>2</sup>)
- Getto di completamento in calcestruzzo alleggerito ( $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ )
- Assito in legno ( $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ )
- Listelli in legno

Si stima per l'area di calcolo (Allegato 08), un valore dei carichi gravitazionali provenienti dalla copertura pari a  $N = 23,67 \text{ kN}$

La distanza  $b$  è assunta pari alla distanza tra due vani finestra presenti nella chiusura portante.

S [m]	b [m]	h [m]	$f_m$ [MPa]	N [kN]	$N_0$ [kN]
0,73	3,67	2,4	115,6	23,67	168,20

Tabella 11 - Dati geometrici rilevati, Basilica di S. Vittore

Tramite la prima espressione della formula, ossia nel caso limite in cui sia possibile trascurare il peso della parete  $N_0$  e la resistenza  $f_m$  abbia valore molto elevato, si può calcolare

$$\alpha = \frac{s/2}{h} = 15,29\% g$$

Utilizzando la seconda espressione della formula, che include nel calcolo il peso della parete in muratura, si ottiene coefficiente migliorativo calcolabile come:

$$\frac{N + N_0}{N + N_0/2} = 1,78$$

Da cui si ricava un valore di  $\alpha$  pari a 27,22 % g

Prendendo ora in considerazione il reale valore della resistenza  $f_m$ , si ottiene l'effetto equivalente ad una riduzione dello spessore della muratura, di conseguenza il valore di  $\alpha$  è calcolabile come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 27,20\% g$$

### **Collegiata di San Vittore, Brezzo di Bedero (Va)**

L'edificio, attualmente utilizzato per le funzioni religiose, presenta pareti in muratura in pietra di Viggiù, materiale tipico delle costruzioni romaniche del Varesotto, e copertura in coppi su beole di pietra.

Si riportano nella Tabella 12 i dati geometrici rilevati tramite un distanziometro e utilizzati per il calcolo del coefficiente  $\alpha$  attraverso la formula proposta al paragrafo 3.5.

Il peso della parete in muratura  $N_0$  è calcolato come:

$\rho$ , densità del materiale pari a 2650 kg/m<sup>3</sup>

V, volume della parete espresso in m<sup>3</sup>

g, accelerazione di gravità, pari a 9,81 m/s<sup>2</sup>

$$N_0 = \rho \times V \times g = 192,32 \text{ kN}$$

La copertura è composta da:

- Strato si rivestimento esterno e tenuta all'acqua in beole (2500 kg/m<sup>2</sup>)
- Assito in legno ( $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ )
- Listelli in legno

Si stima per l'area di calcolo, un valore dei carichi gravitazionali provenienti dalla copertura pari a  $N = 20,93 \text{ kN}$



La distanza  $b$  è assunta pari alla distanza tra due vani finestra presenti nella chiusura portante.

S [m]	b [m]	h [m]	$f_m$ [MPa]	N [kN]	$N_0$ [kN]
0,813	3,32	2,75	115,6	20,93	192,32

Tabella 12 - Dati geometrici rilevati, Collegiata di S. Vittore

Tramite la prima espressione della formula, ossia nel caso limite in cui sia possibile trascurare il peso della parete  $N_0$  e la resistenza  $f_m$  abbia valore molto elevato, si può calcolare

$$\alpha = \frac{s/2}{h} = 14,81\% g$$

Utilizzando la seconda espressione della formula, che include nel calcolo il peso della parete in muratura, si ottiene coefficiente migliorativo calcolabile come:

$$\frac{N + N_0}{N + N_0/2} = 1,82$$

Da cui si ricava un valore di  $\alpha$  pari a 26,97 % g

Prendendo ora in considerazione il reale valore della resistenza  $f_m$ , si ottiene l'effetto equivalente ad una riduzione dello spessore della muratura, di conseguenza il valore di  $\alpha$  è calcolabile come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 26,95 \% g$$

### **Chiesa di San Donato, Sesto Calende (Va)**

L'edificio, attualmente utilizzato per le funzioni religiose, presenta pareti in muratura in pietra del Ticino (gneiss), e copertura in coppi.

Si riportano nella Tabella 13 i dati geometrici rilevati tramite un distanziometro e utilizzati per il calcolo del coefficiente  $\alpha$  attraverso la formula proposta al paragrafo 3.5.

Il peso della parete in muratura  $N_0$  è calcolato come:

$\rho$ , densità del materiale pari a 2620 kg/m<sup>3</sup>

V, volume della parete espresso in m<sup>3</sup>

g, accelerazione di gravità, pari a 9,81 m/s<sup>2</sup>

$N_0 = \rho \times V \times g = 128,83$  kN

La copertura è composta da:

- Strato si rivestimento esterno e tenuta all'acqua in coppi (60 kg/m<sup>2</sup>)
- Assito in legno ( $\rho = 600$  kg/m<sup>3</sup>)
- Listelli in legno

Si stima per l'area di calcolo (Allegato 08), un valore dei carichi gravitazionali provenienti dalla copertura pari a  $N = 12,41$  kN

La distanza  $b$  è assunta pari alla distanza tra due vani finestra presenti nella chiusura portante.

S [m]	b [m]	h [m]	$f_m$ [MPa]	N [kN]	$N_0$ [kN]
0,49	3,19	3.20	173	12.41	128,83

Tabella 13 - Dati geometrici rilevati, Chiesa di S. Donato

Tramite la prima espressione della formula, ossia nel caso limite in cui sia possibile trascurare il peso della parete  $N_0$  e la resistenza  $f_m$  abbia valore molto elevato, si può calcolare:

$$\alpha = \frac{s/2}{h} = 7,67\% g$$

Utilizzando la seconda espressione della formula, che include nel calcolo il peso della parete in muratura, si ottiene coefficiente migliorativo calcolabile come:

$$\frac{N + N_0}{N + N_0/2} = 1,84$$

Da cui si ricava un valore di  $\alpha$  pari a 14,10 % g

Prendendo ora in considerazione il reale valore della resistenza  $f_m$ , si ottiene l'effetto equivalente ad una riduzione dello spessore della muratura, di conseguenza il valore di  $\alpha$  è calcolabile come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 14,09\% g$$

### **Chiesa di S. Eugenio, Concorezzo (MB)**

L'edificio, attualmente utilizzato per le funzioni religiose, presenta pareti in muratura in laterizio, e copertura in coppi.

Si riportano nella Tabella 14 i dati geometrici rilevati tramite un distanziometro e utilizzati per il calcolo del coefficiente  $\alpha$  attraverso la formula proposta al paragrafo 3.5.

Il peso della parete in muratura  $N_0$  è calcolato come:

$\rho$ , densità del materiale pari a 1910 kg/m<sup>3</sup>

V, volume della parete espresso in m<sup>3</sup>

g, accelerazione di gravità, pari a 9,81 m/s<sup>2</sup>

$N_0 = \rho \times V \times g = 701,70$  kN

La copertura è composta da:

- Strato si rivestimento esterno e tenuta all'acqua in coppi (60 kg/m<sup>2</sup>)
- Assito in legno ( $\rho = 600$  kg/m<sup>3</sup>)
- Listelli in legno

Si stima per l'area di calcolo (Allegato 08), un valore dei carichi gravitazionali provenienti dalla copertura pari a  $N = 86,68$  kN

La distanza  $b$  è assunta pari alla lunghezza della chiusura portante poiché non sono presenti vani finestra.

S [m]	b [m]	h [m]	$f_m$ [MPa]	N [kN]	$N_0$ [kN]
0,56	20,35	3.30	56	86,68	701,70

Tabella 14 - Dati geometrici rilevati, Chiesa di S. Eugenio

Tramite la prima espressione della formula, ossia nel caso limite in cui sia possibile trascurare il peso della parete  $N_0$  e la resistenza  $f_m$  abbia valore molto elevato, si può calcolare:

$$\alpha = \frac{s/2}{h} = 8,46 \% g$$

Utilizzando la seconda espressione della formula, che include nel calcolo il peso della parete in muratura, si ottiene coefficiente migliorativo calcolabile come:

$$\frac{N + N_0}{N + N_0/2} = 1,80$$

Da cui si ricava un valore di  $\alpha$  pari a 15,24 % g

Prendendo ora in considerazione il reale valore della resistenza  $f_m$ , si ottiene l'effetto equivalente ad una riduzione dello spessore della muratura, di conseguenza il valore di  $\alpha$  è calcolabile come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 15,22 \% g$$

### ***Basilica di San Michele, Oleggio (No)***

L'edificio, attualmente utilizzato per le funzioni religiose, presenta pareti in muratura in pietra locale, e copertura in coppi.

Si riportano nella Tabella 15 i dati geometrici rilevati tramite un distanziometro e utilizzati per il calcolo del coefficiente  $\alpha$  attraverso la formula proposta al paragrafo 3.5.

Il peso della parete in muratura  $N_0$  è calcolato come:

$\rho$ , densità del materiale pari a 2620 kg/m<sup>3</sup>

V, volume della parete espresso in m<sup>3</sup>

g, accelerazione di gravità, pari a 9,81 m/s<sup>2</sup>

$N_0 = \rho \times V \times g = 72,01$  kN

La copertura è composta da:

- Strato si rivestimento esterno e tenuta all'acqua in coppi (60 kg/m<sup>2</sup>)
- Assito in legno ( $\rho = 600$  kg/m<sup>3</sup>)
- Listelli in legno

Si stima per l'area di calcolo (Allegato 08), un valore dei carichi gravitazionali provenienti dalla copertura pari a  $N = 13,93$  kN

La distanza  $b$  è assunta pari alla distanza tra due vani finestra presenti nella chiusura portante.

S [m]	b [m]	h [m]	$f_m$ [MPa]	N [kN]	$N_0$ [kN]
0,73	2,32	1,65	173	13,93	72,01

Tabella 15 - Dati geometrici rilevati, Basilica di S. Michele

Tramite la prima espressione della formula, ossia nel caso limite in cui sia possibile trascurare il peso della parete  $N_0$  e la resistenza  $f_m$  abbia valore molto elevato, si può calcolare:

$$\alpha = \frac{s/2}{h} = 22,15 \% g$$

Utilizzando la seconda espressione della formula, che include nel calcolo il peso della parete in muratura, si ottiene coefficiente migliorativo calcolabile come:

$$\frac{N + N_0}{N + N_0/2} = 1,72$$

Da cui si ricava un valore di  $\alpha$  pari a 38,12 % g

Prendendo ora in considerazione il reale valore della resistenza  $f_m$ , si ottiene l'effetto equivalente ad una riduzione dello spessore della muratura, di conseguenza il valore di  $\alpha$  è calcolabile come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 38,11 \% g$$

### **Chiesa di San Lorenzo, Portovenere (Sp)**

L'edificio, attualmente utilizzato per le funzioni religiose, presenta pareti in muratura in marmo portoro (pietra locale estratta nelle cave delle isole antistanti il borgo), e copertura in beole di ardesia su assito ligneo.

Si riportano nella Tabella 16 i dati geometrici utilizzati per il calcolo del coefficiente  $\alpha$  attraverso la formula proposta al paragrafo 3.5.

Il peso della parete in muratura  $N_0$  è calcolato come:

$\rho$ , densità del materiale pari a 2710 kg/m<sup>3</sup>

V, volume della parete espresso in m<sup>3</sup>

g, accelerazione di gravità, pari a 9,81 m/s<sup>2</sup>

$$N_0 = \rho \times V \times g = 363,24 \text{ kN}$$

La copertura è composta da:

- Strato si rivestimento esterno e tenuta all'acqua in beole di ardesia (2900 kg/m<sup>2</sup>)
- Assito in legno ( $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ )
- Listelli in legno

Si stima per l'area di calcolo (Allegato 08), un valore dei carichi gravitazionali provenienti dalla copertura pari a  $N = 54,13 \text{ kN}$



La distanza  $b$  è assunta pari alla distanza tra due vani finestra.

S [m]	b [m]	h [m]	$f_m$ [MPa]	N [kN]	$N_0$ [kN]
0,68	5,98	3,36	186,7	54,13	363,24

Tabella 16 - Dati geometrici, Chiesa di San Lorenzo

Tramite la prima espressione della formula, ossia nel caso limite in cui sia possibile trascurare il peso della parete  $N_0$  e la resistenza  $f_m$  abbia valore molto elevato, si può calcolare:

$$\alpha = \frac{s/2}{h} = 10,12 \% g$$

Utilizzando la seconda espressione della formula, che include nel calcolo il peso della parete in muratura, si ottiene coefficiente migliorativo calcolabile come:

$$\frac{N + N_0}{N + N_0/2} = 1,77$$

Da cui si ricava un valore di  $\alpha$  pari a 17,91 % g

Prendendo ora in considerazione il reale valore della resistenza  $f_m$ , si ottiene l'effetto equivalente ad una riduzione dello spessore della muratura, di conseguenza il valore di  $\alpha$  è calcolabile come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 17,90 \% g$$

### **Chiesa di San Nicolò dell'Isola, Sestri Levante (Sp)**

L'edificio, attualmente utilizzato per le funzioni religiose, presenta pareti in muratura in pietra calcarea locale, e copertura in beole.

Si riportano nella Tabella 17 i dati geometrici utilizzati per il calcolo del coefficiente  $\alpha$  attraverso la formula proposta al paragrafo 3.5.

Il peso della parete in muratura  $N_0$  è calcolato come:

$\rho$ , densità del materiale pari a 2900 kg/m<sup>3</sup>

V, volume della parete espresso in m<sup>3</sup>

g, accelerazione di gravità, pari a 9,81 m/s<sup>2</sup>

$N_0 = \rho \times V \times g = 977,43$  kN

La copertura è composta da:

- Strato si rivestimento esterno e tenuta all'acqua in beole
- Assito in legno ( $\rho = 600$  kg/m<sup>3</sup>)
- Listelli in legno

Si stima per l'area di calcolo (Allegato 08), un valore dei carichi gravitazionali provenienti dalla copertura pari a  $N = 72,22$  kN

La distanza  $b$  è assunta pari alla lunghezza della chiusura portante.

S [m]	b [m]	h [m]	$f_m$ [MPa]	N [kN]	$N_0$ [kN]
0,75	20,36	2,25	156	72,22	977,43

Tabella 17 - dati Geometrici - Chiesa di S. Nicolò

Tramite la prima espressione della formula, ossia nel caso limite in cui sia possibile trascurare il peso della parete  $N_0$  e la resistenza  $f_m$  abbia valore molto elevato, si può calcolare:

$$\alpha = \frac{s/2}{h} = 16,67 \% g$$

Utilizzando la seconda espressione della formula, che include nel calcolo il peso della parete in muratura, si ottiene coefficiente migliorativo calcolabile come:

$$\frac{N + N_0}{N + N_0/2} = 1,87$$

Da cui si ricava un valore di  $\alpha$  pari a 31,19 % g

Prendendo ora in considerazione il reale valore della resistenza  $f_m$ , si ottiene l'effetto equivalente ad una riduzione dello spessore della muratura, di conseguenza il valore di  $\alpha$  è calcolabile come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 31,17 \% g$$

### **Chiesa di San Salvatore dei Fieschi, Cogorno (Ge)**

L'edificio, attualmente utilizzato per le funzioni religiose, presenta pareti in muratura in ardesia, e copertura in beole.

Si riportano nella Tabella 18 i dati geometrici utilizzati per il calcolo del coefficiente  $\alpha$  attraverso la formula proposta al paragrafo 3.5.

Il peso della parete in muratura  $N_0$  è calcolato come:

$\rho$ , densità del materiale pari a 2900 kg/m<sup>3</sup>

V, volume della parete espresso in m<sup>3</sup>

g, accelerazione di gravità, pari a 9,81 m/s<sup>2</sup>

$N_0 = \rho \times V \times g = 163,69$  kN

La copertura è composta da:

- Strato si rivestimento esterno e tenuta all'acqua in beole di ardesia
- Assito in legno ( $\rho = 600$  kg/m<sup>3</sup>)
- Listelli in legno

Si stima per l'area di calcolo (Allegato 08), un valore dei carichi gravitazionali provenienti dalla copertura pari a  $N = 72,22$  kN

La distanza  $b$  è assunta pari alla distanza tra due vani finestra.

S [m]	b [m]	h [m]	$f_m$ [MPa]	N [kN]	$N_0$ [kN]
0,63	3,54	2,58	156	72,22	163,69

Tabella 18 - Dati geometrici, basilica di S. Salvatore

Tramite la prima espressione della formula, ossia nel caso limite in cui sia possibile trascurare il peso della parete  $N_0$  e la resistenza  $f_m$  abbia valore molto elevato, si può calcolare:

$$\alpha = \frac{s/2}{h} = 12,21 \% g$$

Utilizzando la seconda espressione della formula, che include nel calcolo il peso della parete in muratura, si ottiene coefficiente migliorativo calcolabile come:

$$\frac{N + N_0}{N + N_0/2} = 1,81$$

Da cui si ricava un valore di  $\alpha$  pari a 22,09 % g

Prendendo ora in considerazione il reale valore della resistenza  $f_m$ , si ottiene l'effetto equivalente ad una riduzione dello spessore della muratura, di conseguenza il valore di  $\alpha$  è calcolabile come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 22,08 \% g$$

#### 4.2.4. Chiese in cui, durante il terremoto dell'Emilia, il meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula è stato attivato

Si prendono ora in considerazione le chiese presentate al capitolo 2 ed evidenziate al paragrafo 3.4, per le quali si è attivato il meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula durante il terremoto dell'Emilia del maggio 2012. Durante l'evento sismico le accelerazioni di picco al suolo, registrate dall'accelerometro di Mirandola durante le scosse del 20 maggio e del 29 maggio sono state rispettivamente di  $0,26 \div 31 g$  e di  $0,29 g$ , valori che in base alla carte vigenti di pericolosità sismica renderebbero stimabile in circa 2500 anni il tempo di ritorno di ciascun evento nella medesima area.

##### **Chiesa di San Giovanni, Concordia sulla Secchia, (Mo)**

L'edificio, introdotto al paragrafo 2.1.1, presenta pianta a 3 navate. Si riportano nella Tabella 19 i dati geometrici utilizzati per il calcolo del coefficiente  $\alpha$  attraverso la formula proposta al paragrafo 3.5.

Il peso della parete in muratura  $N_0$  è calcolato come:

$\rho$ , densità del materiale pari a  $1910 \text{ kg/m}^3$

$V$ , volume della parete espresso in  $\text{m}^3$

$g$ , accelerazione di gravità, pari a  $9,81 \text{ m/s}^2$

$N_0 = \rho \times V \times g = 90.44 \text{ kN}$

La copertura è composta da:

- Strato si rivestimento esterno e tenuta all'acqua in coppi
- Assito in legno ( $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ )
- Listelli in legno

Si stima per l'area di calcolo (Allegato 08), un valore dei carichi gravitazionali provenienti dalla copertura pari a  $N = 26,13 \text{ kN}$

La distanza  $b$  è assunta pari alla distanza tra due vani finestra.

S [m]	b [m]	h [m]	$f_m$ [MPa]	N [kN]	$N_0$ [kN]
0,47	4,02	2,55	56	26,13	90,44

Tabella 19 - Dati geometrici, Chiesa di S. Giovanni

Tramite la prima espressione della formula, ossia nel caso limite in cui sia possibile trascurare il peso della parete  $N_0$  e la resistenza  $f_m$  abbia valore molto elevato, si può calcolare

$$\alpha = \frac{s/2}{h} = 9,20 \% g$$

Utilizzando la seconda espressione della formula, che include nel calcolo il peso della parete in muratura, si ottiene coefficiente migliorativo calcolabile come:

$$\frac{N + N_0}{N + N_0/2} = 1,63$$

Da cui si ricava un valore di  $\alpha$  pari a 15,04 % g

Prendendo ora in considerazione il reale valore della resistenza  $f_m$ , si ottiene l'effetto equivalente ad una riduzione dello spessore della muratura, di conseguenza il valore di  $\alpha$  è calcolabile come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 15,02 \% g$$

### **Duomo di Santa Maria Maggiore, Mirandola (Mo)**

L'edificio, introdotto al paragrafo 2.1.2, presenta pianta a 3 navate. Si riportano nella Tabella 20 i dati geometrici utilizzati per il calcolo del coefficiente  $\alpha$  attraverso la formula proposta al paragrafo 3.5.

Il peso della parete in muratura  $N_0$  è calcolato come:

$\rho$ , densità del materiale pari a  $1910 \text{ kg/m}^3$

$V$ , volume della parete espresso in  $\text{m}^3$

$g$ , accelerazione di gravità, pari a  $9,81 \text{ m/s}^2$

$N_0 = \rho \times V \times g = 601,40 \text{ kN}$



La copertura è composta da:

- Strato di rivestimento esterno e tenuta all'acqua in coppi
- Assito in legno ( $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ )
- Listelli in legno

Si stima per l'area di calcolo (Allegato 08), un valore dei carichi gravitazionali provenienti dalla copertura pari a  $N = 63,28 \text{ kN}$

La distanza  $b$  è assunta pari alla distanza tra due vani finestra.

S [m]	b [m]	h [m]	$f_m$ [MPa]	N [kN]	$N_0$ [kN]
0,92	8,90	3,92	56	63,28	601,40

Tabella 20 - Dati geometrici, Duomo di S. Maria Maggiore

Tramite la prima espressione della formula, ossia nel caso limite in cui sia possibile trascurare il peso della parete  $N_0$  e la resistenza  $f_m$  abbia valore molto elevato, si può calcolare:

$$\alpha = \frac{s/2}{h} = 11,73 \% g$$

Utilizzando la seconda espressione della formula, che include nel calcolo il peso della parete in muratura, si ottiene coefficiente migliorativo calcolabile come:

$$\frac{N + N_0}{N + N_0/2} = 1,83$$

Da cui si ricava un valore di  $\alpha$  pari a 21,43 % g

Prendendo ora in considerazione il reale valore della resistenza  $f_m$ , si ottiene l'effetto equivalente ad una riduzione dello spessore della muratura, di conseguenza il valore di  $\alpha$  è calcolabile come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 21,39 \% g$$

### **Chiesa di San Francesco, Mirandola (Mo)**

L'edificio, introdotto al paragrafo 2.1.2, presenta pianta a 3 navate. Si riportano nella Tabella 21 i dati geometrici utilizzati per il calcolo del coefficiente  $\alpha$  attraverso la formula proposta al paragrafo 3.5.

Il peso della parete in muratura  $N_0$  è calcolato come:

$\rho$ , densità del materiale pari a  $1910 \text{ kg/m}^3$

$V$ , volume della parete espresso in  $\text{m}^3$

$g$ , accelerazione di gravità, pari a  $9,81 \text{ m/s}^2$

$N_0 = \rho \times V \times g = 682,32 \text{ Kn}$

La copertura è composta da:

- Strato di rivestimento esterno e tenuta all'acqua in coppi
- Assito in legno ( $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ )
- Listelli in legno

Si stima per l'area di calcolo (Allegato 08), un valore dei carichi gravitazionali provenienti dalla copertura pari a  $N = 80,21 \text{ kN}$

La distanza  $b$  è assunta pari alla distanza tra due vani finestra.

S [m]	b [m]	h [m]	$f_m$ [MPa]	N [kN]	$N_0$ [kN]
0,89	10,60	3,86	56	80,21	682,32

Tabella 21 - Dati geometrici, Chiesa di S. Francesco

Tramite la prima espressione della formula, ossia nel caso limite in cui sia possibile trascurare il peso della parete  $N_0$  e la resistenza  $f_m$  abbia valore molto elevato, si può calcolare:

$$\alpha = \frac{s/2}{h} = 11,53 \% g$$

Utilizzando la seconda espressione della formula, che include nel calcolo il peso della parete in muratura, si ottiene coefficiente migliorativo calcolabile come:

$$\frac{N + N_0}{N + N_0/2} = 1,81$$

Da cui si ricava un valore di  $\alpha$  pari a  $20,86 \% g$

Prendendo ora in considerazione il reale valore della resistenza  $f_m$ , si ottiene l'effetto equivalente ad una riduzione dello spessore della muratura, di conseguenza il valore di  $\alpha$  è calcolabile come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 20,82 \% g$$

### **Chiesa di Santa Caterina, Novi di Modena (Mo)**

L'edificio, introdotto al paragrafo 2.1.3, presenta pianta a 3 navate. Si riportano nella Tabella 22 i dati geometrici utilizzati per il calcolo del coefficiente  $\alpha$  attraverso la formula proposta al paragrafo 3.5.

Il peso della parete in muratura  $N_0$  è calcolato come:

$\rho$ , densità del materiale pari a  $1910 \text{ kg/m}^3$

$V$ , volume della parete espresso in  $\text{m}^3$

$g$ , accelerazione di gravità, pari a  $9,81 \text{ m/s}^2$

$N_0 = \rho \times V \times g = 743,90 \text{ kN}$

La copertura è composta da:

- Strato si rivestimento esterno e tenuta all'acqua in coppi
- Assito in legno ( $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ )
- Listelli in legno

Si stima per l'area di calcolo (Allegato 08), un valore dei carichi gravitazionali provenienti dalla copertura pari a  $N = 177,96 \text{ kN}$

La distanza  $b$  è assunta pari alla lunghezza delle pareti longitudinali, in quanto non sono presenti vani finestra.

S [m]	b [m]	h [m]	$f_m$ [MPa]	N [kN]	$N_0$ [kN]
0,60	25,45	2,60	56	177,96	743,90

Tabella 22 - Dati geometrici, Chiesa di Santa Caterina

Tramite la prima espressione della formula, ossia nel caso limite in cui sia possibile trascurare il peso della parete  $N_0$  e la resistenza  $f_m$  abbia valore molto elevato, si può calcolare:

$$\alpha = \frac{s/2}{h} = 11,54 \% g$$

Utilizzando la seconda espressione della formula, che include nel calcolo il peso della parete in muratura, si ottiene coefficiente migliorativo calcolabile come:

$$\frac{N + N_0}{N + N_0/2} = 1,68$$

Da cui si ricava un valore di  $\alpha$  pari a 19,34 % g

Prendendo ora in considerazione il reale valore della resistenza  $f_m$ , si ottiene l'effetto equivalente ad una riduzione dello spessore della muratura, di conseguenza il valore di  $\alpha$  è calcolabile come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 19,32 \% g$$

### **Chiesa di San Martino Secchia, Carpi (Mo)**

L'edificio, introdotto al paragrafo 2.1.4, presenta pianta a 3 navate. Si riportano nella Tabella 23 i dati geometrici utilizzati per il calcolo del coefficiente  $\alpha$  attraverso la formula proposta al paragrafo 3.5.

Il peso della parete in muratura  $N_0$  è calcolato come:

$\rho$ , densità del materiale pari a  $1910 \text{ kg/m}^3$

$V$ , volume della parete espresso in  $\text{m}^3$

$g$ , accelerazione di gravità, pari a  $9,81 \text{ m/s}^2$

$N_0 = \rho \times V \times g = 42,87 \text{ kN}$

La copertura è composta da:

- Strato si rivestimento esterno e tenuta all'acqua in coppi
- Assito in legno ( $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ )
- Listelli in legno

Si stima per l'area di calcolo (Allegato 08), un valore dei carichi gravitazionali provenienti dalla copertura pari a  $N = 20,30 \text{ kN}$

La distanza  $b$  è assunta pari alla distanza tra due vani finestra.

S [m]	b [m]	h [m]	$f_m$ [MPa]	N [kN]	$N_0$ [kN]
0,44	3,25	1,60	56	20,30	42,87

Tabella 23 - Dati geometrici, Chiesa di S. Martino Secchia

Tramite la prima espressione della formula, ossia nel caso limite in cui sia possibile trascurare il peso della parete  $N_0$  e la resistenza  $f_m$  abbia valore molto elevato, si può calcolare:

$$\alpha = \frac{s/2}{h} = 13,75 \% g$$

Utilizzando la seconda espressione della formula, che include nel calcolo il peso della parete in muratura, si ottiene coefficiente migliorativo calcolabile come:

$$\frac{N + N_0}{N + N_0/2} = 1,51$$

Da cui si ricava un valore di  $\alpha$  pari a  $20,81 \% g$

Prendendo ora in considerazione il reale valore della resistenza  $f_m$ , si ottiene l'effetto equivalente ad una riduzione dello spessore della muratura, di conseguenza il valore di  $\alpha$  è calcolabile come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 20,79 \% g$$

### **Chiesa di San Giovanni Battista, Cavezzo (Mo)**

L'edificio, introdotto al paragrafo 2.1.9, presenta pianta a 1 navata.

Si riportano nella Tabella 24 i dati geometrici utilizzati per il calcolo del coefficiente  $\alpha$  attraverso la formula proposta al paragrafo 3.5.

Il peso della parete in muratura  $N_0$  è calcolato come:

$\rho$ , densità del materiale pari a  $1910 \text{ kg/m}^3$

$V$ , volume della parete espresso in  $\text{m}^3$

$g$ , accelerazione di gravità, pari a  $9,81 \text{ m/s}^2$

$N_0 = \rho \times V \times g = 1335,75 \text{ kN}$



La copertura è composta da:

- Strato si rivestimento esterno e tenuta all'acqua in coppi
- Assito in legno ( $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ )
- Listelli in legno

Si stima per l'area di calcolo (Allegato 08), un valore dei carichi gravitazionali provenienti dalla copertura pari a  $N = 59,56 \text{ kN}$

La distanza  $b$  è assunta pari alla distanza tra due vani finestra.

S [m]	b [m]	h [m]	$f_m$ [MPa]	N [kN]	$N_0$ [kN]
0,53	12,18	11,06	56	59,56	1335,75

Tabella 24 - Dati geometrici, Chiesa di S. Giovanni Battista

Tramite la prima espressione della formula, ossia nel caso limite in cui sia possibile trascurare il peso della parete  $N_0$  e la resistenza  $f_m$  abbia valore molto elevato, si può calcolare:

$$\alpha = \frac{s/2}{h} = 2,39 \% g$$

Utilizzando la seconda espressione della formula, che include nel calcolo il peso della parete in muratura, si ottiene coefficiente migliorativo calcolabile come:

$$\frac{N + N_0}{N + N_0/2} = 1,92$$

Da cui si ricava un valore di  $\alpha$  pari a  $4,59 \% g$

Prendendo ora in considerazione il reale valore della resistenza  $f_m$ , si ottiene l'effetto equivalente ad una riduzione dello spessore della muratura, di conseguenza il valore di  $\alpha$  è calcolabile come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 4,57 \% g$$

### Chiesa di Sant'Egidio, Cavezzo (Mo)

L'edificio, introdotto al paragrafo 2.1.9, presenta pianta a 1 navata.

Si riportano nella Tabella 25 i dati geometrici utilizzati per il calcolo del coefficiente  $\alpha$  attraverso la formula proposta al paragrafo 3.5.

Il peso della parete in muratura  $N_0$  è calcolato come:

$\rho$ , densità del materiale pari a  $1910 \text{ kg/m}^3$

$V$ , volume della parete espresso in  $\text{m}^3$

$g$ , accelerazione di gravità, pari a  $9,81 \text{ m/s}^2$

$N_0 = \rho \times V \times g = 1095,29 \text{ kN}$

La copertura è composta da:

- Strato si rivestimento esterno e tenuta all'acqua in coppi
- Assito in legno ( $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ )
- Listelli in legno

Si stima per l'area di calcolo (Allegato 08), un valore dei carichi gravitazionali provenienti dalla copertura pari a  $N = 42,91 \text{ kN}$

La distanza  $b$  è assunta pari alla distanza tra due vani finestra.

