POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

Tesi di Laurea Magistrale

ANALISI DI VULNERABILITA' SISMICA DI BENI CULTURALI ECCLESIASTICI SU SCALA TERRITORIALE



Relatore

Prof. Ing. Rosario Ceravolo

Candidato

Correlatore

Anna Sblano

Arch. PhD. Giulia De Lucia

"In un momento della corsa, per la velocità della corsa medesima, o perché finisce in un fiume, o perché un raggio di sole o di luna lo colpisce al fianco, il lupo è d'un tratto trasformato in una donna che ride e corre libera verso l'orizzonte"

C.P.Estés

A Mamma e Babbo
A Cesare
Ai miei nonni
A Giorgia e Roberta
A me, alla mia parte fragile come il cristallo
e dura come il cemento armato

Sommario

In	troduzi	one	1 -		
1	Ana	lisi sismica di costruzioni storiche in muratura	3 -		
1.1 Classificazione sismica del territorio nazionale					
	1.2	Valutazione della pericolosità e rischio sismico del Piemonte	6 -		
	1.2.	1 Valutazione della pericolosità e rischio sismico di Moncalieri	9 -		
	1.3	Strumenti e criteri adottati per la valutazione della sicurezza sismica	10 -		
	1.3.	Sicurezza e conservazione di beni culturali	12 -		
	1.4	Il comportamento sismico delle costruzioni storiche in muratura	13 -		
	1.5	Valutazione della sicurezza sismica : modellazione e analisi	15 -		
	1.5.	1 Conoscenza del manufatto	16 -		
	1.5.	2 Livello di conoscenza e fattori di confidenza	18 -		
2	Mod	delli di valutazione: chiese, e strutture con grandi aule, senza orizzontamenti in	termedi		
			21 -		
	2.1	I macroelementi	22		
	2.1.				
	2.1.	La vulnerabilità delle chiese			
	2.3	Rilievo del danno			
	2.4	Rilievo della vulnerabilità			
	2.5	Curve di vulnerabilità delle chiese			
	2.6	Programma per il monitoraggio dello stato di conservazione dei beni archit			
		. 1			
	2.6.				
	2.7	Modello per la valutazione della vulnerabilità e del danno sismico delle chiese :			
		e" di secondo livello			
3		posta di una metodologia per la valutazione della vulnerabilità a vasta scala delle			
		lio Comune di Moncalieri			
	3.1	Schede censimento CEI-A			
	3.2	Stato di fatto: analisi schedografica e valutazioni preliminari			
	3.3	Valutazione della vulnerabilità a vasta scala delle chiese			
	3.3.	1 Strumento utile alle analisi: il GIS	55 -		

	3.4	Valutazione della complessità strutturale attraverso l'attivazione dei me	eccanismi di
	collass	50	56 -
	3.5	Valutazione della fruizione delle chiese	62 -
4	Stim	na e valutazione della distribuzione del danno delle chiese: caso studio	Comune di
M	Ioncalie	eri	65 -
	4.1	OpenQuake	66 -
	4.1.	Seismic source model	67 -
	4.1.2	2 Logic Tree Model	67 -
	4.1.3	GMPE, equazioni di previsione del movimento del terreno	67 -
	4.1.4	4 Modello di esposizione	68 -
	4.1.5	5 Modello di fragilità	68 -
	4.1.0	6 Modello di vulnerabilità	68 -
	4.2	Il modello di rottura nel caso studio	69 -
	4.3	Tassonomia	70 -
	4.4	Il modello di esposizione nel caso studio	74 -
	4.5	Il modello di fragilità nel caso studio	76 -
	4.6	Definizione del file di configurazione	76 -
	4.7	Elaborazione dei risultati ottenuti	78 -
	4.8	Discussione dei dati ottenuti	90 -
5	Mod	dello per la valutazione della vulnerabilità sismica delle chiese, LV1: Chies	a Collegiata
di	i Santa 1	Maria della Scala e Sant'Egidio	93 -
	5.1	Conoscenza del manufatto	93 -
	5.1.	1 Sviluppo architettonico della chiesa – integrazione dei dati	96 -
	5.2	Valutazione dell'indice di vulnerabilità attraverso la scheda "chiese" di sec	condo livello
			98 -
	5.3	Confronto risultati ottenuti	123 -
	5.4	Considerazioni	123 -
	5.5	Ipotesi di ampliamento dati scheda CEI-A	124 -
	5.6	Rielaborazione analisi OpenQuake	127 -
C	onclusio	oni	133 -
В	ibliogra	ıfia	137 -
A	ppendic	ce	

Ringraziamenti

Introduzione

Gli eventi sismici che hanno colpito l'Italia hanno avuto un impatto drammatico sulla storia e la consistenza del patrimonio culturale. I danni si verificano soprattutto su edifici in muratura esistenti, in particolare chiese che, all'interno della comunità, hanno sempre svolto un ruolo fondamentale da un punto di vista storico-culturale ma anche sociale, in quanto luoghi di aggregazione e ritrovo delle comunità.

In un periodo in cui si registrano ancora serie difficoltà in fase post-emergenza, la prevenzione per la messa in sicurezza del patrimonio ecclesiastico, così diffuso sul territorio, rappresenta un problema non trascurabile. La valutazione della vulnerabilità del patrimonio ecclesiastico, a fronte dei diversi tipi di pericolo, ha assunto un ruolo centrale nelle prospettive di conservazione e valorizzazione del patrimonio stesso ma anche nei confronti di una più ampia cura delle persone. Il gran numero di chiese dislocate in zone d'Italia ad elevato rischio sismico impone la promozione di strategie e strumenti su scala territoriale, finalizzati a mettere in evidenza le peculiarità tipologico-strutturali dei beni analizzati nonché la valutazione della loro vulnerabilità sismica.

Lo studio effettuato in questa tesi è parte di un progetto di ricerca promosso dalla *Conferenza Episcopale Italiana*, *Ufficio Nazionale per i Beni Culturali Ecclesiastici e l'Edilizia Di Culto*, in collaborazione con il *Responsible Risk Resilience Centre* del Politecnico di Torino (R3C), finalizzato a studiare il rapporto tra i processi tecnici di valutazione della vulnerabilità e i processi di natura sociale e relazionale che competono ai gestori del patrimonio ecclesiastico. Questo elaborato si concentra principalmente sull'analisi di procedure per valutare la vulnerabilità sismica su scala territoriale delle chiese, in un'ottica di prevenzione e pianificazione di strategie di intervento.

In linea con quanto detto, punto di partenza è stata un'attenta analisi dello stato dell'arte sui metodi speditivi di valutazione di vulnerabilità sismica riportati nel primo capitolo. Con l'ausilio delle *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale* sono stati ripercorsi i punti salienti in merito al comportamento delle costruzioni storiche in muratura in caso di sisma, con successiva valutazione della pericolosità e rischio sismico ad esse attribuibile.

Nel secondo capitolo l'attenzione si è focalizzata principalmente sul comportamento strutturale delle chiese. Sono stati analizzati i macroelementi e le modalità di danno sismico che potrebbero svilupparsi attraverso determinati meccanismi di collasso.

La tesi ha avuto come caso studio il Comune di Moncalieri situato in Piemonte, a sud ovest del capoluogo e le chiese che ricadono nel territorio comunale; particolare attenzione è stata rivolta alla Chiesa Collegiata di Santa Maria della Scala e Sant'Egidio.