S [m]	b [m]	h [m]	$f_m$ [MPa]	N [kN]	$N_0$ [kN]
0,68	5,16	16,82	56	42,91	1095,29

Tabella 25 - Dati geometrici, Chiesa di S. Egidio

Tramite la prima espressione della formula, ossia nel caso limite in cui sia possibile trascurare il peso della parete  $N_0$  e la resistenza  $f_m$  abbia valore molto elevato, si può calcolare:

$$\alpha = \frac{s/2}{h} = 2,05 \% g$$

Utilizzando la seconda espressione della formula, che include nel calcolo il peso della parete in muratura, si ottiene coefficiente migliorativo calcolabile come:

$$\frac{N + N_0}{N + N_0/2} = 1,81$$

Da cui si ricava un valore di  $\alpha$  pari a  $8,65 \% g$

Prendendo ora in considerazione il reale valore della resistenza  $f_m$ , si ottiene l'effetto equivalente ad una riduzione dello spessore della muratura, di conseguenza il valore di  $\alpha$  è calcolabile come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 8,63 \% g$$

### **Chiesa di San Martino di Tour, Cento (Mo)**

L'edificio, introdotto al paragrafo 2.3.2, presenta pianta a 3 navate.

Si riportano nella Tabella 26 i dati geometrici utilizzati per il calcolo del coefficiente  $\alpha$  attraverso la formula proposta al paragrafo 3.5.

Il peso della parete in muratura  $N_0$  è calcolato come:

$\rho$ , densità del materiale pari a  $1910 \text{ kg/m}^3$

$V$ , volume della parete espresso in  $\text{m}^3$

$g$ , accelerazione di gravità, pari a  $9,81 \text{ m/s}^2$

$N_0 = \rho \times V \times g = 320,95 \text{ kN}$

La copertura è composta da:

- Strato si rivestimento esterno e tenuta all'acqua in coppi
- Assito in legno ( $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ )
- Listelli in legno

Si stima per l'area di calcolo (Allegato 08), un valore dei carichi gravitazionali provenienti dalla copertura pari a  $N = 38,56 \text{ kN}$

La distanza  $b$  è assunta pari alla distanza tra due vani finestra.

S [m]	b [m]	h [m]	$f_m$ [MPa]	N [kN]	$N_0$ [kN]
0,50	6,50	5,25	56	38,56	320,95

Tabella 26 - Dati geometrici, Chiesa di S. Martino di Tour

Tramite la prima espressione della formula, ossia nel caso limite in cui sia possibile trascurare il peso della parete  $N_0$  e la resistenza  $f_m$  abbia valore molto elevato, si può calcolare:

$$\alpha = \frac{s/2}{h} = 4,79 \% g$$

Utilizzando la seconda espressione della formula, che include nel calcolo il peso della parete in muratura, si ottiene coefficiente migliorativo calcolabile come:

$$\frac{N + N_0}{N + N_0/2} = 1,81$$

Da cui si ricava un valore di  $\alpha$  pari a  $8,65 \% g$

Prendendo ora in considerazione il reale valore della resistenza  $f_m$ , si ottiene l'effetto equivalente ad una riduzione dello spessore della muratura, di conseguenza il valore di  $\alpha$  è calcolabile come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 8,63 \% g$$

### 4.3. Riepilogo dei risultati

#### 4.3.1. Risultati del calcolo nelle chiese con pianta ad una navata

Chiesa	Comune	N	N <sub>0</sub>	s	b	h	f <sub>m</sub>	α <sub>1</sub>	α <sub>2</sub>	α <sub>3</sub>
		[kN]	[kN]	[m]	[m]	[m]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[% g]	[% g]	[% g]
Chiesa di San Pietro	Albese con Cassano	35,19	365,68	0,42	6,30	5,22	150,00	3,99%	7,33%	7,32%
Chiesetta della Madonna di Loreto	Molena di Albavilla	28,60	529,57	0,46	8,90	4,86	150,00	4,71%	8,96%	8,95%
Chiesa di San Damiano	Cogliate	15,01	405,55	0,44	8,63	5,70	56,00	3,86%	7,45%	7,43%
Chiesa di Santa Maria alla Fonte	Milano	256,10	2565,08	0,60	24,40	9,35	56,00	3,21%	5,88%	5,86%
Abbazia di Piona	Colico	92,79	2427,96	0,77	13,55	9,50	105,00	4,05%	7,82%	7,79%
Chiesa di San Rocco	Somma Lombardo	86,37	2789,44	0,89	11,60	10,37	115,60	4,30%	8,35%	8,32%
Chiesa di Santa Maria in Binda	Nosate	33,52	530,26	0,40	10,59	4,82	173,00	4,20%	7,92%	7,92%
Chiesa di Santo Stefano	Varese	16,63	452,76	0,56	4,34	7,17	115,60	3,91%	7,55%	7,53%

Tabella 27 - Risultati delle chiese caso di studio con pianta ad una navata

#### 4.3.2. Risultati del calcolo nelle chiese con pianta a tre navate

Chiesa	Comune	N	N <sub>0</sub>	s	b	h	f <sub>m</sub>	α <sub>1</sub>	α <sub>2</sub>	α <sub>3</sub>
		[kN]	[kN]	[m]	[m]	[m]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[% g]	[% g]	[% g]
Basilica di San Vittore	Arsago al Seprio	23,67	168,21	0,73	3,67	2,40	115,60	15,29 %	27,22 %	27,20 %
Chiesa di San Vittore	Brezzo di Bedero	20,93	192,32	0,81	3,32	2,75	115,60	14,81 %	26,97 %	26,95 %
Chiesa di San Donato	Sesto Calende	12,41	128,83	0,49	3,19	3,20	173,00	7,67%	14,10 %	14,09 %
Chiesa di Sant'Eugenio	Concorezzo	86,68	701,70	0,56	20,35	3,30	56,00	8,46%	15,24 %	15,22 %
Basilica di San Michele	Oleggio	13,93	72,01	0,73	2,32	1,65	173,00	22,15 %	38,12 %	38,11 %
Chiesa di San Lorenzo	Portovenere	54,13	363,23	0,68	5,98	3,36	186,70	10,12 %	17,91 %	17,90 %
Chiesa di San Nicolò dell'Isola	Sestri Levante	72,22	977,44	0,75	20,36	2,25	156,00	16,67 %	31,19 %	31,17 %
Basilica di S. Salvatore dei Fieschi	Cogorno	19,28	163,69	0,63	3,54	2,58	156,00	12,21 %	22,09 %	22,08 %

Tabella 28 - Risultati del calcolo nelle chiese caso di studio con pianta a tre navate



#### 4.3.3. Risultati del calcolo nelle chiese crollate per l'attivazione del meccanismo di risposta trasversale dell'aula durante il terremoto dell'Emilia 2012

Chiesa	Comune	N	N <sub>0</sub>	s	b	h	f <sub>m</sub>	α <sub>1</sub>	α <sub>2</sub>	α <sub>3</sub>
		[kN]	[kN]	[m]	[m]	[m]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[% g]	[% g]	[% g]
Chiesa di San Giovanni	Concordia Sulla Secchia	26,13	90,44	0,47	4,02	2,55	56,00	9,20%	15,04%	15,02%
Duomo di Santa Maria Maggiore	Mirandola	63,28	601,40	0,92	8,90	3,92	56,00	11,73%	21,43%	21,39%
Chiesa di San Francesco	Mirandola	80,22	682,32	0,89	10,60	3,86	56,00	11,53%	20,86%	20,82%
Chiesa di Santa Caterina	Novi di Modena	177,96	743,90	0,60	25,45	2,60	56,00	11,54%	19,34%	19,32%
Chiesa di S. Martino Secchia	Carpi	20,30	42,87	0,44	3,25	1,60	56,00	13,75%	20,81%	20,79%
San Giovanni Battista	Cavezzo	59,57	1335,75	0,53	12,18	11,06	56,00	2,39%	4,59%	4,57%
Chiesa di S. Egidio	Cavezzo	42,91	1095,29	0,68	5,16	16,62	56,00	2,05%	3,95%	3,92%
Chiesa di S. Martino di Tour	Cento	38,56	320,95	0,50	6,50	5,25	56,00	4,79%	8,65%	8,63%

Tabella 29 - Risultati del calcolo nelle chiese caso di studio che hanno subito danni per l'attivazione del meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula durante il terremoto dell'Emilia

#### 4.4. Calcolo del valore dell'accelerazione di attivazione del meccanismo al suolo per le chiese che hanno subito danni in seguito al terremoto dell'Emilia nel maggio 2012

Per la verifica di meccanismi locali posti ad una certa altezza dalla quota del piano di campagna può essere importante considerare gli effetti dell'amplificazione del moto sismico rispetto a quello del suolo, legata all'effetto filtro prodotto dalla struttura nel suo insieme e funzione della posizione in quota del meccanismo nella struttura, valutata rispetto al piano di campagna.

Non è quindi possibile confrontare direttamente le accelerazioni di attivazione del meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula calcolate nei paragrafi precedenti per le chiese che hanno riportato danni in seguito agli eventi sismici dell'Emilia nel maggio 2012 con quelle effettivamente misurate sui luoghi del terremoto poiché nei casi di studio con pianta a tre navate il meccanismo di collasso si attiva nella parte superiore della navata centrale, posta ad una quota superiore rispetto a quella del terreno. Per riportare i valori di accelerazione di attivazione al suolo si fa riferimento a quanto espresso nelle Norme Tecniche delle Costruzioni.

Come indicato al paragrafo 3.3.2 le NTC (DM 14 gennaio 2008) prescrivono per meccanismi posti a quota superiore a quella del livello di fondazione che sia verificata la relazione:

$$a_0^* \geq S_e(T_1) \Psi(Z) \gamma$$

Z è definito come l'altezza rispetto alla fondazione dell'edificio, del baricentro delle linee di vincolo dei punti di contatto della catena cinematica con la struttura nel suo insieme o con regioni esterne. Di conseguenza nel caso di una singola parete che ribalti con cerniera a quota del piano campagna (come accade per le pareti di chiese ad una sola navata), l'effetto della amplificazione sismica è nullo ( $Z=0$ ) [50].

Dalla formula sopra riportata e dalle espressioni per la valutazione dei coefficienti  $\Psi(Z)$  e  $\gamma$  presentati in Tabella 2 al paragrafo 3.3.2 è possibile ricavare il valore dell'accelerazione di attivazione del meccanismo riportata al suolo:

$$a_g = \frac{a_0^*}{\Psi(Z) \times \gamma}$$

Dove per le chiese si può assumere:

$a_0^*$ , moltiplicatore dei carichi orizzontali, che corrisponde all'accelerazione orizzontale (espresso in g), necessaria per l'attivazione del meccanismo, calcolato al paragrafo 4.2.4

Z, altezza rispetto alla fondazione dell'edificio, del baricentro delle linee di vincolo tra i blocchi interessati dal meccanismo ed il resto della struttura.

$\Psi(Z)$ , primo modo di vibrazione dell'edificio nella direzione considerata, normalizzato ad 1 in sommità all'edificio; assunto pari a

$$\Psi(Z) = Z/H$$

$\gamma$ , coefficiente di partecipazione modale, in assenza di valutazioni più accurate può essere assunto pari a:

$$\gamma = 1,1$$

N, numero di piani dell'edificio

Il valore del periodo del primo modo proprio di vibrazione è stato invece calcolato con le formule proposte da S. Lagomarsino [6] [7] e mostrate in Tabella 2

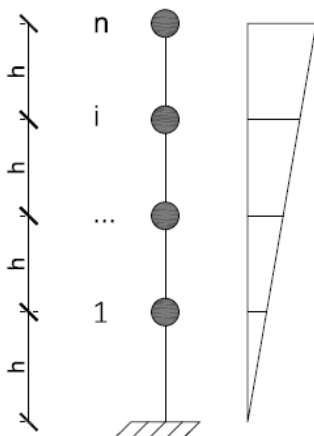
$$T_1 = 0,07 H^{3/4}$$

I valori del periodo del primo modo proprio di vibrare e della accelerazione di attivazione del meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula riportate al suolo sono riportati in Tabella 30:

Chiesa	Comune	$a_0^*$ [% g]	H [m]	Z[m]	$T_1$ [sec]	$a_g$ [% g]
Chiesa di San Giovanni	Concordia Sulla Secchia	15,02%	12,15	9,60	0,46	10,78%
Duomo di Santa Maria Maggiore	Mirandola	21,39%	20,81	16,89	0,68	15,78%
Chiesa di San Francesco	Mirandola	20,82%	15,44	11,58	0,55	14,20%
Chiesa di Santa Caterina	Novi di Modena	19,32%	13,20	10,60	0,48	14,10%
Chiesa di S. Martino Secchia	Carpi	20,79%	9,60	8,00	0,38	15,75%
San Giovanni Battista	Cavezzo	4,57%	11,06	0,00	0,42	4,57%
Chiesa di S. Egidio	Cavezzo	3,92%	16,62	0,00	0,58	3,92%
Chiesa di S Martino di Tour	Cento	8,63%	18,51	13,27	0,62	5,62%

Tabella 30 - Valori di accelerazione del meccanismo riportata al suolo calcolato con la formula proposta dalle NTC per le chiese che hanno subito danni durante il terremoto dell'Emilia

Per il calcolo dell'accelerazione di attivazione del meccanismo riportata al livello del suolo si può procedere altrimenti facendo riferimento ad un sistema lineare a masse concentrate (Figura 158) dove:



$m$ , massa di un piano dell'edificio (costante)

$n$ , numero di piani

$h$ , interasse tra i piani dell'edificio (costante)

Ne consegue che  $H = n \times h$

E' possibile calcolare il coefficiente  $\Psi(Z)$  che rappresenta il primo modo di vibrazione dell'edificio nella direzione considerata come:

$$\Psi_{1,i} = \frac{1}{H} i h = \frac{i}{n}$$

Il fattore di partecipazione del primo modo di vibrare della struttura è invece calcolabile come:

Figura 158 - Sistema lineare a masse concentrate

$$p_1 = \frac{\sum_i m_i \Psi_{1,i}}{\sum_i m_i \Psi_{1,i}^2} = \frac{m \sum_i i/n}{m \sum_i (i/n)^2} = n \frac{\sum_i i}{\sum_i i^2} = \frac{3n}{1 + 2n}$$

L'accelerazione in sommità è pari a:

$$a_n = S(T_1) \cdot p_1 \cdot \Psi_{1,n} = S(T_1) \cdot p_1$$

Mentre ad un generico piano:

$$a_n = S(T_1) \cdot p_1 \cdot \Psi_{1,i} = S(T_1) \cdot p_1 \cdot \frac{1}{n}$$

I valori assunti dal fattore di partecipazione  $p_1$  in funzione del numero di piani è riportato in Tabella 31

n (numero di piani)	$p_1$ (fattore di partecipazione del primo modo di vibrare)
1	1
2	1,2
3	1,285
4	1,333
...	...
$\infty$	1,5

Tabella 31 - Fattore di partecipazione in funzione del numero di masse concentrate

I valori ricavati per le chiese analizzate che hanno subito danni durante il terremoto dell'Emilia tramite il sistema lineare a masse concentrate sono riportati in Tabella 32.

Chiesa	Comune	$a_0^*$ [% g]	$a_g$ [% g]
Chiesa di San Giovanni	Concordia Sulla Secchia	15,02%	12,51%
Duomo di Santa Maria Maggiore	Mirandola	21,39%	17,82%
Chiesa di San Francesco	Mirandola	20,82%	17,35%
Chiesa di Santa Caterina	Novi di Modena	19,32%	16,10%
Chiesa di S. Martino Secchia	Carpi	20,79%	17,32%
San Giovanni Battista	Cavezzo	4,57%	3,81%
Chiesa di S. Egidio	Cavezzo	3,92%	3,27%
Chiesa di S. Martino di Tour	Cento	8,63%	7,19%

Tabella 32 - Valori di accelerazione del meccanismo riportata al suolo calcolato con il sistema lineare di masse concentrate per le chiese che hanno subito danni durante il terremoto dell'Emilia

Osservando i risultati ottenuti tramite i due metodi in Tabella 31 e Tabella 32 si nota che i valori dell'accelerazione riportata al suolo sono comparabili.

Obiettivo di ricavare i valori dell'accelerazione al suolo è quello di confrontarli con i dati di accelerazione misurata durante l'evento sismico del maggio 2012.

#### 4.5. Accelerazioni di picco sul territorio del terremoto dell'Emilia

Le accelerazioni di picco al suolo (Peak ground acceleration PGA) vengono misurate durante un evento sismico dalla rete accelerometrica nazionale (RAN) e dalla Rete Sismica Nazionale (RSN) da parte dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). La rete di misurazione comprende sia stazioni permanenti disposte su tutto il territorio nazionale sia stazioni temporanee che vengono collocate in una zona epicentrale ed attivate per monitorare uno specifico evento sismico in corso.

La prima delle due violenti scosse che hanno caratterizzato il terremoto dell'Emilia, avvenuta nelle prime ore del 20 maggio 2012, è stata registrata soltanto dalle stazioni permanenti, mentre la seconda (29 maggio) è stata misurata da altre 16 stazioni temporanee predisposte nel territorio circostante la zona epicentrale per

meglio studiare l'area coinvolta. I valori più alti dell'accelerazione orizzontale al suolo sono stati misurati, per la scossa del 20 maggio, dalla stazione di Mirandola (0,26 g) e dalle stazioni di Cento e Mirandola per la scossa del 29 maggio (rispettivamente 0,20 g e 0,29 g). Valori di accelerazione superiori a 0,15 g sono stati registrati soltanto all'interno di un'area di raggio pari a 20 km di distanza dall'epicentro dell'evento (nel comune di Finale Emilia per la prima scossa e nel comune di Medolla per la seconda).

Le accelerazioni misurate vengono sistematicamente utilizzate dall'INGV per ricavare attraverso interpolazioni le PGA nel territorio circostante l'epicentro, attraverso la legge di attenuazione di Sabetta-Pugliese per realizzare mappe (Shake maps) che stimano l'accelerazione nel territorio. Le leggi di attenuazione sono state ricavate in base alle informazioni raccolte tramite la misurazione sistematica dei terremoti in Italia, che è iniziata a partire dal 1972.

L'interpolazione dei dati per il territorio dell'Emilia ha dato risultati di difficile lettura, che spesso si discostano con quanto realmente misurato, e che per la prima scossa sono legati ad un'unica misurazione. La seconda delle due scosse principali fornisce invece dati più indicativi: infatti è possibile confrontare i valori ricavati per interpolazione con le misure effettuate dalle stazioni temporanee predisposte per seguire l'evento sismico.

Le differenze rilevate nei dati ricavati tramite le leggi di attenuazione sono dovuti alle particolarità che caratterizzano il terremoto emiliano, che lo rendono profondamente diverso da quelli precedentemente misurati ed utilizzati per ricavare i procedimenti di calcolo. Infatti non si hanno informazioni sufficienti sulla sismicità della pianura Padana, in quanto le informazioni sui grandi eventi sismici avvenuti in passato in questa parte del territorio italiano, sono riferite ad eventi lontani nel tempo (1570) o di cui non si hanno dati sufficienti (1987). Inoltre le caratteristiche del suolo della Pianura Padana, caratterizzato dalla presenza di sedimenti fluviali accumulatisi in migliaia di anni, e dall'ampiezza della pianura, differiscono in modo significativo dai terremoti dei quali si hanno informazioni e sui quali sono state basate le leggi empiriche di attenuazione.

La tabella Tabella 33 e la Tabella 34 mostrano le accelerazioni di picco al suolo misurate dagli accelerometri rispettivamente per la prima e per la seconda scossa principale in funzione nel territorio comunale delle località in cui si trovano le chiese analizzate come caso di studio al paragrafo 4.2.4, e permettono il confronto con i valori dell'accelerazione di attivazione del meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula riportata al suolo, calcolati al paragrafo 4.4.

La Figura 159 e la Figura 160 mostrano le shake maps elaborate dall'INGV per le due scosse principali dell'evento sismico emiliano del maggio 2012.

Chiesa	Comune	Stazione	Caratteristiche stazione	Distanza dall'epicentro [km]	PGA [cm/s <sup>2</sup> ]	PGA [% g]	a <sub>0</sub> * [% g]
Duomo di Santa Maria Maggiore	Mirandola	Mirandola	Fissa	12,30	297,304	30,33 %	21,39 %
Chiesa di San Francesco	Mirandola	Mirandola	Fissa	12,30	297,304	30,33 %	20,82 %

Tabella 33 - Valori dell'accelerazione di picco al suolo PGA misurate durante la scossa del 20 maggio e accelerazione di attivazione del meccanismo di risposta trasversale dell'aula



Chiesa	Comune	Stazione	Caratteristiche stazione	Distanza dall'epicentro [km]	PGA [cm/s <sup>2</sup> ]	PGA [% g]	a <sub>0</sub> * [% g]
Chiesa di San Giovanni	Concordia Sulla Secchia	Concordia sula Secchia	Temporanea	10,20	274,381	27,99 %	15,02 %
Duomo di Santa Maria Maggiore	Mirandola	Mirandola	Fissa e temporanee	11,121	392,111	40,01 %	21,39 %
				1,41	411,372	41,98 %	
				4,12	452,272	46,15 %	
				9,82	398,290	40,55 %	
				14,52	269,313	27,48 %	
Chiesa di San Francesco	Mirandola	Mirandola	Fissa e temporanee	11,121	392,111	40,01 %	20,82 %
				1,41	411,372	41,98 %	
				4,12	452,272	46,15 %	
				9,82	398,290	40,55 %	
				14,52	269,313	27,48 %	
Chiesa di Santa Caterina	Novi di Modena	Novellara	Temporanea	8,63	366,83	37,43 %	19,32 %
Chiesa di S. Martino Secchia	Carpi	Carpi	Temporanea	18,70	172,780	17,63 %	20,79 %
San Giovanni Battista	Cavezzo	Cavezzo	Non presente	-	-	-	4,57 %
Chiesa di S. Egidio	Cavezzo	Cavezzo	Non presente	-	-	-	3,92 %
Chiesa di S. Martino di Tour	Cento	Cento	Fissa - nuovo insediamento	21,30	294,135	30,01 %	8,63 %

Tabella 34 - Valori dell'accelerazione di picco al suolo PGA misurate durante la scossa del 29 maggio e accelerazione di attivazione del meccanismo di risposta trasversale dell'aula



INGV Peak Accel. Map (in %g) : Pianura\_padana\_emiliana  
MAY 29 2012 07:00:03 AM GMT M 5.8 N44.85 E11.09 Depth: 10.2km ID:7223045800

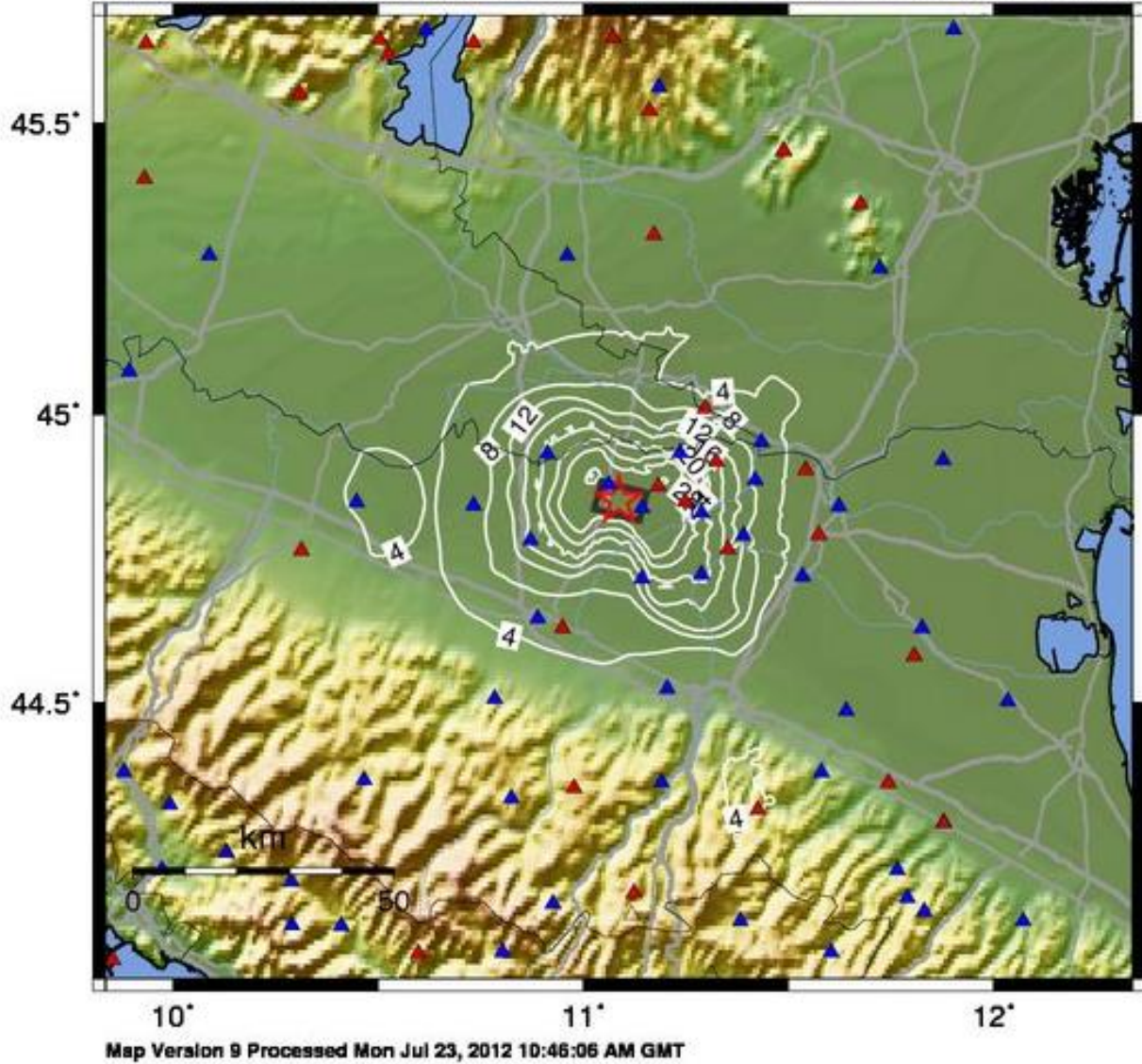


Figura 160 - Shake Map valori dell'accelerazione interpolati per la scossa del 29 maggio - rif. Bibliog. [85]

Analizzando i dati riportati in Tabella 33, Tabella 34, Figura 159 e Figura 160 si nota come i valori delle PGA calcolati nelle shake maps o misurati dalle stazioni della rete accelerometrica nazionale siano superiori o molto vicini alle accelerazioni di attivazione del meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula, che si è effettivamente verificato sui casi di studio. Bisogna inoltre tenere conto di come anche per valori lievementi inferiori delle PGA, sugli edifici in esame si siano sommati gli effetti di numerose scosse, anche di entità minore rispetto alle principali, che hanno indebolito la struttura. Inoltre il secondo evento principale è avvenuto quando alcune delle chiese oggetto di studio erano già in parte compromesse dai danni subiti dopo la scossa del 20 maggio.

#### 4.6. Calcolo del valore dell'accelerazione di attivazione al suolo per i casi di studio di chiese con pianta a tre navate.

Si ricavano i valori delle accelerazioni di attivazione al suolo del meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula per le chiese caso di studio con pianta a tre navate presentate al paragrafo 4.1.2.

Per le chiese caso di studio ad una navata non è necessario il calcolo dell'accelerazione di attivazione al suolo, poiché il meccanismo si instaura alla base della parete portante alla stessa quota del terreno.

La Tabella 35 permette di confrontare i valori dell'accelerazione di attivazione del meccanismo in sommità ( $a_0^*$ ) calcolati al paragrafo 4.2.3 con i valori dell'accelerazione riportata al suolo calcolati secondo il metodo proposto dalle NTC descritto al paragrafo 4.4.

Chiesa	Comune	$a_0^*$ [% g]	H [m]	Z[m]	$T_1$ [sec]	$a_g$ [% g]
Basilica di San Vittore	Arsago al Seprio	27,20 %	7,89	5,49	0,33	17,21%
Chiesa di San Vittore	Brezzo di Bedero	26,95 %	12,25	9,50	0,46	19,01%
Chiesa di San Donato	Sesto Calende	14,09 %	11,16	7,96	0,43	9,14%
Chiesa di Sant'Eugenio	Concorezzo	15,22 %	9,20	5,90	0,37	8,87%
Basilica di San Michele	Oleggio	38,11 %	8,00	6,35	0,33	27,50%
Chiesa di San Lorenzo	Portovenere	17,90 %	13,46	10,10	0,49	12,21%
Chiesa di San Nicolò dell'Isola	Sestri Levante	31,17 %	8,79	6,54	0,36	21,08%
Basilica di S. Salvatore dei Fieschi	Cogorno	22,08 %	12,89	10,31	0,48	16,05%

Tabella 35 - Valori di accelerazione del meccanismo riportata al suolo calcolato con la formula proposta dalle NTC per le chiese con pianta a tre navate caso di studio



La Tabella 36 riporta invece i valori dell'accelerazione al suolo  $a_g$  calcolati tramite il sistema lineare di masse concentrate descritto al paragrafo 4.4.

Chiesa	Comune	$a_0^*$ [% g]	$a_g$ [% g]
Basilica di San Vittore	Arsago al Seprio	27,20%	21,17%
Chiesa di San Vittore	Brezzo di Bedero	26,95%	22,46%
Chiesa di San Donato	Sesto Calende	14,09%	11,75%
Chiesa di Sant'Eugenio	Concorezzo	15,22%	12,68%
Basilica di San Michele	Oleggio	38,11%	31,76%
Chiesa di San Lorenzo	Portovenere	17,90%	14,92%
Chiesa di San Nicolò dell'Isola	Sestri Levante	31,17%	25,97%
Basilica di S. Salvatore dei Fieschi	Cogorno	22,08%	18,40%

Tabella 36 - Valori di accelerazione del meccanismo riportata al suolo calcolato con il sistema lineare di masse concentrate per le chiese caso di studio con pianta a tre navate

#### 4.7. Valutazione dei risultati

Si analizzano in questo paragrafo i risultati ottenuti applicando ai casi di studio la formula semplificata per calcolare l'accelerazione  $\alpha$ , corrispondente al moltiplicatore dei carichi orizzontali che innesca il meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula.

Dai dati emersi si nota come vi sia una marcata differenza tra il risultato ottenuto con la prima espressione di calcolo, che rappresenta il caso limite in cui il peso delle pareti ( $N_0$ ) possa essere trascurato e la resistenza ( $f_m$ ) abbia valore molto elevato, e le altre due espressioni, che tengono conto dei carichi dovuti alle murature e della resistenza specifica del materiale delle chiusure portanti. Gli scostamenti dei valori dei due risultati sono compresi tra il 33,43 % e il 48,50 %. La differenza tra le accelerazioni ottenute tramite la seconda e la terza versione della formula è invece molto esigua (variazioni comprese tra 0,07 % e 0,77 %).

La differenza nei valori dell'accelerazione  $\alpha$  tra le prime due espressioni è dovuta ad un coefficiente calcolato come:

$$c = \frac{N + N_0}{N + N_0/2}$$

Il valore di questo coefficiente è compreso tra 1 e 2. In particolare si ottiene il valore minimo nel caso limite in cui i pesi provenienti dalle pareti in muratura siano trascurabili (si ricade quindi nel caso analizzato dalla prima espressione della formula), mentre il valore massimo si ricava se fossero nulli i carichi provenienti dalla copertura. Per valori intermedi tra i due casi limite il coefficiente  $c$  cresce al diminuire del valore dei pesi provenienti dalla copertura. I casi di studio presi in considerazione, caratterizzati da coperture leggere (ossia senza la presenza di getti in calcestruzzo dovuti ad interventi di ristrutturazione volti a migliorare il comportamento sismico degli edifici), presentano tutti un coefficiente  $c$  piuttosto elevato con valori compresi tra 1,51 (Chiesa di San Martino Secchia, Carpi) e 1,94 (Chiesa di San Rocco, Somma Lombardo), che determina un marcato aumento del valore dell'accelerazione limite che provoca l'attivazione del meccanismo. Il dato conferma quindi quanto rilevato dall'osservazione dei danni generati durante un terremoto: l'aumento di peso della copertura favorisce l'instaurarsi del meccanismo, sono quindi preferibili interventi che favoriscano un irrigidimento controllato delle falde della copertura, senza aumentarne eccessivamente i carichi. Si può inoltre notare che il coefficiente  $c$  assume valori superiori a 1,33 quando i carichi provenienti dalla copertura sono



inferiori al peso delle pareti in muratura, mentre assume valori inferiori nel caso contrario. Se i due carichi avessero lo stesso valore il coefficiente c sarebbe uguale 1,33 infatti se  $N=N_0$

$$c = \frac{N + N_0}{N + N_0/2} = \frac{N + N}{N + N/2} = \frac{2N}{3/2 N} = \frac{4}{3} = 1,33$$

Anche analizzando i risultati dell'accelerazione ottenuti con la terza espressione della formula si nota come  $\alpha$  diminuisca all'aumentare dei carichi provenienti dalla copertura.

Si può inoltre dedurre dai risultati ottenuti che un altro parametro della formula che influenza sensibilmente l'accelerazione  $\alpha$  è la snellezza della muratura. La snellezza  $\lambda$  può essere calcolata come:

$$\lambda = h/s$$

Dove h rappresenta l'altezza della parete e s il rispettivo spessore.

Nelle prime due espressioni della formula è infatti possibile mettere in evidenza la snellezza:

$$\alpha = \frac{s/2}{h} = \frac{s}{2h} = \frac{1}{2\lambda}$$

L'accelerazione  $\alpha$  risulta quindi inversamente proporzionale alla snellezza della parete. Di conseguenza al crescere della snellezza diminuisce il moltiplicatore dei carichi necessario per attivare il meccanismo di risposta trasversale dell'aula. Il dato è confermato dalle osservazioni dei danni che seguono eventi sismici. Si riportano in seguito i grafici dell'andamento in funzione della snellezza dell'accelerazione  $\alpha$  ricavata sui casi di studio (Figura 161, , Figura 162, Figura 163, Figura 164).

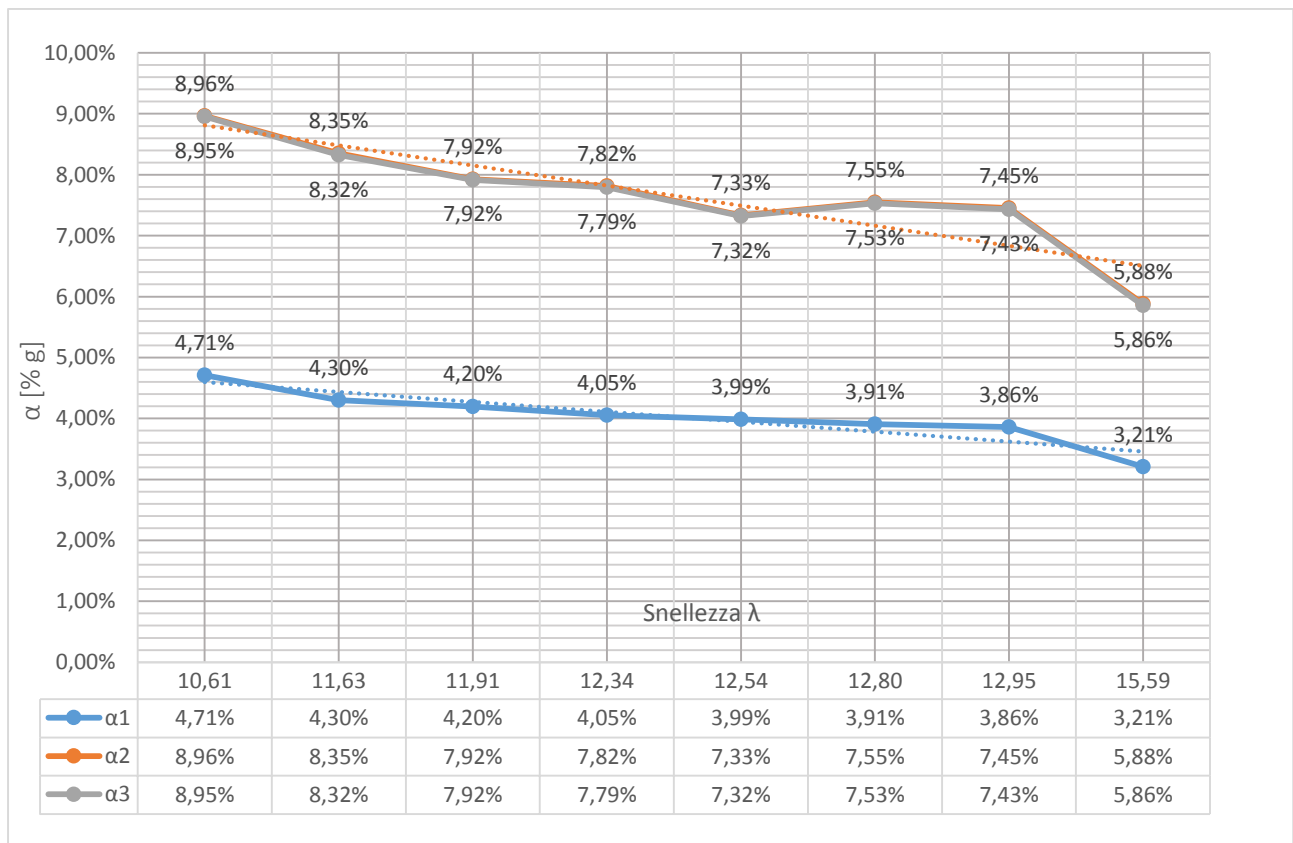


Figura 161 - Andamento dell'accelerazione in funzione della snellezza per i casi di studio con pianta ad una navata

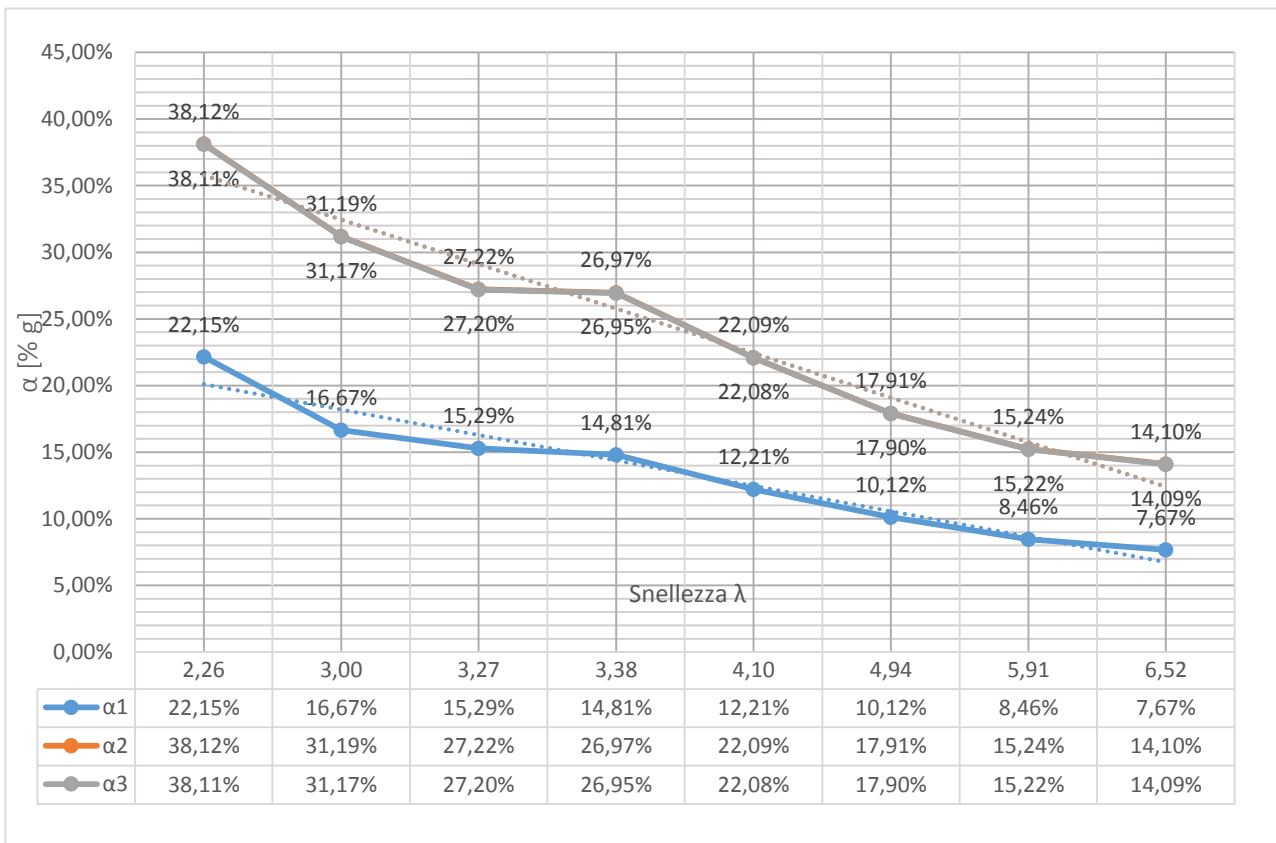


Figura 162 - Andamento della accelerazione in funzione della snellezza per i casi di studio con pianta a tre navate

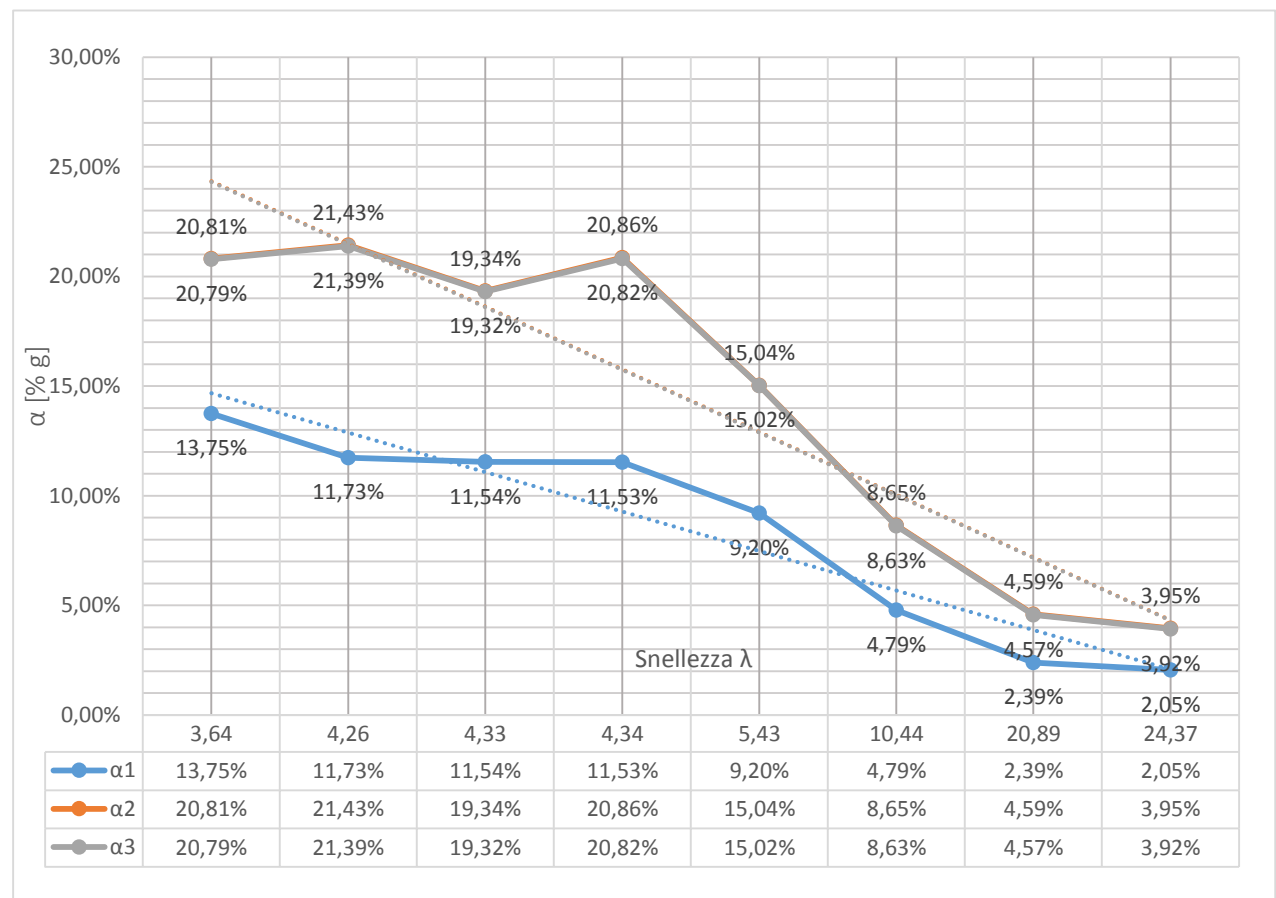


Figura 163 - Andamento dell'accelerazione, in funzione della snellezza, per le chiese in cui il meccanismo di danno si è attivato durante il terremoto dell'Emilia

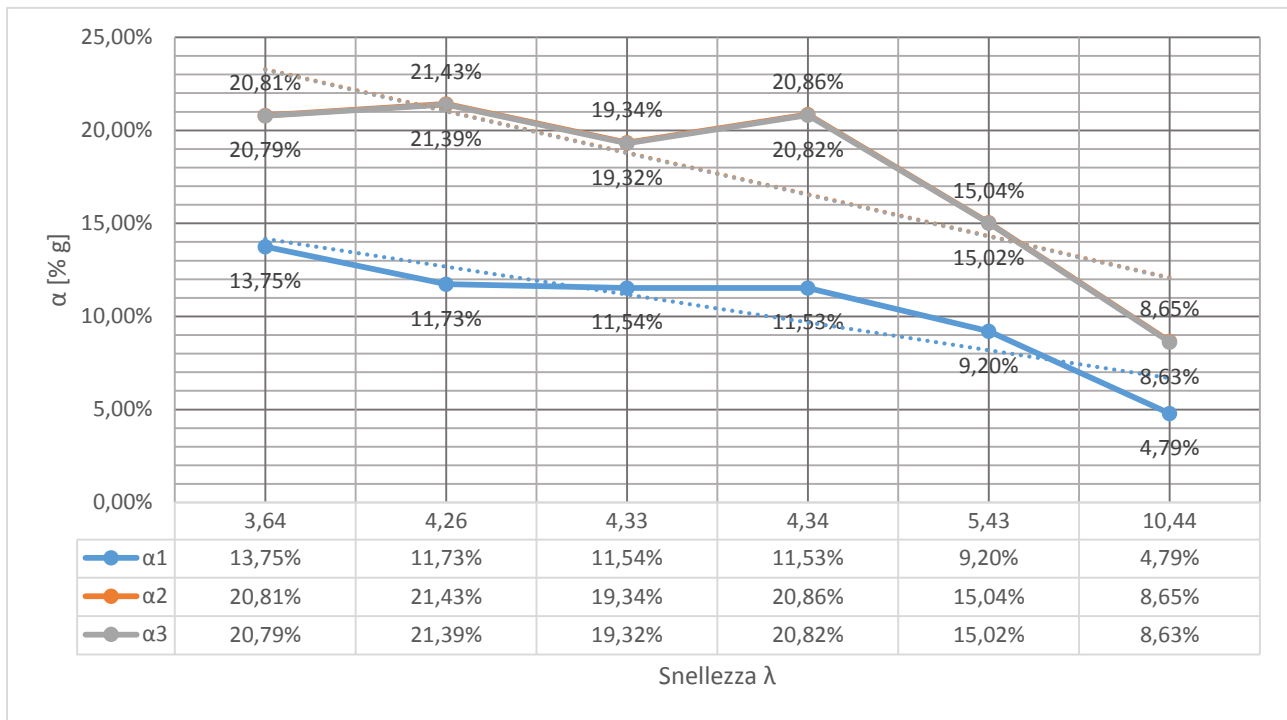


Figura 164 - Andamento dell'accelerazione, in funzione della snellezza, per le chiese a tre navate in cui il meccanismo di danno si è attivato durante il terremoto dell'Emilia

Altro dato che emerge dall'analisi dei dati è il forte divario tra i valori dell'accelerazione ottenuti per le chiese con unica aula ed in quelle che presentano pianta a tre navate. Ciò è dovuto alla forte differenza di snellezza fra le pareti prese in considerazione: mentre per le chiese ad una navata si analizza il comportamento di una parete portante (o di una porzione di parete), per le chiese a tre navate l'attenzione è stata posta alla parte superiore della navata centrale, dove l'attivazione del meccanismo in esame è stata frequentemente rilevata nelle chiese che hanno subito danno nei recenti terremoti. I valori ottenuti per gli edifici a navata unica sono sensibilmente più bassi, ma l'analisi non tiene conto della presenza di elementi che hanno effetti positivi sulla risposta sismica come paraste, cappelle od altri corpi spingenti che vanno a limitare l'instaurarsi del ribaltamento semplice a cui è sottoposta una parete in muratura caricata fuori piano e che sono normalmente presenti in chiese con queste caratteristiche. I risultati tuttavia suggeriscono che le chiese caratterizzate da pianta ad una sola navata abbiano una maggiore predisposizione all'instaurarsi del meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula.

I valori dell'accelerazione calcolati tramite la terza espressione della formula (espressi in percentuale rispetto all'accelerazione di gravità di g) ricavati per le chiese ad una navata sono compresi tra 3,92 % g (Chiesa di Sant'Egidio, Cavezzo) e 8,95 % g (Chiesetta della Madonna di Loreto, Molena di Albavilla), mentre per le chiese a tre navate sono compresi tra 8,65 % g (Chiesa di San Martino di Tour, Cento) e 38,12 % g (Basilica di San Michele, Oleggio)

In merito alle accelerazioni ottenute per i casi di studio presi in considerazione, in seguito ai danni che hanno riportato durante il terremoto che ha colpito la pianura padana emiliana nel 2012, si può osservare come i valori calcolati di  $\alpha$  siano inferiori o prossimi ai valori dell'accelerazione registrati durante l'evento sismico.

#### 4.8. Parametri di confronto: la snellezza

L'andamento dell'accelerazione in funzione della snellezza emerso nel paragrafo precedente, suggerisce che la snellezza possa essere utilizzata come parametro per effettuare un primo confronto tra edifici di simili proporzioni. Infatti il valore della snellezza  $\lambda$  è facilmente calcolabile ed utilizzabile quindi per una prima valutazione che precede il calcolo del moltiplicatore  $\alpha$ .

I grafici in Figura 165, Figura 166 e Figura 167 riassumono i dati presentati al paragrafo 4.3 raggruppando le chiese che presentano valori della snellezza della muratura simili, indipendentemente dal materiale utilizzato per la costruzione. Si può osservare come nonostante le caratteristiche strutturali e tecnologiche siano differenti, sia per i materiali che tradizioni costruttive di luoghi differenti, il moltiplicatore  $\alpha$  assuma valori che rimangono comparabili per le diverse chiese. Infatti si nota come per snellezza compresa tra 3,64 (Chiesa di S. Martino Secchia, Carpi) e 4,94 (Chiesa di S. Lorenzo, Portovenere)  $\alpha$  sia pari a circa 20 %  $g \pm 2,10$  %. Stesse considerazioni si possono fare se la snellezza ha valore prossimo a 6 o compreso tra 10 e 12: nel primo caso l'accelerazione oscilla tra 14,9 % e 15,22 %, mentre nel secondo tra 7,43 % e 8,63 %. In questo secondo caso si nota come  $\alpha$  sia prossima al 8 % per snellezza vicina ad 11, mentre scende al 7 % man mano che la snellezza si avvicina a 12.

Si può quindi considerare come per operare un confronto tra edifici differenti, si possa in primo luogo utilizzare il valore della snellezza della muratura coinvolta nel meccanismo di collasso. In particolare, questo dato può risultare utile per confrontare edifici che hanno subito danni durante un terremoto, con altri che presentano le medesime caratteristiche dimensionali.

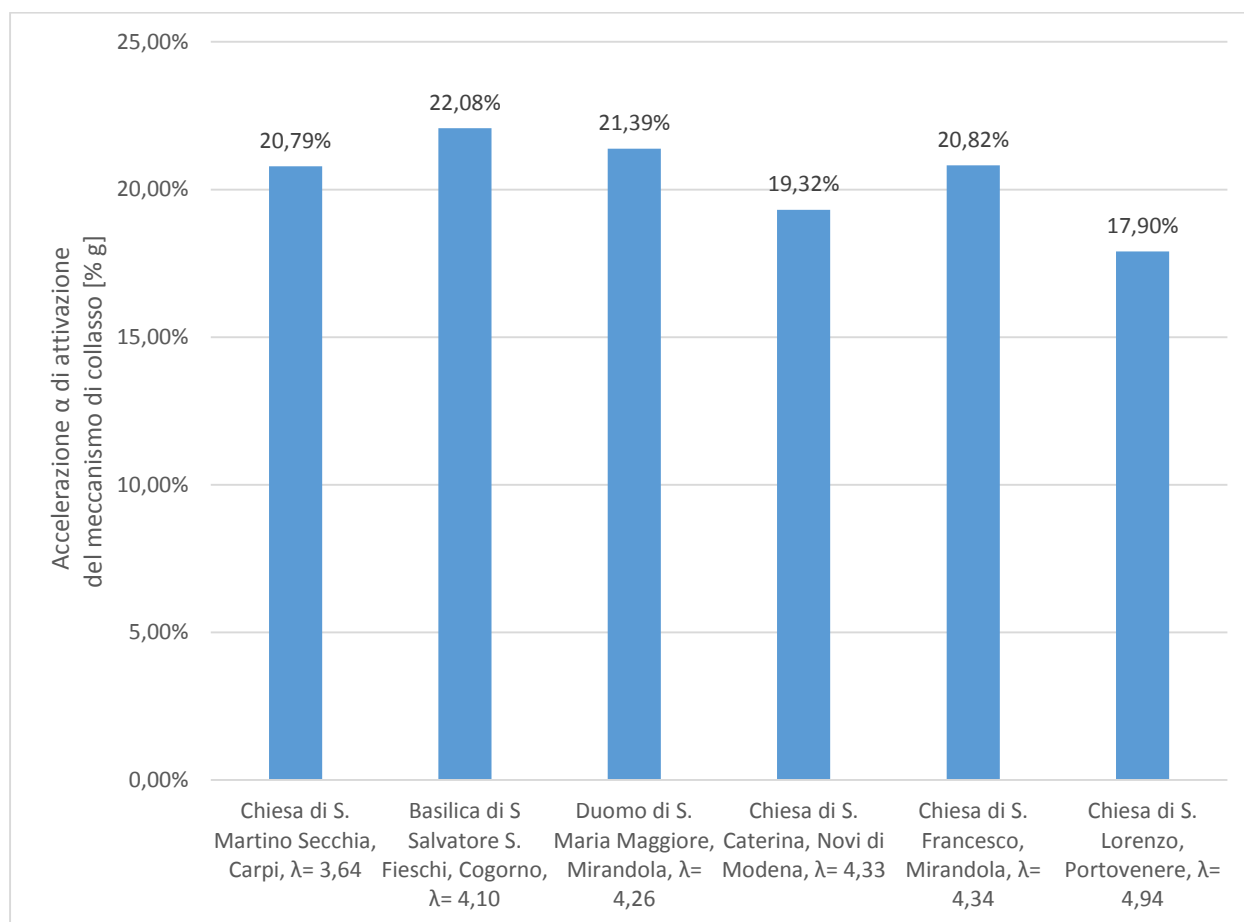


Figura 165 - Valori dell'accelerazione di attivazione del meccanismo di collasso per valori di snellezza prossimi a 4

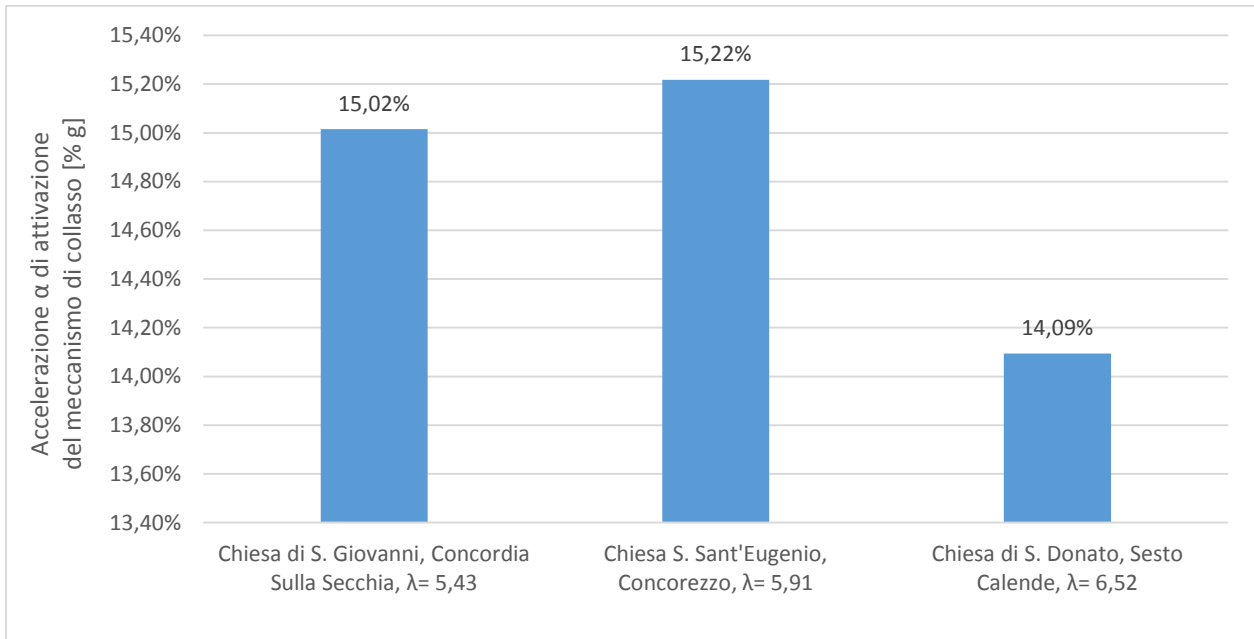


Figura 166 - Valori dell'accelerazione di attivazione del meccanismo di collasso per valori di snellezza prossimi a 6

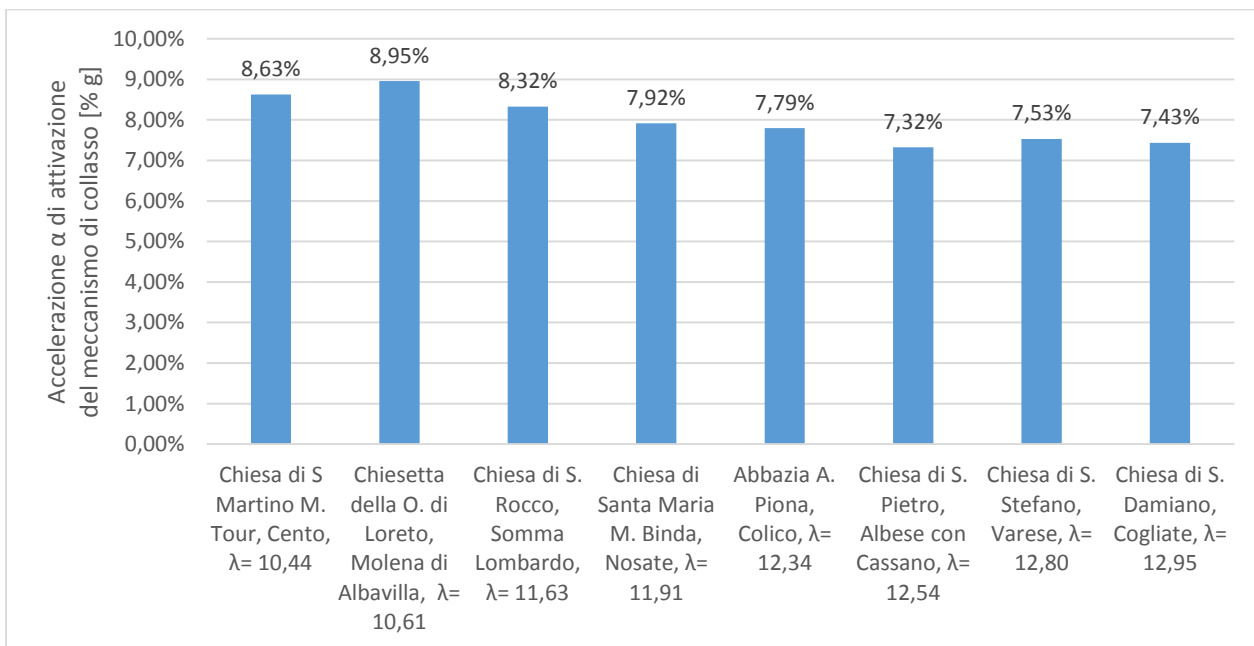


Figura 167 - Valori dell'accelerazione di attivazione del meccanismo di collasso per valori di snellezza compresi tra 10 e 12

Confrontando le caratteristiche geometriche e dimensionali dei casi di studio presentati ai paragrafi 4.2.2 e 4.2.3 con quelli delle chiese che hanno subito danni per il meccanismo di risposta trasversale dell'aula analizzate al paragrafo 4.2.4 è possibile mettere in evidenza come alcuni manufatti edilizi presi come caso di studio presentino valori di snellezza comparabili con quelli di edifici che hanno manifestato crolli in seguito al terremoto dell'Emilia. In particolare si osserva come vi siano diversi esempi di chiese emiliane con valori di snellezza prossimi a 4:



Chiesa	Comune	Snellezza $\lambda$	Accelerazione $\alpha$ [% g]
Duomo di Santa Maria Maggiore	Mirandola	4,26	21,39%
Chiesa di Santa Caterina	Novi di Modena	4,33	19,32%
Chiesa di San Francesco	Mirandola	4,34	20,82%

Tabella 37 - Chiese emiliane con snellezza di valore prossimo a 4

I casi di studio che presentano caratteristiche simili sono:

Chiesa	Comune	Snellezza $\lambda$	Accelerazione $\alpha$ [% g]
Basilica di S. Salvatore dei Fieschi	Cogorno	4,10	22,08%
Chiesa di San Lorenzo	Portovenere	4,94	17,90%

Tabella 38 - Casi di studio con snellezza di valore prossimo a 4

Come mostrato precedentemente i valori dell'accelerazione sono simili.