Specificatamente, nel capito terzo è stata svolta un'analisi di vulnerabilità su scala territoriale basandosi esclusivamente sulle informazioni attualmente disponibili nel censimento delle Chiese delle Diocesi italiane ed è stato messo in evidenza come queste possano essere utilizzate per la valutazione speditiva di pericolosità territoriale. Si è arrivati alla definizione di un indice di complessità strutturale che caratterizza le chiese del Comune in base alla loro conformazione strutturale e alla loro predisposizione al danno in seguito ad un evento sismico. Successivamente sono state create delle mappe per raffigurare i risultati ottenuti dall'analisi svolta.

Nel capitolo quarto, i dati utili allo svolgimento di una seconda analisi sono stati attinti dalla medesima fonte del capitolo precedente. Questo perché, nelle prime due analisi, si è voluta porre l'attenzione anche su quanto questi dati potessero essere completi ed effettivamente utili allo svolgimento di indagini accurate.

Strumento utile per questa valutazione è stata la piattaforma opensource di OpenQuake, che ha permesso di creare delle tassonomie specifiche per ogni chiesa e di valutare la probabilità di danno relativo a un determinato scenario sismico attraverso lo Scenario Damage assessment. Anche a quest'analisi seguono mappe esplicative dei risultati ottenuti.

Infine, nell'ultimo capitolo si è svolta un'analisi LV1 attraverso l'ausilio della scheda "chiese" di II livello sulla Collegiata di Santa Maria della Scala e Sant'Egidio. Questa indagine, a differenza delle precedenti, si è basata, oltre che sulle informazioni ricavabili dalle schede di censimento, anche su altre iniziative di ricerca che hanno sottolineato l'individuazione di modi in cui le conoscenze delle diocesi possono essere ampliate. A conclusione del capitolo è stata riproposta un'analisi di danno attraverso la piattaforma OpenQuake solo sulla chiesa oggetto di studio, per verificare quanto l'implementazione delle ricerche fatte potesse cambiare i risultati ottenuti precedentemente.

La presente tesi, a seguito di queste considerazioni, vuole evidenziare gli aspetti pratici della valutazione della vulnerabilità e del rischio con l'obiettivo di individuare i passaggi in cui, le conoscenze a disposizione degli enti gestori del patrimonio ecclesiastico e delle comunità, possano integrarsi per apportare elementi utili a una più generale lettura territoriale del rischio in un'ottica di continua rigenerazione del patrimonio.

I risultati ottenuti sono stati oggetto di discussione nell'ultimo capitolo che fornisce una visione di insieme delle analisi effettuate e rappresenta un punto di partenza per sviluppi futuri.

1 Analisi sismica di costruzioni storiche in muratura

Le costruzioni storiche in muratura soggette a valutazione per il rischio sismico sono sottoposte alle disposizioni presenti nella Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 9 Febbraio 2011. "La presente Direttiva è stata redatta con l'intento di specificare un percorso di conoscenza, valutazione del livello di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche e progetto degli eventuali interventi, concettualmente analogo a quello previsto per le costruzioni non tutelate, ma opportunamente adattato alle esigenze e peculiarità del patrimonio culturale; la finalità è quella di formulare, nel modo più oggettivo possibile, il giudizio finale sulla sicurezza e sulla conservazione garantite dall'intervento di miglioramento sismico. In particolare, il documento è riferito alle sole costruzioni in muratura" (Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 9 febbraio 2011 per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni. pubblicata nella G.U. n° 24 del 29/01/2008 - suppl. ord. n° 25).

Tale direttiva relativa a sole costruzioni in muratura pone come strumento utile allo studio di queste ultime delle "Linee guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008" (D.M. 14/1/2008, pubblicato nella Gazzetta ufficiale no. 29 del 4 febbraio 2008) che con l'ausilio delle "Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" (Gazzetta Ufficiale 11/2/2019, n. 35 - Suppl. ord. n. 5), permettono di avere un quadro completo sul comportamento di tali costruzioni.