Altre similitudini dimensionali si possono trovare prendendo in considerazione la Chiesa di San Martino Secchia, le cui pareti presentano snellezza pari a 3,64 e accelerazione pari a 20,79. Casi di studio con valori di simili sono:

Chiesa	Comune	Snellezza $\lambda$	Accelerazione $\alpha$ [% g]
Basilica di San Michele	Oleggio	2,26	38,11%
Chiesa di San Nicolò dell'Isola	Sestri Levante	3,00	31,17%
Basilica di San Vittore	Arsago al Seprio	3,27	27,20%
Chiesa di San Vittore	Brezzo di Bedero	3,38	26,95%

Tabella 39 - Casi di studio con snellezza di valore prossimo a 3

La Chiesa di San Martino di Tour (snellezza  $\lambda = 10,44$ ; accelerazione  $\alpha = 8,63$ ) ha invece caratteristiche simili a:

Chiesa	Comune	Snellezza $\lambda$	Accelerazione $\alpha$ [% g]
Chiesetta della Madonna di Loreto	Molena di Albavilla	10,61	8,95%
Chiesa di San Rocco	Somma Lombardo	11,63	8,32%
Chiesa di Santa Maria in Binda	Nosate	11,91	7,92%
Abbazia di Piona	Colico	12,34	7,79%
Chiesa di San Pietro	Albese con Cassano	12,54	7,32%
Chiesa di Santo Stefano	Varese	12,80	7,53%
Chiesa di San Damiano	Cogliate	12,95	7,43%

Tabella 40 - Casi di studio con snellezza di valore prossimo ad 11

#### 4.9. Parametri di confronto: luce della capriata

Altro parametro che si vuole verificare per effettuare una prima valutazione è la dimensione della luce della capriata. La dimensione della luce è il parametro più facile da misurare durante un sopralluogo, ed è legato al termine della formula semplificata N (carichi provenienti dalla copertura).

Le tabelle Tabella 41, Tabella 42 e Tabella 43 ed i grafici di figura Figura 168, Figura 169 e Figura 170 riassumono i dati presentati al paragrafo 4.3 mettendo in evidenza l'andamento del moltiplicatore dei carichi  $\alpha$  in funzione della luce della capriata rispettivamente per le chiese con pianta ad una navata, a tre navate e per le chiese che hanno subito danni durante l'evento sismico del maggio 2012. Dai grafici si osserva come anche per valori della lunghezza della luce molto vicini, si ottengano accelerazioni molto diverse tra loro. La differenza nei valori è determinata dagli spessori delle pareti portanti, molto diversi tra un manufatto edilizio e l'altro, e quindi da snellezze con comparabili.

Chiesa	Comune	Spessore s [m]	Luce capriata [m]	Accelerazione $\alpha$ [% g]
Chiesetta della Madonna di Loreto	Molena di Albavilla	0,46	5,60	8,95%
Chiesa di Santa Maria in Binda	Nosate	0,40	5,83	7,92%
Chiesa di San Pietro	Albese con Cassano	0,42	7,303	7,32%
Abbazia di Piona	Colico	0,77	7,44	7,79%
Chiesa di Santo Stefano	Varese	0,56	9,81	7,53%
Chiesa di San Rocco	Somma Lombardo	0,89	12,20	8,32%
Chiesa di Santa Maria alla Fonte	Milano	0,60	12,85	5,86%

Tabella 41 - Confronto luce delle capriate e accelerazione delle chiese ad una navata

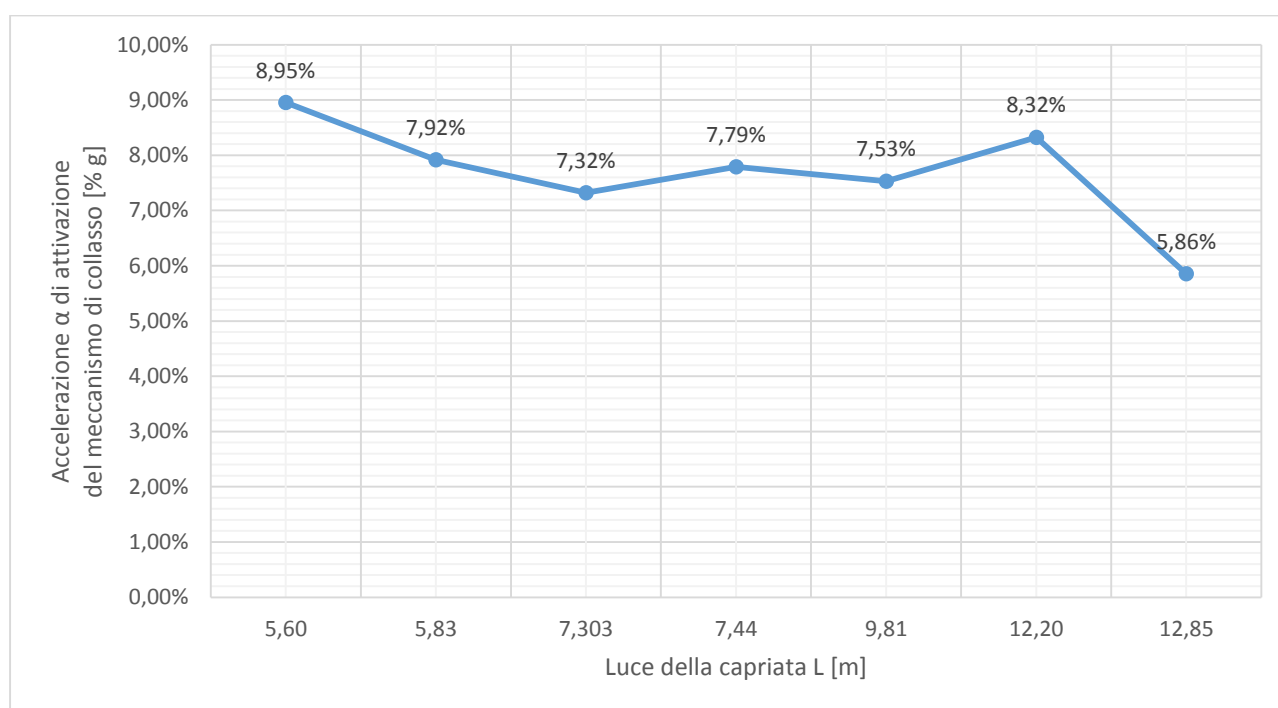


Figura 168 - Andamento del moltiplicatore  $\alpha$  in funzione della luce della capriata delle chiese a una navata

Chiesa	Comune	Spesse s [m]	Luce capriata [m]	Accelerazione $\alpha$ [% g]
Chiesa di San Nicolò dell'Isola	Sestri Levante	0,75	4,60	31,17%
Chiesa di San Donato	Sesto Calende	0,49	5,05	14,09%
Basilica di S. Salvatore dei Fieschi	Cogorno	0,63	6,45	22,08%
Chiesa di San Vittore	Brezzo di Bedero	0,81	7,04	26,95%
Chiesa di Sant'Eugenio	Concorezzo	0,56	7,26	15,22%
Basilica di San Vittore	Arsago al Seprio	0,73	7,76	27,20%
Basilica di San Michele	Oleggio	0,73	8,42	38,11%
Chiesa di San Lorenzo	Portovenere	0,68	9,92	17,90%
Chiesa di San Nicolò dell'Isola	Sestri Levante	0,75	4,60	31,17%

Tabella 42 - Confronto luce delle capriate e accelerazione delle chiese a tre navate

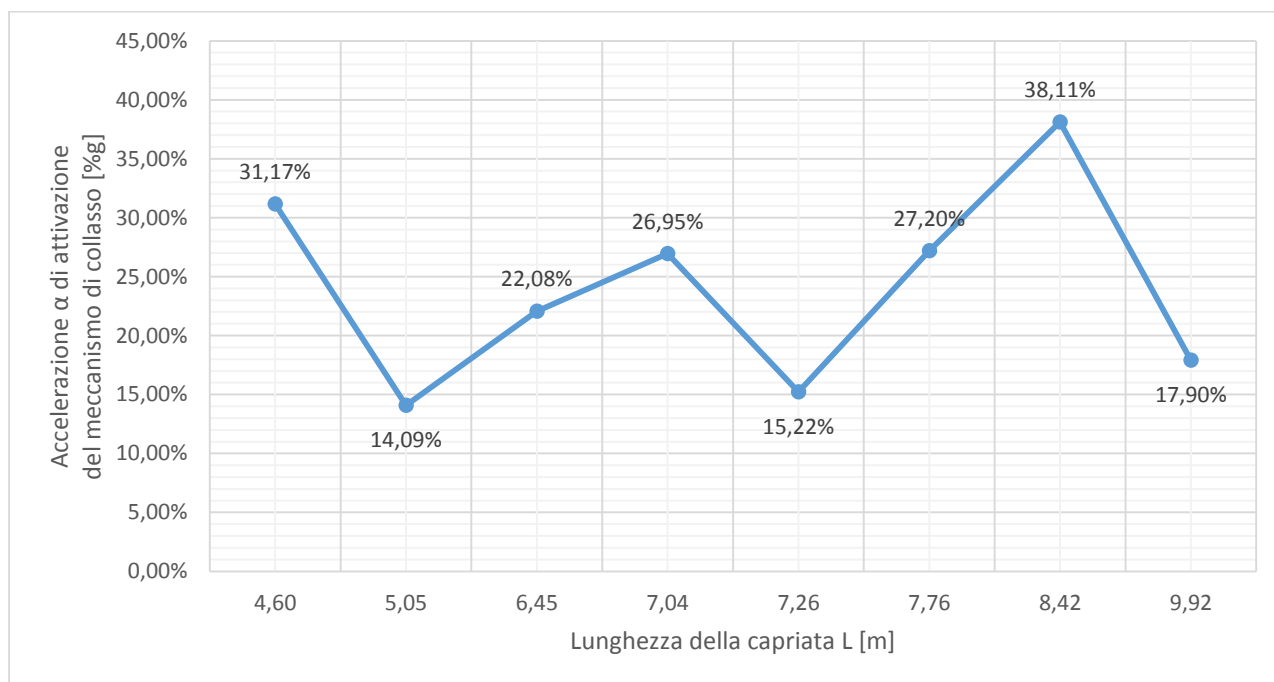


Figura 169 - Andamento del moltiplicatore  $\alpha$  in funzione della luce della capriata delle chiese a tre navate

Chiesa	Comune	Spesse s [m]	Luce capriata [m]	Accelerazione $\alpha$ [% g]
Chiesa di S. Martino Secchia	Carpi	0,44	8,86	20,79%
San Giovanni Battista	Cavezzo	0,53	8,87	4,57%
Chiesa di San Giovanni	Concordia Sulla Secchia	0,47	10,01	15,02%
Duomo di Santa Maria Maggiore	Mirandola	0,92	10,84	21,39%
Chiesa di S. Martino di Tour	Cento	0,50	11,09	8,63%
Chiesa di San Francesco	Mirandola	0,89	12,06	20,82%
Chiesa di S. Egidio	Cavezzo	0,68	12,50	3,92%
Chiesa di Santa Caterina	Novi di Modena	0,60	12,80	19,32%

Tabella 43 - Confronto luce delle capriate e accelerazione delle chiese che hanno subito danni durante il terremoto dell'Emilia

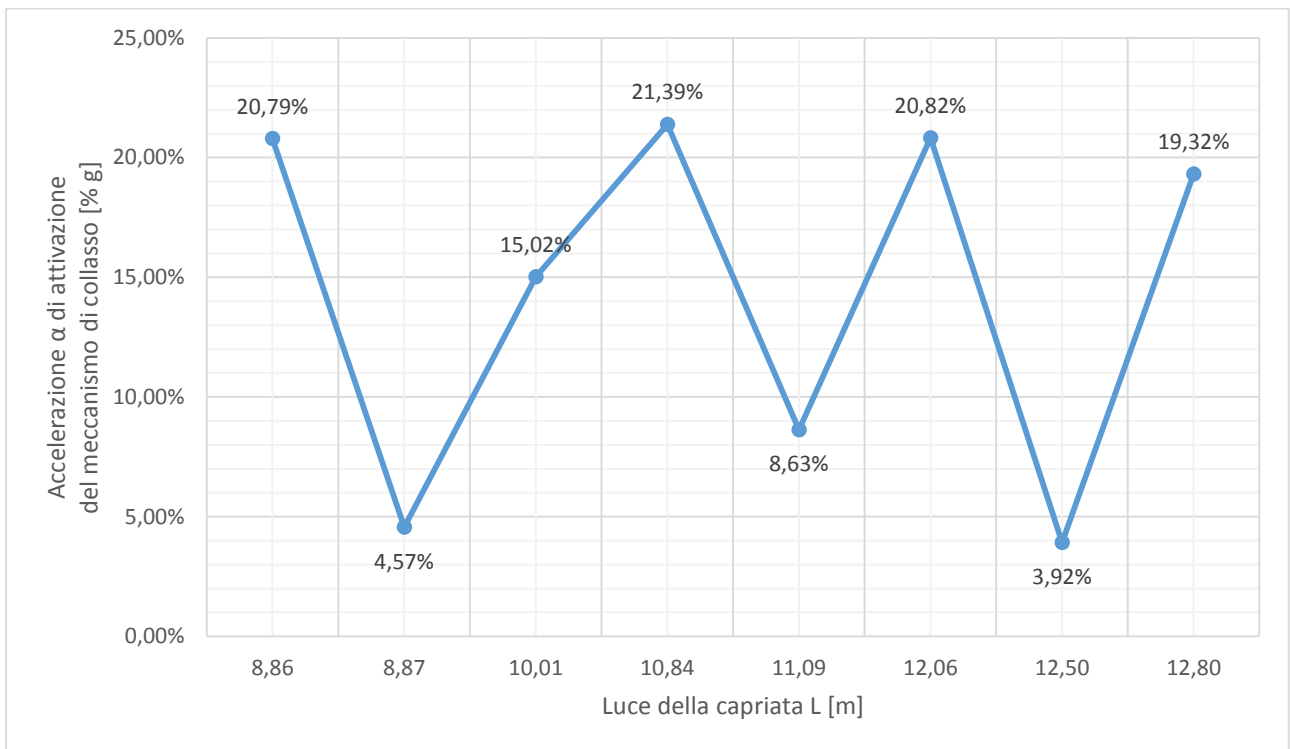


Figura 170 - Andamento del moltiplicatore  $\alpha$  in funzione della luce della capriata delle chiese che hanno subito danni durante il terremoto dell'Emilia

Il grafico di Figura 171 mostra l'andamento del coefficiente c della formula semplificata, presentata al paragrafo 3.5, calcolato come:

$$c = \frac{N + N_o}{N + N_o/2}$$

Il coefficiente c è il termine della formula semplificata per il calcolo del moltiplicatore dei carichi  $\alpha$ , direttamente legato alla luce della capriata: infatti i carichi provenienti dalla copertura dipendono dalle dimensioni della copertura e dai materiali di costruzione. Per chiese che adottano le medesime soluzioni tecnologiche per il pacchetto di copertura, al crescere della luce della capriata corrispondono carichi verticali maggiori, che determinano una riduzione del coefficiente c.

Le dimensioni della luce, possono essere quindi utilizzate per stimare e confrontare il coefficiente c per manufatti edilizi che adottano le medesime soluzioni tecnologiche, ma non è possibile effettuare una comparazione che lega la luce direttamente al moltiplicatore  $\alpha$ : spessore delle pareti, materiali e dimensioni geometriche differenti possono determinare infatti risultati molto diversi fra loro anche in edifici con ampiezze delle navate comparabili.

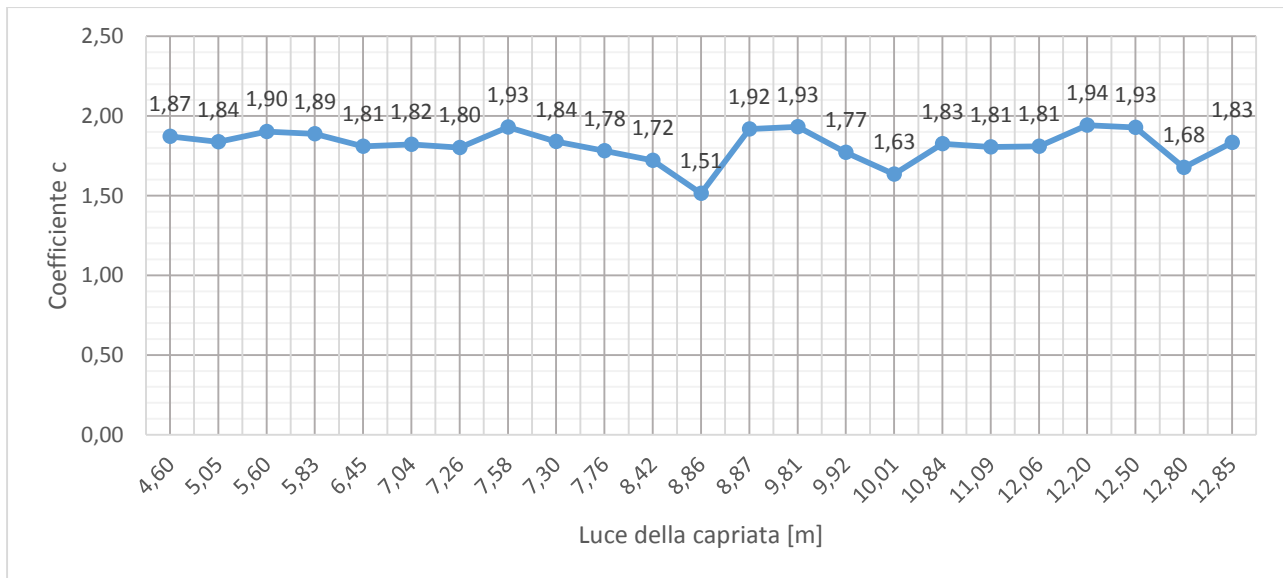


Figura 171 - Andamento del coefficiente c in funzione della luce delle capriate





## 5. Effetti dell'eccentricità della capriata nel calcolo dell'accelerazione di attivazione del meccanismo di collasso

### 5.1. Variazioni nel calcolo dell'accelerazione che attiva il meccanismo di collasso per effetto di eccentricità dei carichi provenienti dalla copertura

Si prende in considerazione il caso in cui la capriata sia collegata alla parete in modo tale da creare un'eccentricità dei carichi provenienti dalla copertura rispetto al baricentro del pannello murario. Si vogliono analizzare gli effetti sul parametro  $\alpha$  (moltiplicatore dei carichi orizzontali, corrispondente all'accelerazione che innesca il meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula) che derivano da una configurazione strutturale di questo tipo.

L'analisi del meccanismo di collasso può essere ridotta all'equilibrio di un corpo rigido sottoposto all'azione del sistema di forze mostrato in Figura 172.

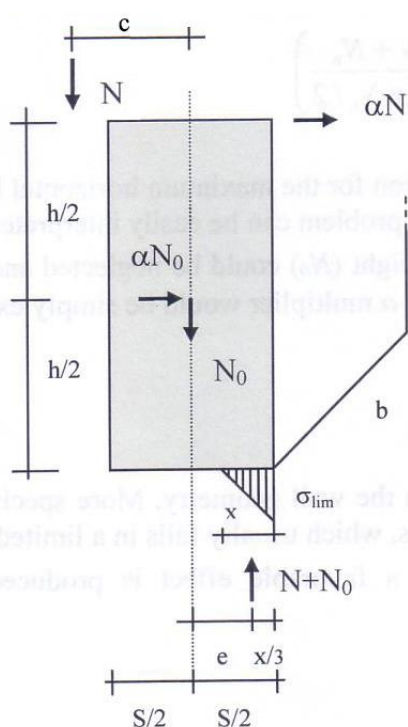


Figura 172 - Configurazione dei carichi, eccentricità dei carichi provenienti dalla copertura

Definiti:

- $\alpha$ , moltiplicatore dei carichi orizzontali, che corrisponde all'accelerazione orizzontale (espresso in g), necessaria per l'attivazione del meccanismo
- $b$ ,  $h$ ,  $s$  dimensioni geometriche delle pareti (lunghezza, altezza, spessore). L'analisi si concentra su una porzione centrale delle chiusure longitudinali di lunghezza  $b$ , tale da non essere influenzata dagli effetti dei vincoli delle pareti trasversali (facciata e transetto). In caso di presenza di aperture nelle murature portanti, la porzione di parete da analizzare è quella compresa tra gli assi di due finestre contigue, mentre il valore della lunghezza  $b$  corrisponde alla parte delimitata dalle aperture.
- $N_0$ , peso della parete
- $N$ , carichi verticali derivanti dalla copertura
- $f_m$ , resistenza a compressione del materiale della parete portante
- $e$ , eccentricità dei carichi assiali totali  $N + N_0$
- $x$ , posizione dell'asse neutro
- $c$ , eccentricità dei carichi provenienti dalla copertura rispetto al baricentro del pannello murario, il valore di  $c$  è assunto positivo se il segmento è sito in direzione opposta al verso dei carichi orizzontali, negativo se invece è posizionato nello stesso verso

Nella situazione mostrata, il coefficiente dei carichi orizzontali  $\alpha$  assume il massimo valore possibile, allo stesso tempo anche l'eccentricità dei carichi verticali è massima, mentre lo stato di sforzo alla base della parete determina il valore massimo della posizione dell'asse neutro  $x$  e della resistenza  $f_m$ .

Dalle equazioni di equilibrio per la traslazione e la rotazione si ottengono.

$$N + N_0 = b \times f_m / 2 \quad (3)$$

$$x/3 = S/2 - e \quad (4)$$

Considerando che:

$$e = \frac{M}{N + N_0} = \frac{\alpha \cdot N \cdot h + \alpha \cdot N_0 \cdot h/2 - N \cdot c}{N + N_0}$$

Si nota come, rispetto al calcolo presentato al paragrafo 3.5 si aggiunge al calcolo del momento un ulteriore contributo determinato dall'eccentricità del carico N proveniente dalla copertura.

Ricavando il valore di x dalle equazioni (3) e (4) ed eguagliando le due espressioni si ottiene:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2N + N_0}{3} \frac{b \cdot f_m}{h} + \frac{N \cdot c}{N + N_0}}{\left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right)}$$

Nel calcolo dell'accelerazione  $\alpha$  subentra quindi un ulteriore contributo dovuto all'eccentricità del carico N.

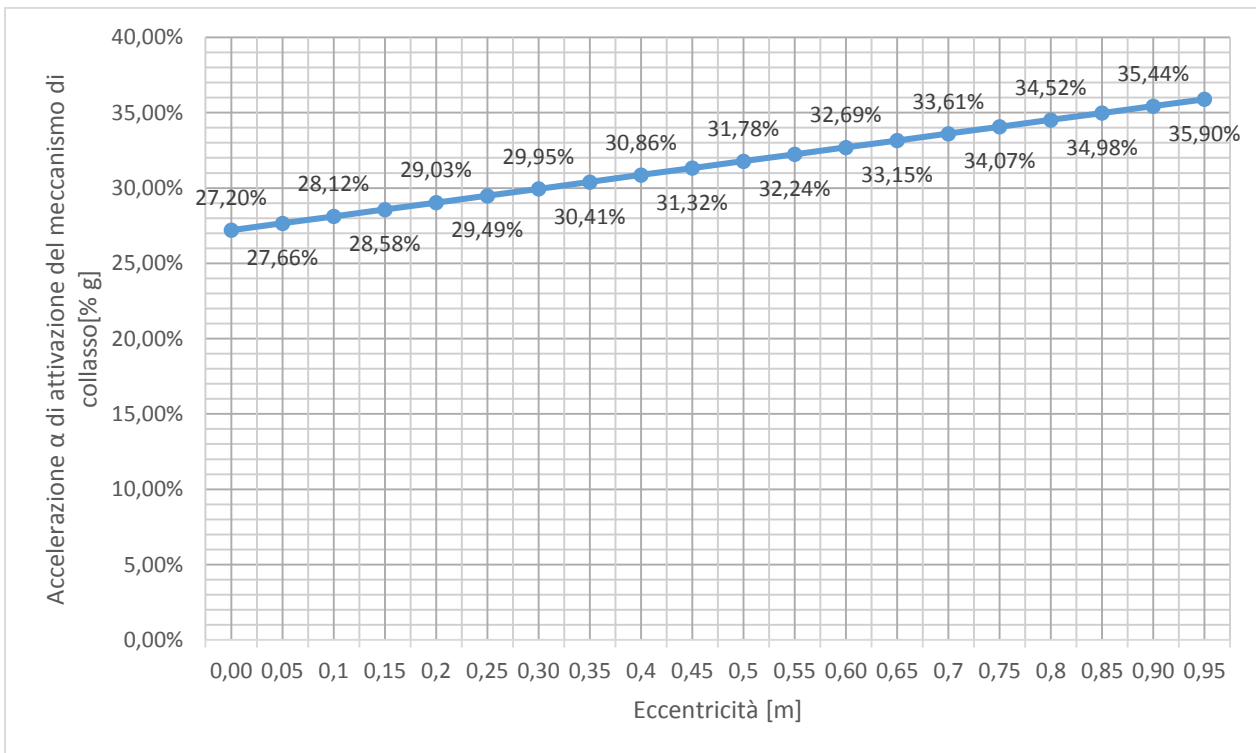


Figura 173 - Andamento dell'accelerazione della Basilica di S. Vittore, Arsago Seprio, per valori positivi dell'eccentricità

La Figura 173 mostra l'andamento dell'accelerazione di attivazione del meccanismo per la Basilica di S. Vittore di Arsago Seprio per valori di c positivi, ossia se l'eccentricità è spostata nella direzione opposta a quella dei carichi orizzontali. Il moltiplicatore dei carichi  $\alpha$  calcolato al paragrafo 1 in assenza di eccentricità ha valore pari a 27,20 % g.

Si nota come aumentando lo scostamento dei carichi verticali, provenienti dalla copertura, dall'asse baricentrale si abbia un progressivo aumento dell'accelerazione di attivazione del meccanismo di collasso. Valori positivi dell'eccentricità c dei carichi provenienti dalla copertura rispetto all'asse baricentrale del pannello murario, determinano quindi conseguenze positive sull'attivazione del meccanismo: il moltiplicatore subisce un incremento; gli effetti sono dunque assimilabili ad un aumento dello spessore del pannello murario e quindi alla diminuzione della snellezza della parete.

La Tabella 44 mostra invece i valori assunti da  $\alpha$  all'aumentare dell'eccentricità e la differenza (espressa in percentuale) dal valore del moltiplicatore dei carichi calcolato in assenza di eccentricità. Si osserva che l'andamento dell'eccentricità e della differenza percentuale è il medesimo: al raddoppiare del primo anche il secondo raddoppia. Da ciò si può dedurre che il rapporto tra questi due valori è costante: in particolare per la Basilica di Arsago Seprio il rapporto vale 0,33643. Si nota inoltre che il valore del rapporto coincide al valore assunto dalla differenza percentuale per eccentricità pari ad 1 m.

Eccentricità	$\alpha_{ecc}$ [% g]	Differenza Percentuale
0,05	27,66%	1,68%
0,1	28,12%	3,36%
0,15	28,58%	5,05%
0,20	29,03%	6,73%
0,25	29,49%	8,41%
0,3	29,95%	10,09%
0,35	30,41%	11,77%
0,4	30,86%	13,46%
0,45	31,32%	15,14%
0,50	31,78%	16,82%
0,55	32,24%	18,50%
0,6	32,69%	20,19%
0,65	33,15%	21,87%
0,7	33,61%	23,55%
0,75	34,07%	25,23%
0,80	34,52%	26,91%
0,85	34,98%	28,60%
0,9	35,44%	30,28%
0,95	35,90%	31,96%

Tabella 44 - Valori dell'accelerazione della Basilica di S. Vittore, Arsago Seprio, per valori positivi dell'eccentricità

La Figura 174 mostra invece l'andamento dell'accelerazione del medesimo edificio per valori negativi dell'eccentricità, ossia se è posizionata in direzione concorde al verso dei carichi orizzontali. Si nota come aumentando lo scostamento dei carichi verticali, provenienti dalla copertura, dall'asse baricentrale si abbia una progressiva diminuzione dell'accelerazione di attivazione del meccanismo di collasso.

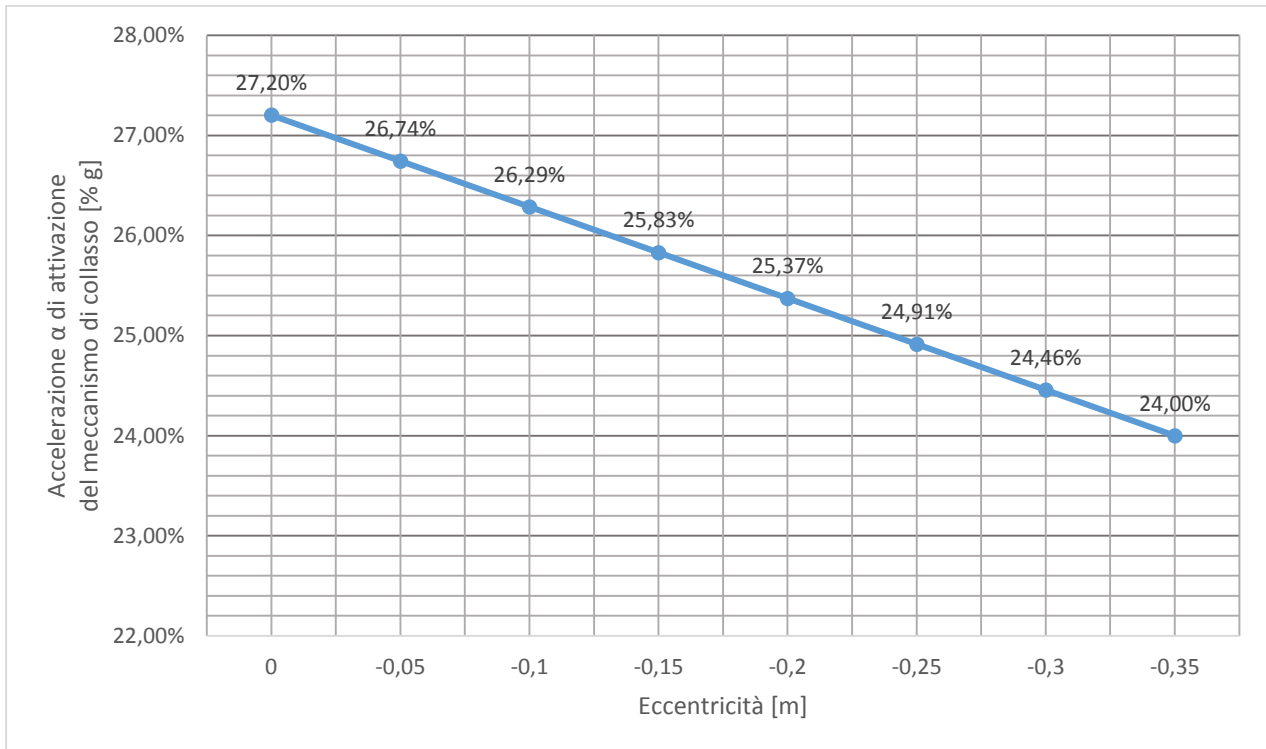


Figura 174 - Andamento dell'accelerazione della Basilica di S. Vittore, Arsago Seprio, per valori negativi dell'eccentricità

La Tabella 45 riassume i valori di  $\alpha$  per eccentricità negative e la differenza (espressa in percentuale) dal valore del moltiplicatore dei carichi calcolato in assenza di eccentricità. Anche in questo caso si osserva come l'andamento dell'eccentricità e della differenza percentuale sia il medesimo: al raddoppiare del primo anche il secondo raddoppia. Il rapporto tra differenza percentuale ed eccentricità è costante ed ha lo stesso valore presentato per valori di eccentricità positivi.

Eccentricità	$\alpha_{ecc}$ [% g]	Differenza Percentuale
-0,05	26,74%	1,68%
-0,1	26,29%	3,36%
-0,15	25,83%	5,05%
-0,2	25,37%	6,73%
-0,25	24,91%	8,41%
-0,3	24,46%	10,09%
-0,35	24,00%	11,77%

Tabella 45 - Valori dell'accelerazione della Basilica di S. Vittore, Arsago Seprio, per valori negativi dell'eccentricità



## 5.2. Effetti dell'eccentricità sul caso di studio della Collegiata di San Vittore di Brezzo di Bedero

La configurazione analizzata al paragrafo 5.1 non è insolita: si manifesta infatti tutte le volte in cui la capriata non è collegata direttamente alla muratura portante, ma è piuttosto vincolata ad una mensola a sua volta collegata alla parete, oppure nel caso in cui la capriata non appoggi nella mezzeria del pannello murario. Gli effetti che questa configurazione comporta non sono trascurabili: lo scostamento dalla mezzeria della parete dei carichi verticali, anche se di poche decine di centimetri, causa una riduzione del moltiplicatore spesso significativa.

La Chiesa Collegiata di S. Vittore di Brezzo di Bedero, presentata al capitolo 4, ha una configurazione del nodo strutturale tra parete in muratura portante e capriata in legno che può dare luogo ad eccentricità dei carichi provenienti dalla copertura. Si vuole quindi valutare la differenza nei risultati del calcolo dell'accelerazione tramite le formule presentate ai paragrafi 3.5 e 5.1 in modo da quantificare gli effetti dell'eccentricità.



Figura 175 - Soffitto della Collegiata di Brezzo di Bedero Rif. Bibliog. [81]

s [m]	b [m]	h [m]	f <sub>m</sub> [MPa]	N [kN]	N <sub>0</sub> [kN]	α [g]
0,813	3,32	2,75	115,6	20,93	192,32	26,95%

Tabella 46 - Dati Collegiata Brezzo di Bedero

Considerando il termine della capriata coincidente con il filo della parete in muratura della navata centrale si considera un valore di eccentricità pari a 0,41 m. Si ottiene dunque, considerando il valore dell'eccentricità positivo:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m} - \frac{N \cdot c}{N + N_0}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 29,59 \% g$$

Si ha quindi un incremento del valore del moltiplicatore dei carichi pari a 2,65 % g (corrispondente al 9,82% del valore di  $\alpha$  che trascura gli effetti dell'eccentricità).

Analizzando invece la situazione contraria, ossia considerando un valore dell'eccentricità negativa, con la capriata posizionata sul filo della parete, si ha un valore di  $c$  pari a - 0,41 m

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_o}{b \cdot f m} - \frac{N \cdot c}{N + N_o}}{h} \left( \frac{N + N_o}{N + N_o/2} \right) = 24,28 \% g$$

Si ha pertanto un decremento del valore del moltiplicatore dei carichi pari a 2,67 % g (corrispondente al 9,91% del valore di  $\alpha$  che trascura gli effetti dell'eccentricità).

## 6. Effetti di una forza orizzontale nel calcolo dell'accelerazione di attivazione del meccanismo di collasso

### 6.1. Variazioni nel calcolo dell'accelerazione di attivazione del meccanismo di collasso per effetto di una spinta statica orizzontale

Si prende in considerazione il caso in cui la capriata sia collegata alla parete in modo tale da creare una spinta statica orizzontale derivante dai carichi della copertura. Si vogliono analizzare gli effetti sul parametro  $\alpha$  (moltiplicatore dei carichi orizzontali, corrispondente all'accelerazione che innesca il meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula) che derivano da una configurazione strutturale di questo tipo.

L'analisi del meccanismo di collasso può essere ridotta all'equilibrio di un corpo rigido sottoposto all'azione del sistema di forze mostrato in Figura 176.

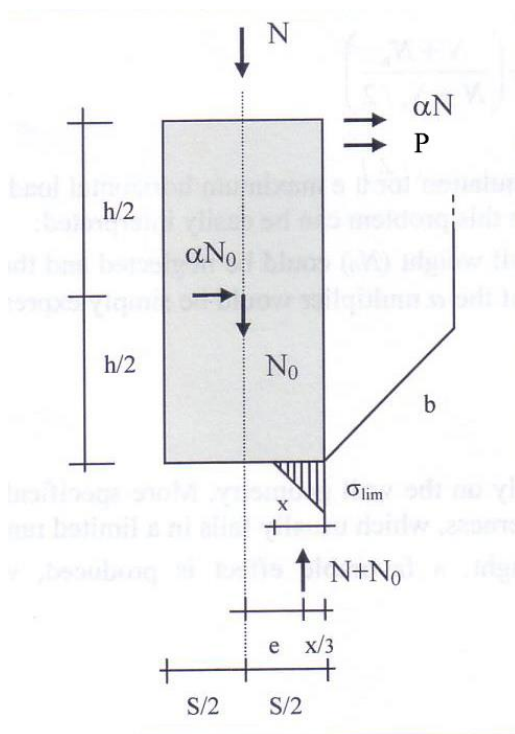


Figura 176 - Configurazione dei carichi, spinta statica proveniente dalla copertura

Definiti:

- $\alpha$ , moltiplicatore dei carichi orizzontali, che corrisponde all'accelerazione orizzontale (espresso in g), necessaria per l'attivazione del meccanismo
- $b, h, s$  dimensioni geometriche delle pareti (lunghezza, altezza, spessore). L'analisi si concentra su una porzione centrale delle chiusure longitudinali di lunghezza  $b$ , tale da non essere influenzata dagli effetti dei vincoli delle pareti trasversali (facciata e transetto). In caso di presenza di aperture nelle murature portanti la porzione di parete da analizzare è quella compresa tra gli assi di due finestre contigue, mentre il valore della lunghezza  $b$  corrisponde alla parte delimitata dalle aperture.
- $N_0$ , peso della parete
- $N$ , carichi verticali derivanti dalla copertura
- $f_m$ , resistenza a compressione del materiale della parete portante
- $e$ , eccentricità dei carichi assiali totali  $N + N_0$
- $x$ , posizione dell'asse neutro
- $P$ , spinta statica orizzontale proveniente dalla copertura

Nella situazione mostrata, il coefficiente dei carichi orizzontali  $\alpha$  assume il massimo valore possibile, allo stesso tempo anche l'eccentricità dei carichi verticali è massima, mentre lo stato di sforzo alla base della parete determina il valore massimo della posizione dell'asse neutro  $x$  e della resistenza  $f_m$ .

Dalle equazioni di equilibrio per la traslazione e la rotazione si ottengono.

$$N + N_0 = b \times f_m / 2 \quad (5)$$

$$x/3 = s/2 - e \quad (6)$$

Considerando che:

$$e = \frac{M}{N + N_0} = \frac{\alpha \cdot N \cdot h + \alpha \cdot N_0 \cdot \frac{h}{2} + P \cdot h}{N + N_0}$$

Ricavando il valore di x dalle equazioni (5) e (6) ed eguagliando le due espressioni si ottiene:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m} - \frac{P \cdot h}{N + N_0}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right)$$

Considerando il caso di una copertura con capriata senza catena le spinte provenienti dalla copertura sono calcolabili come:

$$P = N \sin \alpha \cos \alpha$$

Dove  $\alpha$  indica l'angolo di inclinazione della falda di copertura.

Definiti:

t, altezza della linea di colmo rispetto alla quota di gronda

f, lunghezza di falda della copertura

L, luce della capriata

Si può calcolare:

$$\sin \alpha = \frac{t}{f}$$

$$\cos \alpha = \frac{(L/2)}{f}$$

Si ricava dunque la spinta in copertura come:

$$P = N \cdot \frac{t}{f} \cdot \frac{(L/2)}{f} = \frac{N \cdot t \cdot L/2}{f^2} = \frac{N \cdot t \cdot L/2}{\left(\sqrt{t^2 + (L/2)^2}\right)^2} = \frac{N \cdot t \cdot L/2}{t^2 + \frac{L^2}{4}}$$

L'accelerazione può dunque essere calcolata come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m} - \frac{\frac{h \cdot t \cdot L/2 \cdot N}{t^2 + \frac{L^2}{4}}}{(N + N_0)}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right)$$

La presenza di una spinta statica orizzontale, concorde con i carichi orizzontali di inerzia, determina l'aggiunta nell'espressione di un ulteriore termine di segno negativo che porta ad una diminuzione dell'accelerazione di attivazione del meccanismo di collasso. Il decremento del valore dell'accelerazione è funzione del peso della copertura e della configurazione geometrica della falda. In generale all'aumento del peso della copertura corrisponde un maggiore decremento dell'accelerazione dal valore di partenza. Inoltre l'inclinazione della falda influenza il valore della spinta, modificando di conseguenza l'accelerazione: ad inclinazioni minori corrispondono valori maggiori della spinta e quindi un decremento maggiore dell'accelerazione di attivazione del meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula.

Le azioni spingenti provenienti dalla copertura sono tipiche delle carpenterie più semplici, costituite da puntoni disposti tra la trave di colmo longitudinale e le pareti perimetrali, in modo da formare un tetto a capanna. Una spinta statica sui pannelli murari insorge nei casi in cui la copertura sia sorretta da elementi strutturali privi di catena e la conformazione del nodo di raccordo tra parete in muratura e copertura sia tale che l'interfaccia tra le testate delle travi, che trasmettono il carico, e la muratura che lo riceve non sia orizzontale. Queste spinte si possono invece evitare sagomando in maniera appropriata gli estremi dei due elementi coinvolti.

Nelle configurazioni più complesse di coperture sorrette da capriate lignee, le spinte statiche orizzontali si generano se le testate delle travi non sono sagomate in modo adeguato (come accade per le strutture più semplici) oppure quando le deformazioni subite dagli elementi lignei non sono più trascurabili. Altre situazioni che generano spinte sono l'introduzione di puntellature negli ambienti di sottotetto per ridurre l'inflessione di travi di sezione insufficiente o, con effetti minori e spesso trascurabili, la configurazione degli arcarecci che, seppure orientati in parallelo alle linee di gronda, possono generare una spinta dovuta alla giacitura inclinata degli appoggi rispetto ai puntoni che formano la pendenza di falda. L'appoggio inclinato impone infatti alle travi una rotazione che determina una componente orizzontale delle reazioni vincolari e spinte complanari ai timpani. Una soluzione per evitare le azioni orizzontali derivanti dagli arcarecci è realizzare piani di posa solidali al puntone tramite l'applicazione di cunei in corrispondenza degli appoggi degli arcarecci e cunei solidali all'arcareccio in corrispondenza dell'appoggio del muro.

## 6.2. Effetti della spinta statica sul caso di studio della Chiesa di San Pietro di Albese con Cassano



Figura 177 - Chiesa di S. Pietro - Rif. Bibliog. [56]

La Chiesa di San Pietro, descritta al capitolo 4 presenta, come molti altri edifici di culto di piccole dimensioni, una copertura con configurazione strutturale a capanna, priva di una catena che permetta l'annullarsi della spinta orizzontale sul pannello murario. Si vuole quindi valutare la differenza nei risultati del calcolo dell'accelerazione tramite le formule presentate ai paragrafi 3.5 e 6.1 in modo da quantificare gli effetti della spinta statica, supponendo che questa non sia stata limitata, attraverso una ideale configurazione del nodo strutturale, in fase di costruzione.

La Tabella 47 riporta i dati geometrico-dimensionali utilizzati per il calcolo.

s [m]	b [m]	h [m]	L [m]	t [m]	$f_m$ [MPa]	N [kN]	$N_0$ [kN]	$\alpha$ [g]
0,42	6,30	5,21	7,303	1,28	150	35,19	365,68	7,32 %

Tabella 47 - Dati utilizzati nel calcolo dell'accelerazione di attivazione considerando gli effetti della spinta statica



Si calcola la spinta P come:

$$P = \frac{N \cdot t \cdot L/2}{t^2 + \frac{L^2}{4}} = 10,99 \text{ kN}$$

L'accelerazione  $\alpha$ , tenendo conto del contributo dovuto alla spinta statica orizzontale, si calcola come:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m} - \frac{\frac{h \cdot t \cdot L/2 \cdot N}{t^2 + \frac{L^2}{4}}}{(N + N_0)}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) = 2,28 \%$$

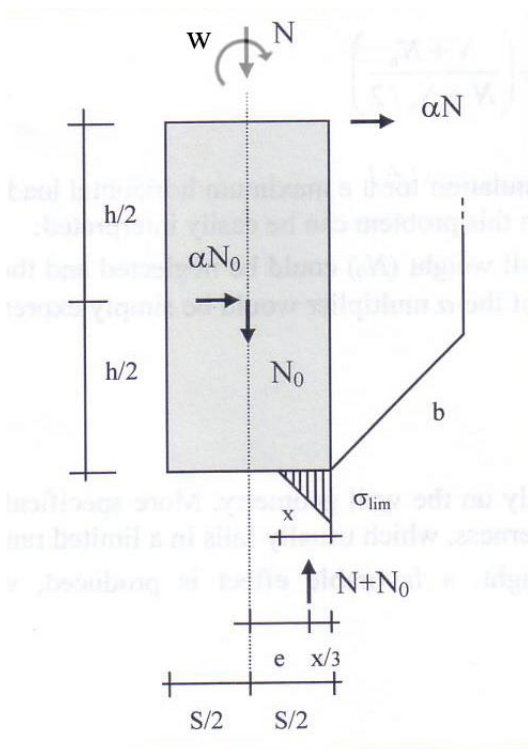
Si ha dunque un decremento del valore del moltiplicatore dei carichi da 7,32 % g a 2,28 % g. Il dato è stato ottenuto prendendo in considerazione la peggiore situazione possibile, ossia che in fase di costruzione non sia stato utilizzato alcun accorgimento per limitare la formazione di una spinta statica.

## 7. Grado di vincolo della capriata alla parete muraria

### 7.1. Variazioni nel calcolo dell'accelerazione che attiva il meccanismo di collasso per effetto di eccentricità dei carichi provenienti dalla copertura

La formula per l'analisi del meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula presentata al paragrafo 3.5, considera gli effetti della capriata quando è collegata alla muratura tramite un vincolo di semplice appoggio, trascurando quindi la trasmissione di momento tra elemento ligneo e pannello murario. Tuttavia, per chiese con aule di luci limitate e configurazioni del nodo strutturale tra capriata e parete per cui le travi vengono in parte inglobate nella muratura, il vincolo può essere considerato non più come semplice appoggio ma come incastro, tale quindi da trasferire momento. Nasce allora un contributo flessionale non trascurabile derivante dai carichi della copertura.

L'analisi del meccanismo di collasso può essere dunque ricondotta all'equilibrio di un corpo rigido sottoposto all'azione del sistema di forze mostrato in Figura 178.



Definiti:

- $\alpha$ , moltiplicatore dei carichi orizzontali, che corrisponde all'accelerazione orizzontale (espresso in g), necessaria per l'attivazione del meccanismo
- $b, h, s$  dimensioni geometriche delle pareti (lunghezza, altezza, spessore). L'analisi si concentra su una porzione centrale delle chiusure longitudinali di lunghezza  $b$ , tale da non essere influenzata dagli effetti dei vincoli delle pareti trasversali (facciata e transetto). In caso di presenza di aperture nelle murature portanti la porzione di parete da analizzare è quella compresa tra gli assi di due finestre contigue, mentre il valore della lunghezza  $b$  corrisponde alla parte delimitata dalle aperture.
- $N_0$ , peso della parete
- $N$ , carichi verticali derivanti dalla copertura
- $f_m$ , resistenza a compressione del materiale della parete portante
- $e$ , eccentricità dei carichi assiali totali  $N + N_0$
- $x$ , posizione dell'asse neutro
- $W$ , momento derivante dai carichi di copertura

Figura 178 - Configurazione dei carichi, vincolo di incastro tra capriata e muratura

Nella situazione mostrata, il coefficiente dei carichi orizzontali  $\alpha$  assume il massimo valore possibile, allo stesso tempo anche l'eccentricità dei carichi verticali è massima, mentre lo stato di sforzo alla base della parete determina il valore massimo della posizione dell'asse neutro  $x$  e della resistenza  $f_m$ .

Dalle equazioni di equilibrio per la traslazione e la rotazione si ottengono.

$$N + N_0 = b \times f_m / 2 \quad (7)$$

$$x/3 = S/2 - e \quad (8)$$

Considerando che:

$$e = \frac{M}{N + N_0} = \frac{\alpha \cdot N \cdot h + \alpha \cdot N_0 \cdot h/2 - W}{N + N_0}$$

Ricavando il valore di  $x$  dalle equazioni (7) e (8) ed eguagliando le due espressioni si ottiene:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m} - \frac{W}{N + N_0}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right)$$

Il contributo flessionale può essere calcolato considerando la configurazione di una copertura inclinata:

$$W = N \cdot L/4$$

Dove  $L$  rappresenta la luce della capriata

L'espressione dell'accelerazione diventa dunque:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f_m} - \frac{N \cdot L}{4(N + N_0)}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right)$$

## 7.2. Effetti del vincolo ad incastro sui casi di studio

La Tabella 48 e la Tabella 49 permettono di confrontare l'accelerazione di attivazione del meccanismo calcolata tramite la formula presentata al paragrafo 3.5 e l'espressione che tiene conto degli effetti del vincolo di incastro tra capriata lignea e parete in muratura. Il calcolo prende in considerazione la situazione limite in cui il vincolo tra capriata e parete portante sia schematizzabile come incastro perfetto.

Si può osservare che il vincolo fornisce un contributo importante alla resistenza della struttura: si hanno infatti variazioni significative nei valori dell'accelerazione che ha incrementi non trascurabili. Si nota inoltre, come ad avere i maggiori benefici siano le chiese che presentano valori di snellezza minori.

Chiesa	Comune	N	No	s	b	h	f <sub>m</sub>	L	α	α <sub>w</sub>
		[kN]	[kN]	[m]	[m]	[m]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[m]	[% g]	[% g]
Chiesa di San Pietro	Albese con Cassano	35,19	365,68	0,42	6,30	5,22	150,00	7,303	7,32%	12,97%
Chiesetta della Madonna di Loreto	Molena di Albavilla	28,60	529,57	0,46	8,90	4,86	150,00	5,60	8,95%	11,76%
Chiesa di Santa Maria alla Fonte	Milano	256,10	2565,08	0,60	24,40	9,35	56,00	12,85	5,86%	11,57%
Abbazia di Piona	Colico	92,79	2427,96	0,77	13,55	9,50	105,00	7,44	7,79%	9,18%
Chiesa di San Rocco	Somma Lombardo	86,37	2789,44	0,89	11,60	10,37	115,60	12,20	8,32%	10,04%
Chiesa di Santa Maria in Binda	Nosate	33,52	530,26	0,40	10,59	4,82	173,00	5,83	7,92%	11,31%
Chiesa di Santo Stefano	Varese	16,63	452,76	0,56	4,34	7,17	115,60	9,81	7,53%	9,87%

Tabella 48 - Variazione dell'accelerazione di attivazione per gli effetti del vincolo ad incastro per i casi di studio di chiese ad una navata

Chiesa	Comune	N	No	s	b	h	f <sub>m</sub>	L	α	α <sub>w</sub>
		[kN]	[kN]	[m]	[m]	[m]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[m]	[% g]	[% g]
Basilica di San Vittore	Arsago al Seprio	23,67	168,21	0,73	3,67	2,40	115,60	7,76	27,20%	44,95%
Chiesa di San Vittore	Brezzo di Bedero	20,93	192,32	0,81	3,32	2,75	115,60	7,04	26,95%	38,40%
Chiesa di San Donato	Sesto Calende	12,41	128,83	0,49	3,19	3,20	173,00	5,05	14,09%	20,47%
Chiesa di Sant'Eugenio	Concorezzo	86,68	701,70	0,56	20,35	3,30	56,00	7,26	15,22%	26,12%
Basilica di San Michele	Oleggio	13,93	72,01	0,73	2,32	1,65	173,00	8,42	38,11%	73,69%
Chiesa di San Lorenzo	Portovenere	54,13	363,23	0,68	5,98	3,36	186,70	9,92	17,90%	34,85%
Chiesa di San Nicolò dell'Isola	Sestri Levante	72,22	977,44	0,75	20,36	2,25	156,00	4,60	31,17%	37,75%
Basilica di S. Salvatore dei Fieschi	Cogorno	19,28	163,69	0,63	3,54	2,58	156,00	6,45	22,08%	33,99%

Tabella 49 - Variazione dell'accelerazione di attivazione per gli effetti del vincolo ad incastro per i casi di studio di chiese a tre navate





## 8. Sviluppi futuri

### 8.1. Fattore di forma

Il meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula, come considerato nell'espressione semplificata con l'approccio cinematico dell'analisi limite fino a qui analizzata, si verifica per parti di una chiesa sufficientemente distanti da facciata ed abside, elementi che rappresentano un vincolo che limita il ribaltamento delle pareti longitudinali per effetto dei carichi al di fuori del piano. E' necessaria quindi un'analisi degli effetti che questi elementi determinano sul cinematico.

Una prima analisi può essere basata sull'utilizzo di un coefficiente di forma che consideri le dimensioni principali dell'aula di una chiesa:

$$F_F = L/A$$

Dove:

L, luce della capriata considerata per il calcolo dell'accelerazione di attivazione del meccanismo,

A, lunghezza dell'aula o delle navate

La Tabella 50 riporta il calcolo dei coefficienti di forma calcolati per le chiese caso di studio che hanno subito danni durante il terremoto dell'Emilia. L'analisi dei danni subiti è stata presentata al capitolo 2.

Chiesa	Paese	L [m]	A [m]	F <sub>F</sub>
Chiesa di San Giovanni	Concordia Sulla Secchia	10,01	20,09	0,498
Duomo di Santa Maria Maggiore	Mirandola	10,84	51,59	0,210
Chiesa di San Francesco	Mirandola	12,06	47,72	0,253
Chiesa di Santa Caterina	Novi di Modena	12,8	25,45	0,503
Chiesa di S. Martino Secchia	Carpi	8,86	21,00	0,422
San Giovanni Battista	Cavezzo	8,87	18,24	0,486
Chiesa di S. Egidio	Cavezzo	12,5	28,64	0,437
Chiesa di S. Martino di Tour	Cento	11,09	30,00	0,370

Tabella 50 - Fattore di forma per le chiese caso di studio che hanno subito danni durante il terremoto dell'Emilia

Si può notare come le chiese analizzate, che hanno subito danni per gli effetti del meccanismo, abbiano un fattore di forma piuttosto basso, ossia la dimensione della luce della capriata è decisamente inferiore alla lunghezza delle navate che costituiscono l'aula. In modo particolare si nota che la dimensione della luce della capriata è compresa tra un quarto e metà della lunghezza dell'aula.

La Tabella 51 mostra invece il rapporto tra la porzione di parete laterale considerata nel calcolo dell'accelerazione e la lunghezza totale della navata. I valori assunti dal rapporto possono essere molto diversi a seconda che siano presenti o meno vani finestra e della distanza fra questi.

Chiesa	Paese	b [m]	A [m]	b/A [%]
Chiesa di San Giovanni	Concordia Sulla Secchia	4,02	20,09	20 %
Duomo di Santa Maria Maggiore	Mirandola	8,9	51,59	17 %
Chiesa di San Francesco	Mirandola	10,6	47,72	22 %
Chiesa di Santa Caterina	Novi di Modena	25,45	25,45	100 %
Chiesa di S. Martino Secchia	Carpi	3,25	21,00	15 %
San Giovanni Battista	Cavezzo	12,18	18,23	67 %
Chiesa di S. Egidio	Cavezzo	5,16	28,64	18 %
Chiesa di S. Martino di Tour	Cento	6,5	30,00	22 %

Tabella 51 - Rapporto tra la dimensione della porzione di muratura utilizzata per il calcolo e lunghezza dell'aula

Il meccanismo di collasso in esame si verifica quando i vincoli determinati dalla facciata e dall'abside sono sufficientemente distanti da non limitare totalmente gli effetti del ribaltamento. Quindi al fine di valutare al meglio il moltiplicatore dei carichi  $\alpha$  che attiva il cinematismo è opportuno in studi successivi, che riguardino il meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula, quantificare in modo appropriato il contributo positivo di questi elementi.

Il contributo portato da facciata e zona absidale, potrebbe essere considerato attraverso fattori correttivi che tengano conto del fattore di forma sopra proposto, della percentuale di parete considerata nel calcolo e della lunghezza della navata. Una prima analisi per determinare tali coefficienti può derivare dall'osservazione sistematica dei danni alle chiese, attraverso la comparazione di manufatti edilizi che hanno subito danni in misura diversa o che non ne hanno subiti.

## 8.2. Effetto diaframma

Gli interventi di ristrutturazione che operano sulle modalità di assemblaggio della carpenteria lignea del tetto, realizzando miglioramenti relativi alla connessione fra arcarecci e travicelli hanno effetti rilevanti sugli stati deformativi e sul comportamento meccanico di un manufatto edilizio. Migliorare le connessioni può infatti portare la copertura a comportarsi come un diaframma rigido, assumendo quindi un ruolo positivo nel limitare le deformazioni ed il ribaltamento al di fuori del piano.

Per tenere conto degli effetti di un comportamento, caratterizzato da maggiore rigidità della copertura si può intervenire sulla formula analizzata determinando coefficienti diversi in funzione del tipo di connessione e del grado di rigidità che esse sono in grado di conferire alla struttura. Obiettivo per studi futuri potrebbe essere quello di determinare coefficienti standardizzati che possano essere utilizzati in diverse analisi per edifici con gradi di connessione diversi, in modo da permettere di valutare con maggiore attenzione il moltiplicatore dei carichi e poter confrontare edifici diversi senza differenze dovute a metodologie di calcolo differenti.

## 9. Interventi di recupero strutturale per migliorare il comportamento di una chiesa al meccanismo di risposta trasversale dell'aula

Le strutture di copertura hanno una notevole influenza sui fenomeni di dissesto degli edifici tanto, che i difetti costruttivi del tetto ne costituiscono spesso gli effetti scatenanti. Proprio per questa criticità strutturale gli interventi di consolidamento della copertura sono capaci di produrre un forte miglioramento della configurazione statica e della risposta sismica dell'intero organismo edilizio [49]. Intervenire sulla copertura incide positivamente anche sul meccanismo di risposta trasversale dell'aula, effettuando un irrigidimento controllato delle falde, in modo da limitare i cinematismi di ribaltamento che generano il fenomeno.

Le norme antisismiche in vigore a partire negli anni settanta, che prevedevano la sistematica sostituzione dei solai in legno con nuovi orizzontamenti in latero-cemento soprattutto a livello delle coperture, hanno generato un notevole numero di interventi di sostituzione anche sulle chiese. L'obiettivo di tale ammodernamento era ottenere configurazioni scatolari, che tramite l'aumento della resistenza e rigidezza determinato dai nuovi solai, rispondessero ai modelli di verifica in vigore. Lavori di questo genere determinano un aumento considerevole del peso della copertura, che in parte amplifica le forze sismiche ma allo stesso tempo determina un aumento della resistenza a taglio della muratura che sembrava prevalere sulle controindicazioni. I recenti terremoti hanno messo in luce come la risposta sismica degli edifici consolidati con questi criteri non sia di semplice analisi: i modelli di calcolo in uso non tenevano conto di effetti secondari capaci di modificare negativamente il comportamento atteso. Uno di questi fenomeni è l'*effetto trave*: a causa dell'eccessiva rigidezza i cordoli dei solai in latero-cemento, che dovrebbero distribuire in modo uniforme i carichi sulla muratura sottostante, trasmettono azioni concentrate alle estremità, comportandosi come una trave e conseguentemente scaricando la muratura sottostante. Le porzioni di muratura, private dell'effetto stabilizzante delle compressioni, rimangono dunque più sensibili al ribaltamento causato dalle azioni fuori piano e i pochi benefici introdotti dalla copertura pesante vengono annullati. Inoltre i movimenti rotazionali delle pareti non sono congruenti con il profilo di imposta della copertura rigida, per cui risulta inevitabile il distacco di alcuni tratti di muratura. L'eccessivo irrigidimento della copertura rende inoltre di difficile lettura il comportamento dinamico della struttura, causando grosse difficoltà nell'applicazione del metodo dei meccanismi di collasso, basati sull'osservazione dei meccanismi ripetitivi osservati nelle costruzioni tradizionali. Gran parte degli edifici che hanno subito interventi di sostituzione della copertura, come appena descritto si sono nuovamente danneggiati durante gli eventi sismici successivi ai lavori di consolidamento e hanno dimostrato comportamenti anomali rispetto ai modelli di analisi utilizzati per le verifiche sismo-statiche.

Si evidenzia dunque l'importanza di interventi che irrigidiscano la struttura e limitino gli effetti di ribaltamento senza aumentare considerevolmente il peso della copertura originale. Le osservazioni ai danni subiti dagli edifici, confermano infatti quanto emerso al paragrafo 4.7 dalla formula semplificata per l'analisi dell'accelerazione di attivazione del meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula: maggior peso in copertura determina l'abbassamento del moltiplicatore dei carichi necessario all'attivazione del cinematismo.

### 9.1. Cordoli sommitali

Per ottenere un miglioramento significativo del comportamento d'insieme della struttura può essere utile l'inserimento di cordoli sommitali. Le funzioni strutturali dei cordoli consistono nell'assorbire le sollecitazioni assiali e ripartirle sulle murature di imposta, ripartire i carichi concentrati e contrastare i meccanismi di danno fuori del piano.

Questi elementi strutturali permettono di non aumentare il peso della copertura, e quindi evitano l'abbassarsi del valore dell'accelerazione che attiva il meccanismo di risposta trasversale dell'aula. Inoltre l'inserimento di un cordolo può essere realizzata per aumentare il peso del pannello murario, sfruttando quindi i conseguenti benefici sui fenomeni di ribaltamento.

I cordoli in cemento armato, utilizzati anche negli interventi degli anni settanta con la sostituzione completa della copertura, sono adatti per assorbire gli sforzi assiali, ma sono troppo rigidi per garantire l'uniforme diffusione dei carichi concentrati verticali e di conseguenza non sono efficaci per limitare i meccanismi fuori del piano come quello di risposta trasversale dell'aula. I cordoli in acciaio invece, hanno il difetto di riportare l'intero carico sull'ancoraggio a monte e risultano poco compatibili con la struttura muraria di supporto.

Una soluzione compatibile con la struttura muraria tradizionale delle chiese e idonea a sostenere tutte le funzioni statiche necessarie potrebbe essere rappresentata dai cordoli in muratura armata.

Il cordolo in muratura si distingue da quelli in cemento armato per il suo principio costruttivo e quindi per il suo funzionamento statico: viene realizzato a strati e non attraverso un getto in calcestruzzo. Questo determina una riduzione della resistenza a taglio tra un filare e l'altro e rende l'elemento molto più flessibile. Il cordolo in muratura armata può essere utilizzato sia per chiese costruite in laterizio sia per edifici costruiti con muratura in pietrame, utilizzando diversi formati di blocchi e sottomisure degli stessi. Nel secondo caso è importante l'utilizzo di spille inferiori che hanno la funzione di legare il cordolo con la muratura di imposta.

I cordoli sono inoltre in grado di contrastare le eventuali spinte trasferite dalle travi di copertura: le azioni sono assorbite dalle murature del cordolo vincolate alle testate inferiori delle travi; la spinta viene assorbita e ridistribuita sulla sommità dei muri perimetrali senza causare dissesti localizzati.

La costruzione di cordoli sommitali ha tuttavia il limite di non essere una operazione agevole: è molto invasiva sulla struttura originaria di un edificio storico e necessita spesso la demolizione di un'ampia fascia di muratura per non alterare le quote e l'aspetto originali.

## 9.2. Tiranti di parete

Uno dei sistemi più diffusi e più efficaci per il controllo dei meccanismi di danno generati dall'azione sismica su edifici in muratura è rappresentato dall'inserimento di tiranti di parete che rappresentano una efficace azione di contrasto al ribaltamento cui sono soggette le pareti coinvolte nel meccanismo di risposta trasversale dell'aula. I tiranti costituiscono vincoli monolateri efficaci solo se sottoposti ad azioni di trazione.

Nella maggioranza degli edifici storici, e nelle chiese in particolare, i tiranti sono disposti perpendicolarmente alle pareti da collegare. Tuttavia la disposizione diagonale, può costituire un miglioramento importante di questa tecnica: diagonali di controvento, combinati con un sistema di catene a raso parete, permette di aumentare la rigidità del solaio garantendo un comportamento d'insieme della struttura. Inoltre il ribaltamento della parete vincolata diventa meno probabile. Anche l'utilizzo di tiranti che vanno a determinare un sistema di controventamento a croci di S. Andrea permette di aumentare la rigidità della struttura e limitare gli effetti di ribaltamento senza aumentare il peso della copertura.

L'inserimento di un tirante richiede però che la qualità della muratura sia tale da garantire che un pannello murario continui a comportarsi come un unico elemento e non si sfaldi sotto gli effetti dell'azione sismica.

## 9.3. Tiranti verticali

I tiranti verticali costituiscono una soluzione capace di migliorare il comportamento statico degli edifici sfruttando l'incremento della resistenza a taglio. L'introduzione di tiranti verticali produce un effetto equivalente all'aumento di peso del pannello murario senza avere effetti negativi dovuti all'aumento proporzionale delle forze sismiche. Questa soluzione, determinando azioni assiali superiori in un pannello murario di quelle dovute al solo peso proprio, ha effetti favorevoli sul moltiplicatore dei carichi che attiva il meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula. Analizzando, infatti, la formula semplificata introdotta al paragrafo 3.5 si nota come si può considerare un aumento del valore del parametro  $N_0$  (carichi dovuti al peso della parete muraria) al numeratore del coefficiente  $c$  e al numeratore della prima parte dell'espressione:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_0}{b \cdot f m}}{h} \left( \frac{N + N_0}{N + N_0/2} \right) \quad c = \frac{N + N_0}{N + N_0/2}$$

Infatti i termini  $N_0$  del numeratore del coefficiente  $c$  e della prima parte della formula derivano dallo stato di sforzo a cui è effettivamente sottoposto il pannello murario, mentre il termine del denominatore deriva dalle forze di inerzia che si generano in caso di sisma, legate al peso della muratura.

L'aumento di compressione ha quindi un effetto stabilizzante, che evita gli effetti di amplificazione dell'azione sismica dovuti all'aumento della massa in copertura.





## Conclusioni

In questo lavoro di tesi è stato analizzato un aspetto della vulnerabilità sismica delle chiese in muratura storica e copertura con capriate lignee: il meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula.

Nella prima parte del lavoro si è elaborata l'indagine e l'analisi delle chiese maggiormente danneggiate durante il terremoto, avvenuto nella pianura padana emiliana tra il mese di maggio e giugno del 2012. Fra gli edifici presi in esame se ne sono evidenziati alcuni che hanno riportato quadri di dissesto riconducibili al meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula. I danni più frequenti riscontrati in questi manufatti edilizi sono lesioni e crolli per effetti di ribaltamento delle pareti portanti (o parti di queste) che sorreggono la copertura e crolli parziali o totali della struttura lignea del tetto.

A seguito di questa indagine il meccanismo è stato analizzato attraverso l'approccio cinematico dell'analisi limite, determinando il moltiplicatore dei carichi che corrisponde all'accelerazione orizzontale del suolo che ne determina l'attivazione. L'importanza dello studio di procedure, come quella utilizzata, per valutare il grado di vulnerabilità sismica nei confronti di uno dei meccanismi riscontrati dall'osservazione sistematica dei danni alle chiese in seguito ad un sisma, riportati nella normativa italiana dal DCPM del 23 febbraio 2006 n. 55 e successivamente dal DCPM del 9 febbraio 2011, risiede nella difficoltà di applicare su scala territoriale metodologie di analisi più raffinate e dalla necessità di avere un'unica procedura che permetta il confronto tra edifici differenti. La metodologia di analisi proposta è stata applicata ad alcuni casi di studio di chiese con pareti portanti in muratura storica e copertura sorretta da capriate lignee situate in Lombardia, Piemonte e Liguria e ad alcune delle chiese emerse dall'indagine precedente che hanno manifestato il cinematicismo di collasso.

Il confronto tra i moltiplicatori dei carichi di attivazione del meccanismo, calcolati con la procedura semplificata per le chiese che hanno riportato danni durante l'evento sismico del 2012, e le accelerazioni misurate o stimate nei luoghi di ubicazione delle stesse durante il medesimo evento, mostra come le accelerazioni del terremoto emiliano siano superiori o prossime ai valori limite calcolati. Il confronto è stato applicato riportando a terra i valori delle accelerazioni di attivazione, secondo la procedura proposta dalla normativa vigente (D.M. 14 gennaio del 2008).

Lo studio dei dati ottenuti dai casi di studio ha permesso di evidenziare quali siano i parametri che maggiormente influenzano il meccanismo: snellezza dei pannelli murari e peso della copertura.

La snellezza  $\lambda$  della muratura è il parametro che maggiormente incide sui valori del moltiplicatore dei carichi limite. L'andamento di  $\lambda$  è infatti inversamente proporzionale a quello dell'accelerazione: a snellezze maggiori corrispondono valori più bassi di accelerazione. Ciò è indicativo nel valutare le chiese con pareti più snelle maggiormente vulnerabili a questo meccanismo. Inoltre, da questo dato emerge che le chiese ad una sola navata, seppur non soggette ad accelerazioni amplificate dall'altezza, siano più predisposte all'attivazione del cinematicismo. Infatti per le chiese con configurazione ad una navata il meccanismo si attiva alla base delle pareti longitudinali dell'aula, mentre per quelle con pianta a tre navate il meccanismo è maggiormente riscontrato nella parte superiore della muratura della navata centrale: i pannelli murari considerati nel calcolo degli edifici ad ambiente unico hanno normalmente altezze maggiori rispetto a quelle interessate dal meccanismo per le chiese a tre navate. La snellezza può inoltre essere assunta come un buon parametro di confronto in una prima valutazione approssimativa: a valori simili di snellezza corrispondono valori simili di accelerazione, anche per edifici costruiti con caratteristiche geometriche, dimensionali e tecnologiche diverse.

Anche il peso della copertura influenza il valore del moltiplicatore dei carichi di attivazione: all'aumentare del valore dei pesi della copertura il valore dell'accelerazione limite diminuisce. Si deduce quindi che coperture pesanti favoriscono l'attivazione del meccanismo. Questa informazione è utile per valutare quali interventi di recupero strutturale preferire per non favorire l'instaurarsi di questo meccanismo durante un sisma. Gli

interventi più adeguati sono quelli che permettono un irrigidimento controllato della copertura senza andare ad aumentarne sensibilmente il peso.

La dimensione della luce delle capriate di copertura, non costituisce invece un elemento indicativo per effettuare una prima valutazione od un confronto fra edifici differenti: ad edifici con luci simili possono corrispondere valori di accelerazione con luci molto diverse. Questo è legato ai diversi parametri che entrano nel calcolo del valore dell'accelerazione: densità dei materiali, spessore della muratura, dimensioni della porzioni di parete longitudinale considerata.

Si sono poi considerati gli effetti derivanti da configurazioni diverse del nodo strutturale tra capriata in legno e pannello murario. Si sono verificati gli effetti di un'eccentricità dei carichi provenienti dalla copertura, di una spinta statica orizzontale derivante dall'appoggio della trave sulla parete e di un vincolo tra capriata e pannello murario schematizzabile come incastro.

L'eccentricità dei carichi, che può derivare dalla configurazione del dettaglio costruttivo tra travi di copertura e parete, determina variazioni di lieve entità sull'accelerazione di attivazione del meccanismo di collasso. Se l'eccentricità è discorde al verso dei carichi di inerzia determina effetti positivi: si ha un aumento del valore limite dell'accelerazione di attivazione; al contrario se il verso è concorde, l'eccentricità determina un decremento del moltiplicatore dei carichi di collasso. La variazione rimane contenuta per eccentricità di poche decine di centimetri.

Effetti non trascurabili sono invece determinati da spinte statiche orizzontali provenienti dalla copertura o configurazioni del nodo schematizzabili con un vincolo di incastro. Le spinte orizzontali aumentano la vulnerabilità di una chiesa: gli effetti sono determinati in funzione del peso della copertura e della geometria della copertura. Coperture più pesanti determinano spinte maggiori e di conseguenza accelerazioni di attivazione del meccanismo più basse; basse inclinazioni della falda determinano invece la crescita del valore della spinta e di conseguenza inferiori valori dell'accelerazione di attivazione.

Configurazioni strutturali del dettaglio costruttivo dell'intersezione tra parete in muratura e capriata lignea più rigide schematizzabili come un vincolo di incastro, hanno invece effetti decisamente positivi sul meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula. Queste configurazioni, a differenza di un vincolo di appoggio, determinano un contributo flessionale che si traduce in un deciso incremento del moltiplicatore dei carichi che attiva il cinematismo di ribaltamento. Il contributo flessionale dipende dai carichi di copertura e dalla luce della capriata. A luci maggiori, corrisponde un momento maggiore e di conseguenza valori dell'accelerazioni di attivazione più alti.

Considerando tutti i contributi derivanti dalle configurazioni geometriche del nodo di intersezione tra parete in muratura e capriata il moltiplicatore dei carichi che attiva il meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula, corrispondente all'accelerazione necessaria perché si attivi il cinematismo può essere determinato come:

Per configurazioni del nodo di intersezione tra capriata e muratura schematizzabile come appoggio:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_o}{b \cdot fm} + \frac{N \cdot c}{N + N_o} - \frac{P \cdot h}{N + N_o}}{h} \left( \frac{N + N_o}{N + N_o/2} \right)$$

Per configurazioni del nodo di intersezione tra capriata e muratura schematizzabile come incastro:

$$\alpha = \frac{s/2 - \frac{2}{3} \frac{N + N_o}{b \cdot fm} + \frac{N \cdot c}{N + N_o} - \frac{P \cdot h}{N + N_o} - \frac{N \cdot L}{4(N + N_o)}}{h} \left( \frac{N + N_o}{N + N_o/2} \right)$$

Dove:

- $\alpha$ , moltiplicatore dei carichi orizzontali, che corrisponde all'accelerazione orizzontale (espresso in g), necessaria per l'attivazione del meccanismo
- $b, h, s$  dimensioni geometriche delle pareti (lunghezza, altezza, spessore). L'analisi si concentra su una porzione centrale delle chiusure longitudinali di lunghezza  $b$ , tale da non essere influenzata dagli effetti dei vincoli delle pareti trasversali (facciata e transetto). In caso di presenza di aperture nelle murature portanti la porzione di parete da analizzare è quella compresa tra gli assi di due finestre contigue, mentre il valore della lunghezza  $b$  corrisponde alla parte delimitata dalle aperture.
- $N_0$ , peso della parete
- $N$ , carichi verticali derivanti dalla copertura
- $f_m$ , resistenza a compressione del materiale della parete portante
- $e$ , eccentricità dei carichi assiali totali  $N + N_0$
- $x$ , posizione dell'asse neutro
- $c$ , eccentricità dei carichi provenienti dalla copertura rispetto al baricentro del pannello murario, il valore di  $c$  è assunto positivo se il segmento è sito in direzione opposta al verso dei carichi orizzontali, negativo se invece è posizionato nello stesso verso
- $P$ , spinta statica orizzontale proveniente dalla copertura
- $W$ , momento derivante dai carichi di copertura calcolato come:
$$W = N \cdot L/4$$
- $L$ , rappresenta la luce della capriata

Ulteriori sviluppi di questo lavoro, possono essere legati allo studio di ulteriori elementi che influenzano il comportamento degli effetti di ribaltamento causanti il meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula. In particolare può essere studiato l'effetto di irrigidimento che facciata e timpano determinano sulle pareti longitudinali limitando il ribaltamento. Si suggerisce in questo lavoro che l'effetto sia legato ad un fattore di forma determinato dal rapporto fra le dimensioni della luce della capriata e la lunghezza dell'aula.

Altro fattore che rimane da indagare è l'effetto diaframma che si può determinare se le connessioni dell'orditura secondaria assicurano una rigidità tale da modificare il comportamento dinamico della copertura che diventa un diaframma rigido. Obiettivo per studi futuri potrebbe essere determinare coefficienti standardizzati che possano essere utilizzati in diverse analisi per edifici con gradi di connessione differenti così da poter valutare con maggiore attenzione il moltiplicatore dei carichi e poter confrontare edifici diversi senza variazioni dovute a metodologie di calcolo differenti.



## Bibliografia

- [1] M.A. PARISI, C. CHESI, C. TARDINI, *Seismic vulnerability indicators for timber roof structures*, 2010, 9<sup>th</sup> US National and 10<sup>th</sup> Canadian Conference on Earthquake Engineering, Toronto, Proceedings Volume 1:157, 2010
- [2] M.A. PARISI, C. CHESI, C. TARDINI, *Seismic vulnerability indicators for timber roof structures: classification criteria*, 9<sup>th</sup> US National and 10<sup>th</sup> Canadian Conference on Earthquake Engineering, Toronto, Proceedings Volume 1, 2010
- [3] M.A. PARISI, C. CHESI, C. TARDINI, *Seismic strengthening of timber roof structures: a case study*, 8<sup>th</sup> International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, SAHC, 2012
- [4] M.A. PARISI, C. CHESI, *Seismic vulnerability of traditional buildings: the effect of roof-masonry walls interaction*, 10<sup>th</sup> US National Conference on Earthquake Engineering, Anchorage, 2014
- [5] G. CANGI, *Analisi strutturale per il recupero antisismico*, DEI tipografia del genio civile, Roma, 2010
- [6] S. LAGOMARSINO, S. PODESTÀ, *Seismic vulnerability of ancient churches: part 1. Damages assessment and emergency planning*, Earthquake Spectra, 2004
- [7] S. LAGOMARSINO, S. PODESTÀ, *Seismic vulnerability of ancient churches: part 2. Statistical analysis of surveyed data and methods for risk analysis*, Earthquake Spectra, 2004
- [8] A. CASTELLANI, E. FACCIOLI, *Costruzioni in zona sismica*, ed. Ulrico Hoepli Editore, Roma, 2008
- [9] A. CECCOTTI, M. FOLESA, M. P. LAURIOLA, *Le strutture in legno in zona sismica – Criteri e regole per la progettazione ed il restauro*, ed. Edizioni CLUT, Torino, 2007
- [10] <http://www.carpirinasce.it/>, consultato in data 12/08/2014
- [11] <http://www.parrocchiadiconcordia.it/>, consultato in data 13/09/2014
- [12] <http://www.comune.mirandola.mo.it/>, consultato in data 12/08/2014
- [13] <http://www.panoramio.com/>, consultato in data 16/09/2014
- [14] <http://www.vigilfuoco.it/sitiVVF>, consultato in data 13/08/2014
- [15] <http://rete.comuni-italiani.it/foto/contest/18634/view>, consultato in data 16/09/2014
- [16] <http://notizie.tiscali.it/photogallery/Terremoto-in-Emilia-il-duomo-di-Mirandola-distrutto-dal-sisma/30230/453396>, consultato in data 16/09/2014
- [17] <http://viaggi.nanopress.it/news/crolla-il-duomo-di-mirandola/P126615/>, consultato in data 16/09/2014
- [18] <http://www.milanotoday.it/foto/cronaca/foto-terremoto-milano-29-maggio/duomo-di-mirandola-devastato-foto-daniela-smerieri.html>, consultato in data 16/09/2014
- [19] <http://www.meteoweb.eu/2012/05/terremoto-emilia-romagna-gravi-danni-sarebbe-crollato-anche-il-duomo-di-mirandola/136446/>, consultato in data 16/09/2014



- [20] <http://www.lastampa.it/2013/05/20/italia/cronache/l-emilia-un-anno-dopo-il-terremoto-kyXp6YhETemtcBGCOZPQmJ/pagina.html>, consultato in data 16/09/2014
- [21] <http://www.fermi.mo.it/~loar/mysito/ImmagineProvinciaModena/ImmagineStoriche.html>, consultato in data 14/08/2014
- [22] <http://www.ilsole24ore.com/art/notizie/2012-05-30/chiesa-francesco-mirandola-105920.shtml?uuid=AbotrbkF>, consultato in data 14/08/2014
- [23] <http://www.terredipico.it/page.asp?id=38&id2=17&id3=29>, consultato in data 14/08/2014
- [24] <http://www.emiliaromagna.beniculturali.it/index.php?it/108/ricerca-itinerari/49/446>, consultato in data 14/08/2014
- [25] <http://www.ilpost.it/2012/05/29/foto-terremoto-emilia-oggi/attachment/145409714/>, consultato in data 14/08/2014
- [26] <http://www.sulpanaro.net/2014/05/ore-4-04-anni-fa/>, consultato in data 14/08/2014
- [27] <http://www.comune.novi.mo.it/index.php/comunicazione-e-partecipazione/gallerie-fotografiche/363-fotodiario-del-terremoto>, consultato in data 16/09/2014
- [28] <http://terremotosanfelice.org/>, consultato in data 15/08/2014
- [29] <http://www.comune.cavezzo.mo.it/>, consultato in data 15/08/2014
- [30] [http://bologna.repubblica.it/cronaca/2012/12/08/foto/chiesa\\_post\\_sisma\\_villafranca-48338387/2/](http://bologna.repubblica.it/cronaca/2012/12/08/foto/chiesa_post_sisma_villafranca-48338387/2/), consultato in data 15/08/2014
- [31] <http://gazzettadireggio.gelocal.it/cronaca/2013/11/06/news/rolo-la-chiesa-di-san-zenone-riapre-le-porte-ai-fedeli-1.8063458>, consultato in data 16/09/2014
- [32] [http://www.ilrestodelcarlino.it/reggio\\_emilia/cronaca/2012/05/20/715591-terremoto\\_lesionate\\_chiese\\_reggiolo.shtml](http://www.ilrestodelcarlino.it/reggio_emilia/cronaca/2012/05/20/715591-terremoto_lesionate_chiese_reggiolo.shtml), consultato in data 15/08/2014
- [33] <http://www.meteoweb.eu/2012/05/terremoto-in-pianura-padana-4-morti-piu-di-50-feriti-e-centinaia-di-evacuati-le-scosse-sono-state-10-il-riepilogo/134643/>, consultato in data 17/09/2014
- [34] <http://www.iljournal.it/2012/terremoto-una-nuova-scosse-alle-due/346230%20/unaltra-immagine-della-chiesa-di-mirabello>, consultato in data 17/09/2014
- [35] <http://www.aibotixitalia.it/www/137-2/immagini/2012-terremoto-emilia-mirabello-chiesa-di-s-paolo/>, consultato in data 17/09/2014
- [36] <http://multimedia.quotidiano.net/?tipo=photo&media=36553>, consultato in data 17/09/2014
- [37] <http://www.ilrestodelcarlino.it/ferrara/cronaca/2012/05/23/717451-terremoto-emilia-buonacompria-demolito-campanile-chiesa.shtml>, consultato in data 17/09/2014
- [38] <http://www.diocesidimantova.it/parrocchia.asp?id=139>, consultato in data 17/09/2014

- [39] [http://www.comune.gonzaga.mn.it/servizi/notizie/notizie\\_fase02.aspx?ID=30993](http://www.comune.gonzaga.mn.it/servizi/notizie/notizie_fase02.aspx?ID=30993), consultato in data 17/09/2014
- [40] <http://tagliavinia.blogspot.it/2013/05/chi-ha-paura-della-chiesa-di-bondeno-di.html>, consultato in data 17/09/2014
- [41] <http://www.comune.moglia.mn.it/servizi/Menu/dinamica.aspx?idArea=334&idCat=337&ID=2303&TipoElemento=Categoria>, consultato in data 17/09/2014
- [42] [http://milano.corriere.it/gallery/milano/05-2012/quistello/1/chiesa-quistello\\_fd7b2e4c-a5c9-11e1-8ebb-5d15128b15be.shtml#5](http://milano.corriere.it/gallery/milano/05-2012/quistello/1/chiesa-quistello_fd7b2e4c-a5c9-11e1-8ebb-5d15128b15be.shtml#5), consultato in data 15/08/2014
- [43] [http://www.comune.san-giacomo-delle-segnate.mn.it/servizi/notizie/notizie\\_homepage.aspx](http://www.comune.san-giacomo-delle-segnate.mn.it/servizi/notizie/notizie_homepage.aspx), consultato in data 15/08/2014
- [44] <http://www.comune.crevalcore.bo.it/main/main.asp?doc=152220>, consultato in data 15/08/2014
- [45] <http://www.comune.pievedicento.bo.it/>, consultato in data 20/08/2014
- [46] PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONI CIVILE, *Manuale per la compilazione della scheda A – DC*, a cura di S. Papa, G. Di Pasquale, 2013
- [47] DPCM 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., 2011
- [48] G. CIFANI, A. LEMME, S. PODESTÀ, *Beni Monumentali e terremoto – dall'emergenza alla ricostruzione*, DEI tipografia del genio civile, Roma, 2005
- [49] G. CANGI, *Manuale del recupero strutturale e antisismico*, DEI tipografia del genio civile, Roma, 2005
- [50] S. PODESTÀ, *Verifica Sismica di edifici in muratura*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2012
- [51] A. GIUFFRÈ, *Lecture sulla meccanica delle murature*, Protagon Editori Toscani, Siena, 1999
- [52] V. LONGONI, *Immagini della devozione nel Triangolo Lariano*, Canzo, 2000
- [53] C. MERONI, *Antichi edifici religiosi del Triangolo Lariano*, Varese, 2011
- [54] O. ZASTROW, *L'arte romanica del comasco*, Lecco, 1982
- [55] <http://www.triangololariano.it/it/chiesa-di-san-pietro-albese-con-cassano.aspx>, consultato in data 27/09/2014
- [56] [http://www.comune.albeseconcassano.co.it/sa/sa\\_p\\_testo.php?x=&idservizio=279&idtesto=131&idfoto=142&&nodo=nodo0](http://www.comune.albeseconcassano.co.it/sa/sa_p_testo.php?x=&idservizio=279&idtesto=131&idfoto=142&&nodo=nodo0), consultato in data 27/09/2014
- [57] L.M. GAFFURI, *La Madonna di Loreto alias S. Bartolomeo al Bosco in Molena di Albavilla*
- [58] <http://www.triangololariano.it/it/chiesa-della-madonna-di-loreto-molena-albavilla.aspx>, consultato in data 27/09/2014

- [59] <http://www.oleria.it/chiese/rocco.php>, consultato in data 27/09/2014
- [60] [http://www.visitbrianza.it/index.phtml?Id\\_VMenu=470&daabstract=927](http://www.visitbrianza.it/index.phtml?Id_VMenu=470&daabstract=927), consultato in data 27/09/2014
- [61] F. GROSSI, *La Cascina Chiesa rossa: progetto di recupero del complesso - una iniziativa della Cascina Chiesa rossa s.r.l.*, Milano, Arcadia Editore, 1985
- [62] [http://www.santamariaallafonte.it/blog/?page\\_id=52](http://www.santamariaallafonte.it/blog/?page_id=52), consultato in data 27/09/2014
- [63] M. FATTARELLI, *Il colle di Piona-Olgiasca nella storia: l'abbazia benedettina e la Malpensata*, a cura dei Monaci Cistercensi, Piona, 1982
- [64] <http://www.comoeilsuolago.it/abbaziapiona.htm>, consultato in data 27/09/2014
- [65] A. FINOCCHI, *Architettura romanica nel territorio di Varese*, Milano, Bramante Editrice, 1966
- [66] L.C. SCHIAVI, *Chiese romaniche nel territorio di Varese (secoli XI-XII)*, in *Storia dell'arte a Varese e nel suo territorio*, Varese, IUP, 2011
- [67] <http://www.chiesasanrocco.it/storia-della-chiesa-san-rocco.html>, consultato in data 27/09/2014
- [68] <http://www.medioevo.org/artemedievale/pages/lombardia/ArsagoSeprio.html>, consultato in data 29/09/2014
- [69] <http://www.lagomaggiore.net/101/collegiata-di-san-vittore.htm>, consultato in data 30/09/2014
- [70] <http://www.lagomaggiore.net/103/abbazia-di-san-donato.htm>, consultato in data 01/10/2014
- [71] [http://www.archiviodiconcorezzo.it/immagini/file/8839\\_visita%20a%20Sant'Eugenio%20v06.pdf](http://www.archiviodiconcorezzo.it/immagini/file/8839_visita%20a%20Sant'Eugenio%20v06.pdf), consultato in data 29/09/2014
- [72] <http://www.chiesadiconcorezzo.it/view.php?c=1&id=288>, consultato in data 29/09/2014
- [73] <http://www.abbaziamontichiari.it/2/la-pieve-di-san-pancrazio.html>, consultato in data 29/09/2014
- [74] <http://www.turismo novara.it/it/artestoriascheda?id=12>, consultato in data 30/09/2014
- [75] C. Di Fabio, *L'Architettura Ecclesiastica a Portovenere fra XI e XIV Secolo – Estratto da Atti del convegno S. Venerio del Tino: Vita religiosa e civile tra isole e terraferma in età medioevale Lerici, Portovenere, La Spezia 18-20 settembre 1982*, La Spezia – Sarzana, 1986
- [76] <http://www.parconaturaleportovenere.it/>, consultato in data 29/09/2014
- [77] [www.sestri-levante.ne](http://www.sestri-levante.ne), consultato in data 29/09/2014
- [78] <http://www.comune.cogorno.ge.it/monumenti---chiese.html>, consultato in data 07/10/2014
- [79] M. PIAZZA, R.TOMASI, R. MODENA, *Strutture in Legno – Materiale, Calcolo e Progetto secondo le nuove normative europee*, ed. Ulrico Hoepli Editore, Roma, 2013 – 2014

- [80] A. CECCOTTI, *Verifiche e consolidamenti nelle strutture lignee in zona sismica in "Manuale del legno strutturale IV: Interventi sulle strutture"*, a cura di L. Uzielli, ed. Mancosu, pp.108-127
- [81] <https://www.flickr.com/photos/60817626@N06/5650166392>, consultato in data 02/11/2014
- [82] M. MASSA, S. LOVATI, D. SUDATI, G. FRANCESCHINA, E. RUSSO, R. PUGLIA, G. AMERI, L. LUZI, F. PACOR, P. AUGLIERA, *INGV strong-motion data web portal: a focus on the emilia seismic sequence of may-june 2012*, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia sez. di Milano, Milano, 2012
- [83] C. MELETTI, V. DAMICO, G. AMERI, A. ROVIDA, M. STUCCHI, *Seismic hazard in the Po Plain and the 2012 Emilia earthquakes*, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia sez. di Milano, Milano, 2012
- [84] C.G. LAI, F. BOZZONI, M.D. MANGRIOTIS, M. MARTINELLI, *Geotechnical aspects of May 20, 2012 M5.9 Emilia earthquake*, Eucentre, Pavia, 2012
- [85] <http://shakemap.rm.ingv.it/shake/8222913232/intensity.html>, consultato il 17/11/2014
- [86] <http://itaca.mi.ingv.it/ItacaNet/CadmoDriver>, consultato in data 17/11/2014



## Indice delle figure

Figura 1 - Effetti della copertura sulla parete portante - Rif. Bibliog. [8] .....	9
Figura 2 - S. Pietro Apostolo prima del sisma - Rif. Bibliog. [10].....	12
Figura 3 - interno della Chiesa di S. Pietro apostolo prima e dopo il sisma del 20 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10] .....	12
Figura 4 - interno della chiesa di s. Pietro Apostolo dopo il sisma del 20 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10].....	12
Figura 5 - Chiesa di S. Giovanni Battista - Rif. Bibliog. [11].....	13
Figura 6 - Dettaglio del crollo chiesa S. Giovanni battista - Rif. Bibliog. [11].....	13
Figura 7 - Campanile della chiesa di S. Caterina dopo il sisma del 20 maggio 2012 - Rif. Bibliog. 01.....	13
Figura 8 - Interno della chiesa di S. Caterina dopo il sisma del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. 01.....	13
Figura 9 - chiesa di S. Caterina dopo il sisma del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10].....	14
Figura 10 - Facciata della Chiesa di S. Caterina dopo il sisma del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10].....	14
Figura 11 - Copertura del presbiterio della Chiesa di S. Caterina dopo il sisma del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10].....	14
Figura 12 - Interno della Chiesa di S. Caterina dopo il sisma del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10].....	14
Figura 13 - interno del Duomo della Conversione di S. Paolo dopo il sisma del 20 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10].....	15
Figura 14 - Duomo della Conversione di S. Paolo dopo il sisma del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10].....	15
Figura 15 - Duomo della Conversione di S. Paolo dopo il sisma del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10].....	15
Figura 16 - Duomo della Conversione di S. Paolo dopo il sisma del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10].....	15
Figura 17 - Chiesa del Gesù prima del sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [13].....	15
Figura 18 - interno della Chiesa del Gesù in seguito al sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [14].....	16
Figura 19 - facciata della Chiesa del Gesù in seguito al sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [14].....	16
Figura 20 - Duomo di Mirandola prima del sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [16].....	17
Figura 21 - Interno del Duomo di Mirandola dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [17].....	17
Figura 22 - Duomo di Mirandola dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [18].....	17
Figura 23 - Duomo di Mirandola dopo il sisma del 20 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [19].....	18
Figura 24 - Duomo di Mirandola dopo il sisma del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [20].....	18
Figura 25 - Chiesa di S. Francesco prima del sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [21].....	18
Figura 26 - Chiesa di S. Francesco dopo il sisma del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [22].....	18
Figura 27 - Chiesa di S. Francesco dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [22].....	19
Figura 28 - Oratorio del Santissimo Sacramento dopo il terremoto del 2012 - Rif. Bibliog. [23].....	19
Figura 29 - Chiesa di S. Giacomo e Filippo prima del sisma de 2012 - Rif. Bibliog. [10].....	20
Figura 30 - Chiesa di S. Giacomo e Filippo dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10].....	20
Figura 31 - Particolare del Timpano di S. Giacomo e Filippo - Rif. Bibliog. [10].....	20



Figura 32 - Chiesa di San Leonardo di Limoges dopo la scossa del 20 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10].....	20
Figura 33 - Chiesa di San Leonardo di Limoges dopo la scossa del 20 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10].....	21
Figura 34 - Chiesa di San Leonardo di Limoges dopo la scossa del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10].....	21
Figura 35 - Pieve di S. Maria ad Nives prima del sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10].....	21
Figura 36 - Facciata di S. Maria ad Nives dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [10] .....	21
Figura 37 - Pieve di S. Maria ad Nives dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [10].....	22
Figura 38 - Particolare del timpano di S. Maria ad Nives - Rif. Bibliog. [10] .....	22
Figura 39 - Navata laterale destra di S. Maria ad Nives - Rif. Bibliog. [10] .....	22
Figura 40 - Navata laterale destra di S. Maria ad Nives - Rif. Bibliog. [10] .....	22
Figura 41 - Chiesa di S. Giustina - Rif. Bibliog. [10].....	23
Figura 42 - Interno della Chiesa di S. Giustina - Rif. Bibliog. [10].....	23
Figura 43 - Soffitto della Chiesa di S. Giustina - Rif. Bibliog. [10].....	23
Figura 44 - Lesioni alla muratura della Chiesa di S. Giustina - Rif. Bibliog. [10] .....	23
Figura 45 - Chiesa Parrocchiale di S. Martino Carano - Rif. Bibliog. [10] .....	23
Figura 46 - Lesioni alla muratura della Chiesa di S. Martino Carano - Rif. Bibliog. [10].....	24
Figura 47 -Lesioni al campanile di S. Martino Carano - Rif. Bibliog. [10].....	24
Figura 48 - Chiesa di San Martino Spino dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10] .....	24
Figura 49 - Chiesa dalla Visitazione della Beata Vergine Maria dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [10] .....	25
Figura 50 - Chiesa dalla Visitazione della Beata Vergine Maria dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [10] .....	25
Figura 51 - Interno della Chiesa di S. Michele Arcangelo dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]....	25
Figura 52 - Interno della Chiesa di S. Caterina - Rif. Bibliog. [10] .....	26
Figura 53 - Interno della Chiesa di S. Caterina - Rif. Bibliog. [10] .....	26
Figura 54 - Chiesa di S. Caterina - Rif. Bibliog. [10].....	26
Figura 55 - Chiesa di S. Caterina - Rif. Bibliog. [10].....	26
Figura 56 - Duomo di Carpi prima del sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [10] .....	27
Figura 57 - Lesioni alla cupola del Duomo di carpi dopo il sisma del 20 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10].....	27
Figura 58 - Interno del duomo di carpi dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [10].....	28
Figura 59 - Particolare del danneggiamento della facciata del Duomo di Carpi dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10].....	28
Figura 60 - Interno della Chiesa di S. Francesco, dettaglio del crollo del soffitto - Rif. Bibliog. [10].....	28
Figura 61 - Chiesa di San Martino Secchia prima del sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10].....	28
Figura 62 - Interno della Chiesa di San Martino Secchia dopo il sisma del 20 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10]	29
Figura 63 - Interno della Chiesa di San Martino dopo il sisma del 20 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10].....	29
Figura 64 - Chiesa madre, crollo della copertura - Rif. Bibliog. [10].....	29
Figura 65 - Interno della Chiesa Madre di Fossoli - Rif. Bibliog. [10] .....	29

Figura 66 - Chiesa di S. Possidonio prima del sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [10] .....	30
Figura 67 - interno della Chiesa di san Possidonio dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [10] .....	30
Figura 68 - Chiesa di S. Possidonio dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. 01.....	30
Figura 69 - Copertura della Chiesa di S. Possidonio dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. 01 .....	30
Figura 70 - Duomo di finale Emilia prima del sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10].....	31
Figura 71 - Duomo di finale Emilia dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [10].....	31
Figura 72 - Chiesa di S. Nicola da Bari - Rif. Bibliog. [10] .....	31
Figura 73 - Chiesa di S. Nicola da Bari - Rif. Bibliog. [10] .....	31
Figura 74 - Chiesa Arcipretale di S. felice Vescovo e Martire prima e dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [25].....	32
Figura 75 - Chiesa di San Giuseppe Artigiano - Rif. Bibliog. [26].....	32
Figura 76 - Chiesa della Natività di S. Maria prima del sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [27] .....	33
Figura 77 - Chiesa di S. Biagio dopo il sisma del 20 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [28] .....	33
Figura 78 - Chiesa di S. Biagio dopo il sisma del 20 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [28] .....	33
Figura 79 - Chiesa di S. Giovanni Battista dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [29].....	34
Figura 80 - Chiesa di S. Giovanni Battista dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [29].....	34
Figura 81 - Chiesa Parrocchiale di S. Maria ad Nives prima del terremoto del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [29]34	
Figura 82 - Interno della Chiesa Parrocchiale di S. Maria ad Nives prima del terremoto del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [29] .....	35
Figura 83 - Particolare della facciata della Chiesa Parrocchiale di S. Maria ad Nives prima del terremoto del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [29] .....	35
Figura 84 - Chiesa di S. Egidio dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [29] .....	35
Figura 85 - Chiesa di S. Egidio dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [29] .....	35
Figura 86 - Interno della Chiesa di S. Egidio dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [29].....	36
Figura 87 - Chiesa di S. Egidio dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [29] .....	36
Figura 88 - Chiesa di S. Bartolomeo prima del sisma - Rif. Bibliog. [30] .....	36
Figura 89 - Chiesa di S. Bartolomeo dopo il sisma - Rif. Bibliog. [31] .....	36
Figura 90 - Particolari della Chiesa di S. Bartolomeo prima del sisma - Rif. Bibliog. [30] .....	36
Figura 91 - Pieve di Camurana - Rif. Bibliog. [30] .....	37
Figura 92 - Pieve di Camurana - Rif. Bibliog. [30] .....	37
Figura 93 - Chiesa di San Pietro in Vincoli - Rif. Bibliog. [10] .....	37
Figura 94 - Chiesa di San Pietro in Vincoli - Rif. Bibliog. [10] .....	37
Figura 95 - Chiesa di S. Zenone durante i lavori di messa in sicurezza della facciata - Rif. Bibliog. [31] .....	38
Figura 96 - Chiesa di S. Giorgio - Rif. Bibliog. [32] .....	39
Figura 97 - Chiesa di S. Giorgio - Rif. Bibliog. [32] .....	39

Figura 98 - Facciata della Chiesa di S. Paolo dopo il sisma del 20 maggio - Rif. Bibliog. [33] .....	40
Figura 99 - Facciata della Chiesa di S. Paolo dopo il sisma del 20 maggio - Rif. Bibliog. [34].....	40
Figura 100 - Abside della Chiesa di S. Paolo dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [35] .....	40
Figura 101 - Abside della Chiesa di S. Paolo dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [35] .....	40
Figura 102 - Chiesa di S. Paolo dopo il sisma del 20 maggio - Rif. Bibliog. [34] .....	41
Figura 103 - Abside della Chiesa di S. Paolo dopo il sisma del 20 maggio - Rif. Bibliog. [33].....	41
Figura 104 - Chiesa di S. Martino di Tour prima del sisma del 2012 - Rif. Bibliog. [36] .....	41
Figura 105 - Chiesa di S. Martino di Tour dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. 28.....	42
Figura 106 - Chiesa di S. Martino di Tour dopo il sisma del 2012 - Rif. Bibliog. 28.....	42
Figura 107 - Chiesa di San Tommaso Apostolo - Rif. Bibliog. [37] .....	42
Figura 108 - Chiesa di San Tommaso Apostolo - Rif. Bibliog. [38] .....	43
Figura 109 - Chiesa di San Tommaso Apostolo - Rif. Bibliog. [39] .....	43
Figura 110 - Chiesa di S. Giovanni Battista - Rif. Bibliog. [41].....	43
Figura 111 - Chiesa di S. Giovanni Battista dopo il sisma del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [41].....	43
Figura 112 - Chiesa di S. Giovanni Battista dopo il sisma del 29 maggio 2012 - Rif. Bibliog. [41].....	43
Figura 113 - Crollo della copertura della Chiesa di S. Bartolomeo - Rif. Bibliog. [42].....	44
Figura 114 - Chiesa di S. Giacomo - Rif. Bibliog. [43].....	44
Figura 115 - Chiesa di S. Giacomo - Rif. Bibliog. [43].....	44
Figura 116 - Chiesa di S. Silvestro - Rif. Bibliog. [44] .....	45
Figura 117 - Chiesa di S. Maria Maggiore prima del sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [45] .....	45
Figura 118 - Chiesa di S. Maria Maggiore prima del sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [14] .....	45
Figura 119 - Interno della Chiesa di S. Maria Maggiore dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [14] .....	46
Figura 120 - facciata della Chiesa di S. Maria Maggiore dopo il sisma del maggio 2012 - Rif. Bibliog. [14] .....	46
Figura 121 - Effetti del "nave transversal response", duomo di Mirandola - Rif. Bibliog. [10] .....	68
Figura 122 - Sollecitazioni fuori dal piano - Rif. Bibliog. [48] .....	69
Figura 123 - Scheda A-DC, sezione relativa al meccanismo di collasso per risposta trasversale dell'aula .....	71
Figura 124 - Parametri chiave dell'analisi - Rif. Bibliog. [4] .....	72
Figura 125 - Chiesa di S. Pietro - Rif. Bibliog. [55] .....	75
Figura 126 - Chiesa di S. Pietro - Rif. Bibliog. [56] .....	75
Figura 127 - Chiesetta della Madonna di Loreto - Rif. Bibliog. [58].....	76
Figura 128 - Interno della Chiesetta della Madonna di Loreto - Rif. Bibliog. [58].....	76
Figura 129 - Chiesa di S. Rocco - Rif. Bibliog. [59] .....	76
Figura 130 - Chiesa di S. Rocco - Rif. Bibliog. [59].....	76
Figura 131 - Chiesetta di S. Damiano - Rif. Bibliog. [60] .....	77

Figura 132 - Chiesetta di S. Damiano - Rif. Bibliog. [60] .....	77
Figura 133 - Chiesa di S. Maria la Rossa o S. Maria alla Fonte - Rif. Bibliog. [62] .....	77
Figura 134 - Chiesa di S. Maria la Rossa o S. Maria alla Fonte - Rif. Bibliog. [62] .....	77
Figura 135 - Chiesa di S. Nicola, Abbazia di Piona - Rif. Bibliog. [64] .....	78
Figura 136 - Chiesa di S. Nicola, Abbazia di Piona - Rif. Bibliog. [64] .....	78
Figura 137 - Chiesa di S. Rocco - Rif. Bibliog. [67] .....	78
Figura 138 - Chiesetta di S. Maria in Binda .....	79
Figura 139 - Interno della Chiesa di S. Stefano - Rif. Bibliog. [66].....	79
Figura 140 - Basilica di San Vittore - Rif. Bibliog. [68].....	80
Figura 141 - Interno della Basilica di San Vittore - Rif. Bibliog. [68] .....	80
Figura 142 - Collegiata di S. Vittore - Rif. Bibliog. [69].....	80
Figura 143 - Copertura della navata centrale della collegiata di S. Vittore - Rif. Bibliog. [69] .....	80
Figura 144 - Chiesa di S. Donato - Rif. Bibliog. [70] .....	81
Figura 145 - Chiesa di S. Donato - Rif. Bibliog. [70] .....	81
Figura 146 - Chiesa di S. Eugenio - Rif. Bibliog. [71] .....	81
Figura 147 - Interno della Chiesa di S. Eugenio - Rif. Bibliog. [72].....	81
Figura 148 - Pieve di S. Pancrazio - Rif. Bibliog. [73] .....	82
Figura 149 - Interno della Pieve di S. Pancrazio - Rif. Bibliog. [73] .....	82
Figura 150 - Basilica di S. Michele - Rif. Bibliog. [74].....	82
Figura 151 - Basilica di S. Michele - Rif. Bibliog. [74].....	82
Figura 152 - Chiesa di San Lorenzo - Rif. Bibliog. [76] .....	83
Figura 153 - Chiesa di S. Nicolò - Rif. Bibliog. [77].....	83
Figura 154 - Chiesa di S. Nicolò - Rif. Bibliog. [77].....	83
Figura 155 - Basilica di S. Salvatore dei Fieschi - Rif. Bibliog. 55.....	84
Figura 156 - Basilica di S. Salvatore dei Fieschi - Rif. Bibliog. [78] .....	84
Figura 157 - Interno della Basilica di S. Salvatore dei Fieschi - Rif. Bibliog. [78].....	84
Figura 158 - Sistema lineare a masse concentrate.....	114
Figura 159 - Shake Map valori dell'accelerazione interpolati per la scossa del 20 maggio - Rif. Bibliog. [85] .....	118
Figura 160 - Shake Map valori dell'accelerazione interpolati per la scossa del 29 maggio - rif. Bibliog. [85]. .....	119
Figura 161 - Andamento dell'accelerazione in funzione della snellezza per i casi di studio con pianta ad una navata .....	122
Figura 162 - Andamento della accelerazione in funzione della snellezza per i casi di studio con pianta a tre navate .....	123
Figura 163 - Andamento dell'accelerazione, in funzione della snellezza, per le chiese in cui il meccanismo di danno si è attivato durante il terremoto dell'Emilia .....	123

Figura 164 - Andamento dell'accelerazione, in funzione della snellezza, per le chiese a tre navate in cui il meccanismo di danno si è attivato durante il terremoto dell'Emilia .....	124
Figura 165 - Valori dell'accelerazione di attivazione del meccanismo di collasso per valori di snellezza prossimi a 4 .....	125
Figura 166 - Valori dell'accelerazione di attivazione del meccanismo di collasso per valori di snellezza prossimi a 6 .....	126
Figura 167 - Valori dell'accelerazione di attivazione del meccanismo di collasso per valori di snellezza compresi tra 10 e 12.....	126
Figura 168 - Andamento del moltiplicatore $\alpha$ in funzione della luce della capriata delle chiese a una navata .....	128
Figura 169 - Andamento del moltiplicatore $\alpha$ in funzione della luce della capriata delle chiese a tre navate .....	129
Figura 170 - Andamento del moltiplicatore $\alpha$ in funzione della luce della capriata delle chiese che hanno subito danni durante il terremoto dell'Emilia .....	130
Figura 171 - Andamento del coefficiente c in funzione della luce delle capriate.....	131
Figura 172 - Configurazione dei carichi, eccentricità dei carichi provenienti dalla copertura .....	133
Figura 173 - Andamento dell'accelerazione della Basilica di S. Vittore, Arsago Seprio, per valori positivi dell'eccentricità.....	134
Figura 174 - Andamento dell'accelerazione della Basilica di S. Vittore, Arsago Seprio, per valori negativi dell'eccentricità.....	136
Figura 175 - Soffitto della Collegiata di Brezzo di Bedero Rif. Bibliog. [81] .....	137
Figura 176 - Configurazione dei carichi, spinta statica proveniente dalla copertura .....	139
Figura 177 - Chiesa di S. Pietro - Rif. Bibliog. [56] .....	141
Figura 178 - Configurazione dei carichi, vincolo di incastro tra capriata e muratura.....	143

## Indice delle tabelle

Tabella 1 - Meccanismi di collasso delle chiese in muratura.....	50
Tabella 2 - Formule semplificate per il calcolo del periodo e del coeff. di partecipazione modale per edifici particolari [6] [7] .....	67
Tabella 3 - Dati geometrici rilevati, Chiesa di S. Pietro.....	86
Tabella 4 - Dati geometrici rilevati, Chiesa della Madonna di Loreto.....	87
Tabella 5 - Dati geometrici rilevati, Chiesetta di San Damiano.....	88
Tabella 6 - Dati geometrici rilevati, Chiesa di S. Maria alla Fonte .....	89
Tabella 7 - Dati geometrici rilevati, Chiesa di S. Nicola .....	90
Tabella 8 - Dati geometrici rilevati, Chiesa di S. Rocco.....	91
Tabella 9 - Dati geometrici rilevati, Chiesa di S. Maria in Binda .....	92
Tabella 10 - Dati geometrici rilevati, Chiesa di S. Stefano .....	93
Tabella 11 - Dati geometrici rilevati, Basilica di S. Vittore .....	94
Tabella 12 - Dati geometrici rilevati, Collegiata di S. Vittore .....	95
Tabella 13 - Dati geometrici rilevati, Chiesa di S. Donato.....	96
Tabella 14 - Dati geometrici rilevati, Chiesa di S. Eugenio.....	97
Tabella 15 - Dati geometrici rilevati, Basilica di S. Michele .....	98
Tabella 16 - Dati geometrici, Chiesa di San Lorenzo .....	99
Tabella 17 - dati Geometrici - Chiesa di S. Nicolò.....	100
Tabella 18 - Dati geometrici, basilica di S. Salvatore .....	101
Tabella 19 - Dati geometrici, Chiesa di S. Giovanni .....	102
Tabella 20 - Dati geometrici, Duomo di S. Maria Maggiore .....	103
Tabella 21 - Dati geometrici, Chiesa di S. Francesco .....	104
Tabella 22 - Dati geometrici, Chiesa di Santa Caterina.....	105
Tabella 23 - Dati geometrici, Chiesa di S. Martino Secchia .....	106
Tabella 24 - Dati geometrici, Chiesa di S. Giovanni Battista .....	107
Tabella 25 - Dati geometrici, Chiesa di S. Egidio .....	108
Tabella 26 - Dati geometrici, Chiesa di S. Martino di Tour .....	109
Tabella 27 - Risultati delle chiese caso di studio con pianta ad una navata .....	110
Tabella 28 - Risultati del calcolo nelle chiese caso di studio con pianta a tre navate .....	111
Tabella 29 - Risultati del calcolo nelle chiese caso di studio che hanno subito danni per l'attivazione del meccanismo di collasso per risposta trsversale dell'aula durante il terremoto dell'Emilia .....	112
Tabella 30 - Valori di accelerazione del meccanismo riportata al suolo calcolato con la formula proposta dalle NTC per le chiese che hanno subito danni durante il terremoto dell'Emilia.....	114
Tabella 31 - Fattore di partecipazione in funzione del numero di masse concentrate .....	115



Tabella 32 - Valori di accelerazione del meccanismo riportata al suolo calcolato con il sistema lineare di masse concentrate per le chiese che hanno subito danni durante il terremoto dell'Emilia .....	115
Tabella 33 - Valori dell'accelerazione di picco al suolo PGA misurate durante la scossa del 20 maggio e accelerazione di attivazione del meccanismo di risposta trasversale dell'aula .....	116
Tabella 34 - Valori dell'accelerazione di picco al suolo PGA misurate durante la scossa del 29 maggio e accelerazione di attivazione del meccanismo di risposta trasversale dell'aula .....	117
Tabella 35 - Valori di accelerazione del meccanismo riportata al suolo calcolato con la formula proposta dalle NTC per le chiese con pianta a tre navate caso di studio.....	120
Tabella 36 - Valori di accelerazione del meccanismo riportata al suolo calcolato con il sistema lineare di masse concentrate per le chiese caso di studio con pianta a tre navate .....	121
Tabella 37 - Chiese emiliane con snellezza di valore prossimo a 4 .....	127
Tabella 38 - Casi di studio con snellezza di valore prossimo a 4 .....	127
Tabella 39 - Casi di studio con snellezza di valore prossimo a 3 .....	127
Tabella 40 - Casi di studio con snellezza di valore prossimo ad 11 .....	127
Tabella 41 - Confronto luce delle capriate e accelerazione delle chiese ad una navata .....	128
Tabella 42 - Confronto luce delle capriate e accelerazione delle chiese a tre navate.....	129
Tabella 43 - Confronto luce delle capriate e accelerazione delle chiese che hanno subito danni durante il terremoto dell'Emilia .....	130
Tabella 44 - Valori dell'accelerazione della Basilica di S. Vittore, Arsago Seprio, per valori positivi dell'eccentricità.....	135
Tabella 45 - Valori dell'accelerazione della Basilica di S. Vittore, Arsago Seprio, per valori negativi dell'eccentricità.....	136
Tabella 46 - Dati Collegiata Brezzo di Bedero .....	137
Tabella 47 - Dati utilizzati nel calcolo dell'accelerazione di attivazione considerando gli effetti della spinta statica.....	141
Tabella 48 - Variazione dell'accelerazione di attivazione per gli effetti del vincolo ad incastro per i casi di studio di chiese ad una navata.....	145
Tabella 49 - Variazione dell'accelerazione di attivazione per gli effetti del vincolo ad incastro per i casi di studio di chiese a tre navate .....	145
Tabella 50 - Fattore di forma per le chiese caso di studio che hanno subito danni durante il terremoto dell'Emilia.....	147
Tabella 51 - Rapporto tra la dimensione della porzione di muratura utilizzata per il calcolo e lunghezza dell'aula .....	148

## Indice degli allegati

Allegato 01 – Verbale dei danni Chiesa del Gesù, Comune di Mirandola.....	173
Allegato 02 – Verbale dei danni Duomo di S. Maria Maggiore, Comune di Mirandola.....	175
Allegato 03 – Verbale dei danni Chiesa di S. Francesco, Comune di Mirandola.....	177
Allegato 04 – Verbale dei danni Oratorio S. Sacramento, Comune di Mirandola.....	179
Allegato 05 – Verbale dei danni chiese frazionali, Comune di Mirandola.....	181
Allegato 06 – Verbale dei danni Pieve di Quarantoli, Comune di Mirandola.....	183
Allegato 07 – Verbale dei danni Chiesa di S. Maria Maggiore, Comune di Pieve di Cento.....	185
Allegato 08 – Foglio di calcolo utilizzato per le analisi.....	193



## Allegati

### Allegato 01 – Verbale dei danni Chiesa del Gesù, Comune di Mirandola

Nome del monumento	<b>Complesso Chiesa del Gesù</b>
Indirizzo	Centro storico – via Montanari
Storia del monumento	<p>La Chiesa del Gesù, autentico scrigno barocco, fu edificata su mandato di Alessandro I Pico in occasione della propria investitura a Duca della Mirandola, con l'intento di richiamare a Mirandola i più importanti ordini religiosi del tempo. Iniziata nel 1621, fu completata dal successore di Alessandro I, il nipote Alessandro II, nel 1689. Rimasta incompiuta nella facciata, presenta un fastoso interno in stile barocco, di ordine corinzio, ad una sola navata, ricco di arredi e opere d'arte. L'arredamento interno, in gran parte in legno è opera di intagliatori mirandolese, della fine del XVII secolo. Sono di Paolo Bonelli le straordinarie ancone dei due altari lignei ai lati del transetto, e le maestose cornici, mentre il pulpito è di Giacomo Gibertoni. Pregevoli anche il ciborio dell'altare maggiore, in marmi policromi; la "Pala della Circoncisione", di Innocenzo Monti; e gli stucchi del cornicione, di Pompeo Solari. Al di sopra della porta, internamente, è collocata una magnifica composizione araldica che riproduce lo stemma Pico – Mirandola – Concordia. Il cornicione è ricco di immagini allegoriche e simboli araldici che alludono alla gloria della famiglia Pico. Da segnalare è anche il Crocefisso, in stucco plasticato e dipinto, che si trova nell'altare del SS. Crocefisso, ritenuto miracoloso e molto venerato nei secoli scorsi.</p> <p>Attiguo alla Chiesa si trova il collegio dei Gesuiti, aperto nel 1690; il convento e gli alloggi dei Padri erano situati al piano superiore, mentre le scuole e le officine a quello inferiore.</p>
Uso dell'edificio in epoca attuale	<p>Il convento diventò sede dell'ospedale tra XIX e metà XX secolo e più recentemente del Liceo cittadino, mentre attualmente ospita la Biblioteca e l'Archivio Comunali, oltre ad altri uffici del Comune di Mirandola. La Chiesa è tuttora utilizzata a scopi religiosi.</p>
Danni	<p>Chiesa: ha retto la struttura lignea del soffitto, ma sono crollate le volte; la muratura è pericolante; gli altari lignei sono al momento integri, ma fortemente esposti a danni provocati dall'assenza della copertura.</p> <p>Ex convento: gravi danni alla struttura; crolli</p>

diffusi delle volte; scala compromessa.

Chiesa del Gesù prima del terremoto



Chiesa del Gesù dopo il terremoto



Nome del monumento	<b>Chiesa Parrocchiale di Santa Maria Maggiore - Duomo</b>
Indirizzo	Centro storico – Piazza del Duomo
Storia del monumento	<p>La costruzione del Duomo di Mirandola iniziò attorno all'anno 1440, per volere di Giovanni e Francesco I Pico. La realizzazione venne proseguita da Giovan Francesco I Pico e quindi, nel 1470, dai fratelli Galeotto e Anton Maria.</p> <p>L'importanza storico dell'edificio consiste nel fatto che con essa i Pico raggiunsero l'obiettivo di avere nella capitale dello stato la chiesa di maggiore importanza della Signoria e di costituire la Parrocchia di Mirandola, in quanto fino a quel momento Mirandola faceva capo a Quarantoli. La costruzione del Duomo fu un vero atto politico, teso a dare alla città, che stava assumendo gli attributi di piccola capitale, un importante motivo di pregio e di autorità, sia all'interno che con gli stati vicini e con il clero. La dedica alla Madonna Assunta e il titolo di Santa Maria Maggiore sono un'ulteriore dimostrazione del carattere di superiorità che si voleva conferire a questa rispetto alle altre chiese.</p> <p>L'edificio, costruito in un lungo lasso di tempo, si trovò inserito al centro di una nuova area in costruzione, il Borgo Novo. L'impianto originario presenta uno stile architettonico tardo gotico. Successive modifiche e interventi di restauro, i principali ultimati nel 1885, comportarono la ricostruzione dell'attuale facciata secondo forme quattrocentesche e pseudo-rinascimentali. Gli spazi interni sono distribuiti su tre navate, con volte a crociera costolonate. La Chiesa di S. Maria Maggiore conserva pregevoli dipinti, affreschi e monumenti funebri. Il campanile raggiunge l'altezza di m 48. La parte inferiore del campanile è tardo-quattrocentesca. Nel XVII secolo è stato rialzato e nel 1888-1889 è stata rifatta la guglia terminale.</p> <p>Internamente si trovano opere di particolare pregio, tra cui il S. Carlo Borromeo e S. Francesco d'Assisi di Sante Peranda, pittore di corte di casa Pico nel XVII secolo.</p>
Danni	Crollo completo di navate e la copertura; campanile pericolante.



Duomo di Mirandola prima del terremoto



Duomo di Mirandola dopo il terremoto



Nome del monumento	<b>Complesso di San Francesco</b>
Indirizzo	Centro storico – via Verdi / Piazza Garibaldi
Storia del monumento	<p>Il complesso della Chiesa di S. Francesco è uno dei più antichi della Città. Unitamente al limitrofo convento francescano, compare già nel primissimo assetto urbano risalente al XIII Secolo. La Chiesa di San Francesco, dai richiami gotici, figura tra le prime chiese francescane d'Italia, costruita subito dopo la canonizzazione del santo (1228). Sorta come piccola Chiesa, sul modello della Porziuncola, ad una sola navata e con il tetto a capanna, si ergeva fuori dalle mura dell'epoca, all'interno di un ristretto gruppo di case detto Borgo di Sopra e, in seguito, Borgo di San Francesco. Pur con lievi modifiche, assume l'aspetto attuale solo all'inizio del XV Secolo, quando venne inserita nel nucleo settentrionale della Città, in seguito all'allargamento della cinta muraria.</p> <p>Nel corso del tempo rivestì una grande importanza dal punto di vista sociale e religioso, per avere avviato alcune istituzioni sociali e umanitarie quali il Desco dei Poveri e il Sacro Monte di Pietà.</p> <p>L'importanza dell'edificio è data dal suo ruolo di "pantheon" della famiglia Pico: al suo interno, infatti, sono custodite le splendide tombe di Galeotto (1499), Prendiparte (1394 - opera di Paolo delle Masegne), di Spinetta (1399), ed infine di Giovan Francesco I e Giulia Boiardo, i genitori di Giovanni Pico (1467).</p> <p>La Chiesa e il convento attiguo ospitavano inoltre un patrimonio artistico e culturale di incalcolabile valore: opere d'arte (alcune delle quali trasferite presso il Museo Civico), dipinti, statue devozionali, vetrate ricche di rimandi alla storia della città e del tempo; presso il convento inoltre era ospitata una ricca collezione libraria, che, insieme ad altri fondi, andò poi a costituire il nucleo originario della Biblioteca Comunale.</p>
Uso dell'edificio in epoca attuale	Il convento costituisce la sede del Liceo Classico "Giovanni Pico", mentre la Chiesa è tuttora utilizzata a scopi religiosi.
Danni	Crollo totale della struttura, campanile compreso; è rimasta in piedi soltanto la facciata.

Chiesa San Francesco prima del terremoto



Chiesa di San Francesco dopo il terremoto



## **Oratorio del Santissimo Sacramento**

Nome del monumento	Oratorio del Santissimo Sacramento
Indirizzo	Centro storico – via Curtatone
Storia del monumento	La Chiesa, da tempo sconsacrata e attigua al Duomo, fu eretta dalla Confraternita del SS. Sacramento nel periodo 1607 – 1610. L’oratorio venne completato nel 1631, ma già nel 1776-77 fu ricostruito in forma più ampia. La facciata, ornata di terrecotte, è incompiuta nella parte superiore del timpano. L’interno è in stile tardo barocco, ad aula unica, e presenta tre cappelle di preghiera su ciascun lato maggiore.
Uso dell’edificio in epoca attuale	Il locale è utilizzato per esposizioni e mostre.
Danni	Crollo del timpano; crolli diffusi su tutta la struttura e la facciata.





*Situazione delle Chiese delle frazioni di Mirandola dopo il sisma*

**Chiesa di Gavello**

Nome del monumento	Chiesa di San Biagio Vescovo e Martire
Tipologia	Chiesa
Epoca di costruzione	1928
Indirizzo	Frazione di Gavello
Storia del monumento	<p>La Chiesa attuale fu costruita nel 1928, al posto di una precedente antica costruzione, con elementi barocchi. Della vecchia Chiesa sono conservati la pila del fonte battesimale del 1699 e due altari in marmi policromi, dedicati uno alla Madonna del Popolo e il secondo al Santissimo Sacramento, collocati ora alla fine delle navate laterali.</p> <p>Nonostante il modesto valore storico – artistico dell’edificio, esso costituisce tuttavia un punto di riferimento di Gavello, frazione rurale, a vocazione agricola, dove sorse una delle prime leghe contadine e di braccianti della Bassa Modenese.</p>
Uso dell’edificio in epoca attuale	Chiesa
Danni	Crepe e crolli diffusi; da segnalare il crollo totale della vecchia canonica.



## **Chiesa di San Martino Carano**

Nome del monumento

Chiesa di San Martino Carano

Tipologia

Chiesa

Epoca di costruzione

1599 - 1619

Indirizzo

Frazione di San Martino Carano

Storia del monumento

Ricostruita nel 1599, nel posto e con i materiali di un'altra più antica, la Chiesa fu completata e rifinita nel 1619, anno in cui fu costituita anche la Parrocchia, che prima era compresa in quella di Mirandola. Nonostante la modestia dell'edificio dal punto di vista storico – artistico, la chiesa e la frazione stessa sono rappresentative del territorio, richiamando in particolare l'aspetto della devozione nei confronti del Vescovo di Tour (a cui sono dedicate numerose chiese in zona, due delle quali nel Comune di Mirandola), per la sua lotta contro le eresie. Il toponimo Carano è invece legato alla colonizzazione romana, derivando probabilmente dal nome del proprietario.

Uso dell'edificio in epoca attuale

Chiesa

Danni

Crolli diffusi all'interno della Chiesa; il campanile, collassato, dovrà essere demolito.

## Chiesa di Tramuschio

Nome del monumento	Chiesa di Tramuschio
Tipologia	Chiesa
Epoca di costruzione	Secolo XVI
Indirizzo	Frazione di Tramuschio
Storia del monumento	Dedicata alla visitazione di Maria, fu ricostruita nel luogo dove si trova ora, nel secolo XVI; nel 1616 fu ampliata e nel secolo scorso (nel 1933 e successivamente nel 1978) ulteriormente restaurata. Caratteristiche sono le vetrate con volti di Santi e la vetrata del rosone che rappresenta la visitazione di Maria. Da segnalare è anche la presenza di un confessionale del secolo XVI, in legno scolpito ed intagliato.
Uso dell'edificio in epoca attuale	Chiesa
Danni	Crollo di gran parte del timpano; murature compromesse; crolli diffusi ed estesi all'interno; campanile compromesso.

## Chiesa di Mortizzuolo

Nome del monumento	Chiesa di San Leonardo di Limoges
Tipologia	Chiesa
Epoca di costruzione	1444
Indirizzo	Frazione di Mortizzuolo
Storia del monumento	<p>La Chiesa viene citata dalle fonti per la prima volta nel 1222, ma la località Motta di Montirone, che fa parte della frazione di Mortizzuolo, già fortilizio romano vicino alla stazione romana della Tesa, poi sede di un importante insediamento medievale e di una chiesa, è nominata già nel 963. La Chiesa attuale risale in parte al 1444, come indicato in una lapide fissata all'esterno dell'abside. In parte maggiore risale invece al 1681, quando si raddoppiò la navata centrale e si costruirono le navate laterali. La Chiesa subì interventi e modifiche in diverse epoche, sino ai lavori di restauro, abbellimento e decorazione eseguiti tra il 1960 e il 1970, che hanno portato all'attuale aspetto interno, consistenti nel rivestimento con lastre di marmo dei pilastri, nell'apertura delle bifore dell'abside, nella sua sistemazione esterna e nella decorazione pittorica.</p> <p>Internamente sono da segnalare i dipinti ad affresco dell'abside, le eleganti vetrate a colori delle bifore delle pareti laterali, due altari barocchi in marmi policromi, una tela con Madonna del Buon Consiglio, risalente al 1611, contenuta in una magnifica cornice in stile barocco.</p>
Uso dell'edificio in epoca attuale	Chiesa
Danni	Chiesa sostanzialmente distrutta; crolli estesi e diffusi su tutta la struttura; murature portanti compromesse.

## Chiesa di San Martino Spino

Nome del monumento	Chiesa di San Martino
Tipologia	Chiesa
Epoca di costruzione	1636
Indirizzo	Frazione di San Martino Spino
Storia del monumento	<p>Eretto sui resti di una precedente chiesa, una tra le più antiche ed importanti del territorio dei Pico, l'edificio attuale fu costruito nel 1636 e benedetta nel 1647. Anche la prima chiesa dedicata a San Martino sorgeva probabilmente su precedenti ruderi, romani, di cui la zona è ricchissima. Internamente si trovano sei cappelle laterali e un altare maggiore, dedicato a San Martino Vescovo, con un magnifico ciborio di marmi intarsiati e due ali laterali che toccano le pareti del presbiterio.</p> <p>Antico insediamento romano e sede di un castello fortificato in epoca medievale, preso con uno stratagemma e poi raso al suolo dai Pico, la frazione di San Martino costituisce l'ultimo baluardo del territorio mirandolese nella Provincia di Modena.</p>
Uso dell'edificio in epoca attuale	Chiesa
Danni	La Chiesa è inagibile, a causa di crepe sulle strutture portanti.

## Chiesa di San Giacomo Roncole

Nome del monumento	Chiesa dei Santi Giacomo e Filippo
Tipologia	Chiesa
Epoca di costruzione	XIII secolo
Indirizzo	Frazione di San Giacomo Roncole
Storia del monumento	<p>Già nota nel 1227, fu restaurata ed ampliata nel 1673 e successivamente nel 1794, quando assunse sostanzialmente l'aspetto attuale; lavori significativi furono poi realizzati nel 1893 e infine nel 1931, quando fu realizzata anche la decorazione pittorica interna.</p> <p>Dedicata in origine solo a San Giacomo, dal secolo XIV porta il doppio titolo dei SS. Giacomo e Filippo. Anticamente soggetta a Quarantoli, la Chiesa passò nel 1470 alla dipendenza del Duomo di Mirandola.</p> <p>L'interno, completamente dipinto e affrescato, è ad una sola navata, con due profonde cappelle sui lati.</p> <p>La Chiesa conserva ancora la sua cantoria e un monumentale organo a 850 canne e 24 registri, fabbricato nel 1865 da Carlo Comencini da Bompiano di Brescia e ricostruito a regola d'arte nel 1975. Attraverso l'organizzazione di rassegne musicali, l'organo e la Chiesa stessa sono rientrati in percorsi di valorizzazione degli organi storici.</p> <p>Linea di confine, fino al 1710, tra il Ducato della Mirandola e quello di Modena, la frazione è nota anche per l'attività di don Zeno Saltini, parroco di San Giacomo, fondatore di Nomadelfia.</p>
Uso dell'edificio in epoca attuale	Chiesa
Danni	Crolli diffusi; timpano della facciata caduto; pericolo di crollo del campanile.

*Allegato 06 – Verbale dei danni Pieve di Quarantoli, Comune di Mirandola*

Nome del monumento	<b>Pieve di Santa Maria delle Neve</b>
Indirizzo	Frazione di Quarantoli
Storia del monumento	<p>Unica Chiesa romanica del territorio mirandolese, le cui origini vengono ricondotte alla contessa Matilde di Canossa, viene citata dalle fonti per la prima volta nel 1044, anche se scavi archeologici compiuti nei dintorni e il rinvenimento di numerosi reperti antichi inducono a retrodatare la nascita dell'edificio addirittura all'epoca preromanica.</p> <p>Presenta parti originali risalenti al XII secolo o ricondotte all'aspetto originale (torre campanaria e vano anteriore), parti di epoca e di stile barocco (la facciata) risalenti al 1670, quando il fabbricato subì quasi una ricostruzione e parti risalenti alla seconda metà del XIX secolo (facciata).</p> <p>L'interno è a tre navate, con arcate a pieno centro, sostenuto da colonne cruciformi; di particolare rilevanza sono le antiche sculture in tufo e in pietra da taglio o in marmo che decorano l'interno della pieve, anche se non collocate nelle loro sedi originali. Le figure che adornano il pulpito sono probabilmente riconducibili ad artisti attivi nella cerchia di Wiligelmo, autore del Duomo di Modena. Anche l'altare maggiore è stato ricostruito con frammenti originali di grande bellezza, appartenenti alla Chiesa.</p> <p>La Chiesa ha un particolare valore storico – culturale, in quanto si inserisce in un percorso ideale di chiese romaniche, che caratterizzano le province di Modena, Mantova, Verona, Ferrara e Parma, e che rientrano in progetti di promozione del patrimonio. Inoltre la frazione di Quarantoli ha una particolare importanza nella storia della città di Mirandola, in quanto la corte di Quarantoli era la località più importante, per così dire la capitale, del nucleo originario del territorio che dopo essere stato soggetto al Regno Longobardo, all'Abbazia di Nonantola, al Comune e alla Diocesi di Reggio, passò infine sotto il governo della Contessa Matilde di Canossa, che lo cedette in seguito ad un suo capitano, Ugo di Manfredo, da cui discendono vari rami di famiglie, tra cui i Pico, signori di Mirandola per quattrocento anni (dal 1311 al 1711).</p>
Uso dell'edificio in epoca attuale	Chiesa
Danni	La Chiesa è gravemente lesionata; sono evidenti crolli diffusi di notevole portata.



Pieve di Quarantoli prima del terremoto





## Collegiata di Santa Maria Maggiore

È la più antica Chiesa del Centopievese, fino al 1378 sede dell'unico fonte battesimale. Compare per la prima volta in un documento del 1207 come "Pieve di Santa Maria Maggiore". L'edificio attuale è una ricostruzione del 1702-1710 su progetto dei fratelli Campiotti di Modena. L'abside, invece, è ancora quella della chiesa preesistente e risale alla seconda metà del XIV secolo. L'interno, in stile barocco, è a navata unica, con altari laterali. Conserva numerose opere d'arte, tra le quali si segnalano:

L'ASSUNZIONE DI GUIDO RENI (1600), che si trova contro il fondo absidale della Chiesa Collegiata, sopra l'altare maggiore.

L'ANNUNCIAZIONE DEL GUERCINO (1646) nell'omonima cappella, la prima da sinistra rispetto all'entrata.

IL CROCIFISSO LIGNEO (fine sec. XIII), di stile romanico-lombardo (fine sec XIII). di particolare culto, è una vera gloria religiosa per la comunità pievese. A questa sacra immagine, venerata nei secoli, si deve il carattere di santuario che ha assunto la Collegiata. Ogni venti anni, in coincidenza con la divisione dei terreni della Partecipanza agraria, si svolge la processione del Crocifisso, al cui culto sono dedicati anche, per antica tradizione, i Venerdì di marzo e il mercato collegato.

Queste, più nel dettaglio, le opere contenute in Collegiata:

- 1) Guercino, Annunciazione (3,23metri x 1,98 metri)
- 2) Guido Reni, Assunzione della Madonna (4 metri x 2,80 metri)
- 3) Lavinia Fontana, Assunzione della Madonna (3 metri x 1,90)
- 4) Scarsellino, Nascita di Maria Vergine (2,50 metri x 1,76)
- 5) Bartolomeo Gennari, Crocefissione di Cristo con la Madonna (2,50 metri x 1,88 metri)
- 6) Bartolomeo Passarotti, Ritrovamento della vera Croce (1,95 metri x 1,32 metri)
- 7) Giovan francesco Gessi, San filippo neri ha la visione della Madonna con il bambino (2,50 metri x 1,80 metri)

IL CAMPANILE (h 48m.). La costruzione attuale risale al 1487 e fu operata sul troncone del campanile precedente. I lavori di restauro, conclusi nel 1990, hanno permesso un rifiorire della tradizione campanaria: le campane pievesi, tra le più rinomate della provincia, risalgono al 1809, anno in cui furono fuse nell'officina Reatti di Reggio Emilia.

***PRINCIPALI DANNI IN SEGUITO AL SISMA: crollo della cupola centrale e della relativa copertura; lesioni sulle pareti laterali della Chiesa in corrispondenza dell'intersezione con la porzione più alta della facciata; frattura della porzione sommitale della guglia del campanile***





***Cupola, Prima del sisma***



***Interno, dopo il sisma del 29 Maggio***



***Interno, dopo il sisma del 29 Maggio***



***Interno, dopo il sisma del 29 Maggio***





Allegato 08 – Foglio di Calcolo utilizzato per l'elaborazione dei dati dei casi di studio

CHIESA	PAESE	PROVINCIA	MURATURA	COPERTURA	FINESTRE	n laterali	n centrale	s	bf	b	h max nav centrale	h min navata centrale	h max nav laterale	h min nav laterale	I falda
Chiese ad una Navata															
Chiesa di San Pietro	Albese con Cassano	Como	Pietra locale	Coppi su getto di cemento 6 cm su lastre di ardesia 3 cm	2		7,303	0,416	6,303	18,895	6,498	5,217			3,87
Chiesetta della Madonna di Loreto	Molena di Albavilla	Como	Pietra locale	Tegole su assito ligneo 16 travi secondarie			6,057	0,458		8,9	6,142	4,86			3,29
Chiesa di San Damiano	Cogliate	Monza e Brianza	Laterizio	Coppi con assito ligneo				0,44		8,63	7,48	5,7			1,78
Chiesa di Santa Maria alla Fonte	Milano	Milano	Laterizio	Coppi su getto in c.a.		13,45	0,6			24,4	14,8	9,351			8,66
Abbazia di Piona	Colico	Lecco	pietra calcarea del lago di lecco	Travi in legno di larice a capriate navata e din con assito ligneo, copertura in pietra calcarea del luogo	2 (su una sola navata e din posizione irregolare si segnalare il bf maggiore)	8	0,77		13,55	27,6	13,06	9,5			5,35
Chiesa di San Rocco	Somma Lombardo	Varese	Pietra mista a laterizio	Coppi con assito ligneo		6,26 e 6,438	13,092	0,892		11,6	14,27	10,37	8,433	8,433	7,62
Chiesa di Santa Maria in Binda	Nosate	Milano	laterizio misto pietra	Coppi su assito in legno 3 capriate	1 dim. 0,829 a 1,9 dalla facciata		6,235	0,4045	10,586	13,405	6,706	4,818			3,64
Chiesa di Santo Stefano	Varese	varese	Pietra locale	Coppi su ardesia	2 (vedi rilievo)		10,373	0,56	4,34	15,698	8,25	7,166			5,30
Chiese a tre navate															
Basilica di San Vittore	Arsago al Seprio	Varese	Pietra Locale cave del ticino, corsi orizzontali h= 28 cm	Coppi su getto di cemento armato sp. 6cm	5 dim. 0,834 distanza da facciata 3,462	3,997	8,49	0,734	3,673	23,305	3,6	2,4	5,49	4,18	4,41
Chiesa di San Vittore	Brezzo di Bedero	Varese	Pietra locale in corsi	navate laterali in coppi su assito ligneo navata centrale in ardesia, 11+1 capriate di chiusura su abside	3 vicino a facciata dim. 2,026 distanza da facciata 6,589	4,984 e 4,945	7,851	0,813	3,315	37,093	14,865	12,248	9,503	6,338	4,72
Chiesa di San Donato	Sesto Calende	Varese	Pietra Locale cave del ticino	Coppi con assito ligneo	5 dim. 2,187 distanza da facciata 4,11	5,6075	5,545	0,491	3,19025	31,481	4,38	3,2	7,96	6,57	3,01
Basilica di Sant'Agostino	Milano	Milano	Laterizio	Pietra su soletta in ca 10 cm				1,3							
Chiesa di Sant'Eugenio	Concorezzo	Monza e Brianza	Laterizio	coppi su assito ligneo		3,146 o 3,076	7,816	0,558		20,35	11,13	9,199	5,901	5,901	4,36



<b>Basilica di San Michele</b>	Oleggio	Novara	Laterizio misto pietra	Coppi con assito ligneo	5 dim. 0,648 distanza da facciata 1,555	4,667	9,148	0,731	2,323	22,142	9,026	8	6,35	3,323	4,69
<b>Chiesa di San Lorenzo</b>	Portovenere	La Spezia	pietra nera locale	vedi verbale ristrutturazione	4 finestre	5,88	10,6	0,68	5,98	32,55	16,1	13,46	10,1	7,48	5,92
<b>Chiesa di San Nicolò dell'isola</b>	Sestri Levante	La spezia	Pietra locale marmo portoro	pietra locale con assito ligneo		3,86	5,35	0,75		20,36	3,25	2,25			2,86
<b>Basilica di S. Salvatore dei Fieschi</b>	Cogorno	Genova	Ardesia	beole in ardesia	6	3,75	7,08	0,63	3,54	26	14,83	12,89		10,31	4,04
<b>Chiese che hanno subito danni per effetto del meccanismo trasversale dell'aula durante il terremoto dell'Emilia</b>															
<b>Chiesa di San Giovanni</b>	Concordia Sulla Secchia	Modena	Laterizio	Coppi	3 per lato	3,09	10,48	0,47	4,0225	20,09	14,66	12,15	9,60	6,91	5,81
<b>Duomo di Santa Maria Maggiore</b>	Mirandola	Modena	Laterizio	Coppi	4 per lato	6,23	11,76	0,92	8,9	51,59	22,77	20,81	16,89	14,44	6,20
<b>Chiesa di San Francesco</b>	Mirandola	Modena	Laterizio	Coppi	3 per lato	5,94	12,95	0,89	10,6	47,72	6,16	3,86	0	0	6,87
<b>Chiesa di Santa Caterina</b>	Novi di Modena	Modena	Laterizio	Coppi		1,4	13,4	0,6		25,45	16,4	13,2	10,6	9,6	7,42
<b>Chiesa di S. Martino Secchia</b>	Carpi	Modena	Laterizio	Coppi		2,44	9,3	0,44	3,25	21	11	9,6	8	7	4,86
<b>San Giovanni Battista</b>	Cavezzo	Modena	Laterizio	Coppi	2 per lato		9,4	0,53	12,18	18,24	13,27	11,06			5,19
<b>Chiesa di S. Egidio</b>	Cavezzo	Modena	Laterizio	Coppi	3 per lato		13,18	0,68	5,16	28,64	19,77	16,62			7,31
<b>Chiesa di S. Martino di Tour</b>	Centò	Ferrara	Laterizio	Coppi	3 per lato	3,75	11,59	0,50	6,5	30	20,98	18,51	13,27	10,80	6,30

CHIESA	COMUNE	MATERIALI	SPESSORE [m]	SUPERFICIE [m <sup>2</sup> ]	DENSITA' [kg/m3]	MASSA STRATO	N [N]	N [Kn]
<b>Una navata</b>								
Chiesa di San Pietro	Albese con Cassano	listelli di supporto in legno		24,39	600		35187,287	35,19
		pannelli di pietra	0,03	24,39	2900	2121,98		
		getto di completamento	0,06	24,39	600	1,46		
		coppi		24,39	60	1463,44		
Chiesetta della Madonna	Molena di Albavilla	assito ligneo	0,06	29,27	600	1053,69	28601,88	28,60
		listelli di supporto in legno	3,29	0,05	600	105,75		
		coppi		29,27	60	1756,15		
Chiesa di San Damiano	Cogliate	assito ligneo	0,06	15,36	600	553,01	15011,20	15,01
		listelli di supporto in legno	1,78	0,05	600	55,50		
		coppi		15,36	60	921,68		
Chiesa di Santa Maria alla Fonte	Milano	assito in legno	0,04	211,19	600	5068,65	256102,30	256,1023033
		getto di completamento	0,06	211,19	600	7602,97		
		coppi		211,19	60	12671,61		
		listelli in legno	8,66	0,15	600	763,02		
Abbazia di Piona	Colico	assito in legno	0,04	72,56	600	1741,37	92787,79	92,79
		pietra rivestimento	0,03	72,56	2500	5441,79		
		listelli in legno	5,35	0,17	600	533,96		
		assito in legno	0,04	72,56	600	1741,37		
Chiesa di San Rocco	Somma Lombardo	assito ligneo	0,06	88,39	600	3181,99	86373,70	86,37
		listelli di supporto in legno	7,62	0,07	600	319,34		
		coppi		88,39	60	5303,32		
Chiesa di Santa Maria in	Nosate	assito ligneo	0,04	38,58	600	925,97	33524,78	33,52
		listelli di supporto in legno	3,64	0,08	600	176,51		
		coppi		38,58	60	2314,93		
Chiesa di Santo Stefano	Varese	pannelli di pietra	0,03	23,00	2900	2000,63	16625,96	16,63
		getto di completamento	0,06	23,00	600	827,85		
		coppi		23,00	600	13797,47		
<b>Chiese a tre navate</b>								
Basilica di San Vittore	Arsago al Seprio	Assito ligneo	0,06	16,20	600,00	583,30	23671,48	23,67
		listelli in legno	4,41	0,14	600,00	371,43		
		getto di completamento	0,05	16,20	600,00	486,09		
		coppi		16,20	60,00	972,17		
Chiesa di San Vittore	Brezzo di Bedero	Assito ligneo	0,06	15,64	600,00	563,03	20927,15	20,93
		Beole in pietra	0,03	15,64	2500,00	1172,98		
		listelli in legno	4,72	0,14	600,00	397,24		
Chiesa di San Donato	Sesto Calende	Assito ligneo	0,06	9,61	600,00	346,06	12414,89	12,41
		listelli in legno	3,01	0,19	600,00	342,71		
		coppi		9,61	60,00	576,76		
Chiesa di Sant'Eugenio	Concorezzo	Assito ligneo	0,06	88,71	600,00	3193,43	86684,17	86,68
		listelli in legno	4,36	0,12	600,00	320,49		
		coppi		88,71	60,00	5322,39		
Basilica di San Michele	Oleggio	Assito ligneo	0,06	10,89	600,00	392,02	13933,97	13,93
		listelli in legno	4,69	0,13	600,00	375,00		
		coppi		10,89	60,00	653,37		
Chiesa di San Lorenzo	Portovenere	Assito ligneo	0,02	35,41	600,00	424,90	54133,48	54,13
		listelli in legno	4,69	0,17	600,00	472,52		
		manto in ardesia	0,045	35,41	2900,00	4620,78		
Chiesa di San Nicolò dell'Isola	Sestri Levante	Assito ligneo	0,06	58,14	600,00	2093,19	72219,32	72,22
		listelli in legno	2,86	0,12	600,00	210,07		
		Beole in pietra	0,03	58,14	2900,00	5058,55		
Basilica S. Salvatore dei Fieschi	Cogorno	Assito ligneo	0,04	14,29002898	600	342,9606956	19280,43205	19,28043205
		listelli in legno	4,04	0,16	600	379,1923127		
		Beole in pietra	0,03	14,29002898	2900	1243,232521		
<b>Chiese terremoto emilia</b>								
Chiesa di San Giovanni	Concordia sulla Secchia	Assito ligneo	0,06	23,36	600,00	840,87	26131,91	26,13
		listelli in legno	5,81	0,12	600,00	421,47		
		coppi		23,36	60,00	1401,46		
Santa Maria Maggiore	Mirandola	Assito ligneo	0,06	55,16	600,00	1985,86	63283,15	63,28
		listelli in legno	6,20	0,31	600,00	1155,26		
		coppi		55,16	60,00	3309,77		
Chiesa di		Assito ligneo	0,06	72,84	600,00	2622,11	80216,12	

San Francesco	Mrandola	listelli in legno	6,87	0,29	600,00	1184,68		80,22
		coppi		72,84	60,00	4370,19		
Chiesa di Santa Caterina	Novi di Modena	Assito ligneo	0,06	188,97	600,00	6802,75	184657,26	184,66
		listelli in legno	7,42	0,15	600,00	682,71		
		coppi		188,97	60,00	11337,91		
Chiesa di S. Martino Secchia	Carpi	Assito ligneo	0,06	15,78	600,00	568,17	20301,02	20,30
		listelli in legno	7,31	0,13	600,00	554,29		
		coppi		15,78	60,00	946,96		
San Giovanni Battista	Cavezzo	Assito ligneo	0,06	63,25	600,00	2276,99	59565,93	59,57
		listelli in legno	0,00	0,11	600,00	0,00		
		coppi		63,25	60,00	3794,98		
Chiesa di S. Egidio	Cavezzo	Assito ligneo	0,06	37,69	600,00	1356,87	42910,67	42,91
		listelli in legno	7,31	0,17	600,00	755,85		
		coppi		37,69	60,00	2261,45		
Chiesa di S Martino di Tour	Cento	Assito ligneo	0,06	40,95	600,00	1474,04	38560,77	38,56
		listelli in legno	0,00	0,18	600,00	0,00		
		coppi		40,95	60,00	2456,73		

CHIESA	COMUNE	N [N]	N <sub>0</sub> [N]	N <sub>0</sub> [kN]	b [m]	h [m]	s [m]	fm [Mpa]	α <sub>1</sub>	coeff. C	α <sub>2</sub>	α <sub>3</sub>	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Una navata</b>													
Chiesa di San Pietro	Albese con Cassano	35187,29	365676,4	365,68	6,303	5,217	0,416	150	3,99%	1,84	7,33%	7,32%	2725
Chiesetta della Madonna di Loreto	Molena di Albavilla	28601,88	529574,7	529,57	8,9	4,86	0,458	150	4,71%	1,90	8,96%	8,95%	2725
Chiesa di San Damiano	Cogliate	15011,20	405546,5	405,55	8,63	5,7	0,44	56	3,86%	1,93	7,45%	7,43%	1910
Chiesa di Santa Maria alla Fonte	Milano	256102,30	2565084	2565,08	24,4	9,351	0,6	56	3,21%	1,83	5,88%	5,86%	1910
Abbazia di Piona	Colico	92787,79	2427958	2427,96	13,55	9,5	0,77	105	4,05%	1,93	7,82%	7,79%	2497
Chiesa di San Rocco	Somma Lombardo	86373,70	2789437	2789,44	11,6	10,37	0,892	115,6	4,30%	1,94	8,35%	8,32%	2650
Chiesa di Santa Maria in Binda	Nosate	33524,78	530258,3	530,26	10,586	4,818	0,4045	173	4,20%	1,89	7,92%	7,92%	2620
Chiesa di Santo Stefano	Varese	16625,96	452761,4	452,76	4,34	7,166	0,56	115,6	3,91%	1,93	7,55%	7,53%	2650
<b>Tre navate</b>													
Basilica di San Vittore	Arsago al Seprio	23671,48	168206,6	168,21	3,673	2,4	0,734	115,6	15,29%	1,78	27,22%	27,20%	2650
Chiesa di San Vittore	Brezzo di Bedero	20927,15	192323	192,32	3,315	2,745	0,813	115,6	14,81%	1,82	26,97%	26,95%	2650
Chiesa di San Donato	Sesto Calende	12414,89	128832,8	128,83	3,19025	3,2	0,491	173	7,67%	1,84	14,10%	14,09%	2620
Chiesa di Sant'Eugenio	Concorezzo	86684,17	701700,3	701,70	20,35	3,298	0,558	56	8,46%	1,80	15,24%	15,22%	1910
Basilica di San Michele	Oleggio	13933,97	72014,65	72,01	2,323	1,65	0,731	173	22,15%	1,72	38,12%	38,11%	2620
Chiesa di San Lorenzo	Portovenere	54133,48	363235	363,23	5,98	3,36	0,68	186,7	10,12%	1,77	17,91%	17,90%	2710
Chiesa di San Nicolò dell'Isola	Sestri Levante	72219,32	977436,5	977,44	20,36	2,25	0,75	156	16,67%	1,87	31,19%	31,17%	2900
Basilica di S. Salvatore dei Fieschi	Cogorno	19280,43	163693,2	163,69	3,54	2,58	0,63	156	12,21%	1,81	22,09%	22,08%	2900
<b>Terremoto emilia</b>													
Chiesa di San Giovanni	Concordia sulla Secchia	26131,91	90443,98	90,44	4,0225	2,55	0,47	56	9,20%	1,63	15,04%	15,02%	1910
Duomo di Santa Maria Maggiore	Mirandola	63283,15	601403,9	601,40	8,9	3,92	0,92	56	11,73%	1,83	21,43%	21,39%	1910
Chiesa di San Francesco	Mirandola	80216,12	682316	682,32	10,6	3,86	0,89	56	11,53%	1,81	20,86%	20,82%	1910
Chiesa di S. Caterina	Novi di Modena	184657,26	743900,3	743,90	25,45	2,60	0,6	56	11,54%	1,67	19,25%	19,22%	1910
Chiesa di San Martino Secchia	Carpi	20301,02	42870,48	42,87	3,25	1,60	0,44	56	13,75%	1,51	20,81%	20,79%	1910
San Giovanni Battista	Cavezzo	59565,93	1335753	1335,75	12,18	11,06	0,53	56	2,39%	1,92	4,59%	4,57%	1910
Chiesa di S. Egidio	Cavezzo	42910,67	1095291	1095,29	5,16	16,62	0,68	56	2,05%	1,93	3,95%	3,92%	1910
Chiesa di S. Martino di Tour	Cento	38560,77	320953,9	320,95	6,5	5,25	0,50	56	4,79%	1,81	8,65%	8,63%	1910



CHIESA	PAESE	S [m]	L [m]	S/H	$\lambda$	$\alpha_1$ [%]	$\alpha_2$ [%]	$\alpha_3$ [%]	diff % 1-2	diff % 2-3
Chiese ad una navata										
Chiesetta della Madonna di Loreto	Molena di Albavilla	0,46	5,60	0,094	10,61	4,71%	8,96%	8,95%	47,44%	0,12%
Chiesa di San Rocco	Somma Lombardo	0,89	12,20	0,086	11,63	4,30%	8,35%	8,32%	48,50%	0,32%
Chiesa di Santa Maria in Binda	Nosate	0,40	5,83	0,084	11,91	4,20%	7,92%	7,92%	47,03%	0,10%
Abbazia di Piona	Colico	0,77	7,58	0,081	12,34	4,05%	7,82%	7,79%	48,16%	0,31%
Chiesa di San Pietro	Albese con Cassano	0,42	7,303	0,080	12,54	3,99%	7,33%	7,32%	45,61%	0,14%
Chiesa di Santo Stefano	Varese	0,56	9,81	0,078	12,80	3,91%	7,55%	7,53%	48,23%	0,22%
Chiesa di San Damiano	Cogliate	0,44	0	0,077	12,95	3,86%	7,45%	7,43%	48,22%	0,26%
Chiesa di Santa Maria alla Fonte	Milano	0,60	12,85	0,064	15,59	3,21%	5,88%	5,86%	45,46%	0,46%
Chiese a tre navate										
Basilica di San Michele	Oleggio	0,73	8,42	0,443	2,26	22,15%	38,12%	38,11%	41,89%	0,04%
Chiesa di San Nicolò dell'Isola	Sestri Levante	0,75	4,60	0,333	3,00	16,67%	31,19%	31,17%	46,56%	0,06%
Basilica di San Vittore	Arsago al Seprio	0,73	7,76	0,306	3,27	15,29%	27,22%	27,20%	43,83%	0,08%
Chiesa di San Vittore	Brezzo di Bedero	0,81	7,04	0,296	3,38	14,81%	26,97%	26,95%	45,09%	0,09%
Basilica di S. Salvatore dei Fieschi	Cogorno	0,63	6,45	0,244	4,10	12,21%	22,09%	22,08%	44,73%	0,07%
Chiesa di San Lorenzo	Portovenere	0,68	9,92	0,202	4,94	10,12%	17,91%	17,90%	43,51%	0,07%
Chiesa di Sant'Eugenio	Concorezzo	0,56	7,26	0,169	5,91	8,46%	15,24%	15,22%	44,50%	0,17%
Chiesa di San Donato	Sesto Calende	0,49	5,05	0,153	6,52	7,67%	14,10%	14,09%	45,61%	0,07%
Chiese in cui, durante il terremoto dell'Emilia, si è attivato il meccanismo										
Chiesa di S. Martino Secchia	Carpi	0,44	8,86	0,275	3,64	13,75%	20,81%	20,79%	33,93%	0,11%
Duomo di Santa Maria Maggiore	Mirandola	0,92	10,84	0,235	4,26	11,73%	21,43%	21,39%	45,24%	0,19%
Chiesa di Santa Caterina	Novi di Modena	0,60	12,80	0,231	4,33	11,54%	19,25%	19,22%	40,06%	0,14%
Chiesa di San Francesco	Mirandola	0,89	12,06	0,231	4,34	11,53%	20,86%	20,82%	44,74%	0,19%
Chiesa di San Giovanni	Concordia Sulla Secchia	0,47	10,01	0,184	5,43	9,20%	15,04%	15,02%	38,79%	0,15%
Chiesa di S. Martino di Tour	Cento	0,50	11,09	0,096	10,44	4,79%	8,65%	8,63%	44,64%	0,26%
San Giovanni Battista	Cavezzo	0,53	8,87	0,048	20,89	2,39%	4,59%	4,57%	47,87%	0,52%
Chiesa di S. Egidio	Cavezzo	0,68	12,50	0,041	24,37	2,05%	3,95%	3,92%	48,11%	0,77%

## Ringraziamenti

*Desidero ringraziare sinceramente la Prof.ssa Maria Adelaide Parisi, relatore di questa tesi, per la grande disponibilità e la cortesia dimostratami e per tutto l'aiuto datomi durante la stesura.*

*Ringrazio inoltre la Prof.ssa Floriana Pergalani per l'aiuto fornitomi nel reperire i dati relativi alle accelerazioni di picco registrate o ricavate nei luoghi colpiti dall'evento sismico del terremoto dell'Emilia del maggio 2012.*

*Un ringraziamento speciale va a tutte le persone che mi sono state vicine in questi anni e mi hanno sostenuto nel raggiungere questo importante obiettivo.*