1.1 Classificazione sismica del territorio nazionale

Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003, il territorio nazionale è stato classificato in quattro zone sismiche a diversa severità, in base a studi e analisi delle probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (solitamente 50 anni) da un evento che superi un limite di intensità o magnitudo. Sino al 2003 le categorie sismiche erano tre, in quanto alcune zone erano considerate "non classificate", ragione per cui è stata introdotta una categoria 4 nella quale è facoltà della regione emanare l'obbligo della progettazione antisismica.

Zona 1 - E' la zona più pericolosa. La probabilità che capiti un forte terremoto è alta

Zona 2 - In guesta zona forti terremoti sono possibili

Zona 3 - In questa zona i forti terremoti sono meno probabili rispetto alla zona 1 e 2

Zona 4 - E' la zona meno pericolosa: la probabilità che capiti un terremoto è molto bassa

Figura 1-1 Classificazione zone sismiche

Per ogni zona è stato attribuito un valore dell'azione sismica utile per la progettazione, espresso in termini di accelerazione massima su roccia: zona 1=0.35 g, zona 2=0.25 g. zona 3=0.15 g, zona 4=0.05 g. Inoltre, il nuovo studio di pericolosità ha introdotto intervalli di accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni da attribuire alle quattro zone sismiche.

Nel rispetto degli indirizzi e criteri stabiliti a livello nazionale, alcune Regioni hanno classificato il territorio nelle quattro zone proposte, altre Regioni hanno classificato diversamente il proprio territorio, ad esempio adottando solo tre zone (zona 1, 2 e 3) e introducendo, in alcuni casi, delle caratteristiche di sismicità. sottozone per meglio adattare le norme alle (http://www.protezionecivile.gov.it/attivita-rischi/rischiosismico/attivita/classificazionesismica) (Gazzetta Ufficiale n.105 dell'8 maggio 2003, Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 s.d.)

Zona sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag)		
1	ag >0.25		
2	0.15 <ag≤ 0.25<="" td=""></ag≤>		
3	0.05 <ag≤ 0.15<="" td=""></ag≤>		
4	ag ≤ 0.05		

Figura 1-2 Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido (OPCM 3519/06)

Dunque, per ogni costruzione bisogna far riferimento a una accelerazione di riferimento propria individuata sulla base di coordinate geografiche dell'area su cui ricade la costruzione e in funzione della vita nominale di quest'ultima. Per ogni punto del territorio è stata calcolata una pericolosità di base indipendente dai confini comunali, su una maglia quadrata di 5 km.



Presidenza del Consiglio dei Ministri

Dipartimento della protezione civile co-Scienfiche per la previsione e la prevenzione dei Rischi - Servizio Rischio Sismico UFFICIO III - Attività Tecnico

Classificazione sismica al 31 gennaio 2019

Recepimento da parte delle Regioni e delle Province autonome dell'OPCM 20 marzo 2003, n. 3274

Atti di recepimento al 1º gennaio 2019. Abruzzo: DGR 29/3/03, n. 438. Basilicata: DGR 19/11/03, n. 731. Calabria: DGR 10/2/04, n. 47. Campania: DGR 7/11/02, n. 5447.

Emilia Romagna: DGR 23/07/18, n. 1164. Friuli Veneda Giulia: DGR 6/5/10, n. 845. Lezic: DGR 22/5/09, n. 387. Liguria: DGR 17/03/17, n. 2016. Lombardia: DGR 17/11/14, n. 3/2129

Marche: DGR 29/7/03, n. 1046. Molse: DGR 18/9/06, n. 1/17. Pemorte: DGR 17/12/11, n. 4-3084.

Sicilia: DGR 19/12/03, n. 408. Toscana: DGR 26/5/14, n. 878. Tiertino Alto Adige Bolzano, DGP 4/10/13 n. 1603

Sicilia: DGR 19/12/03, n. 408. Toscana: DGR 26/5/14, n. 878. Tiertino Alto Adige Bolzano, DGP 4/10/13 n. 1603

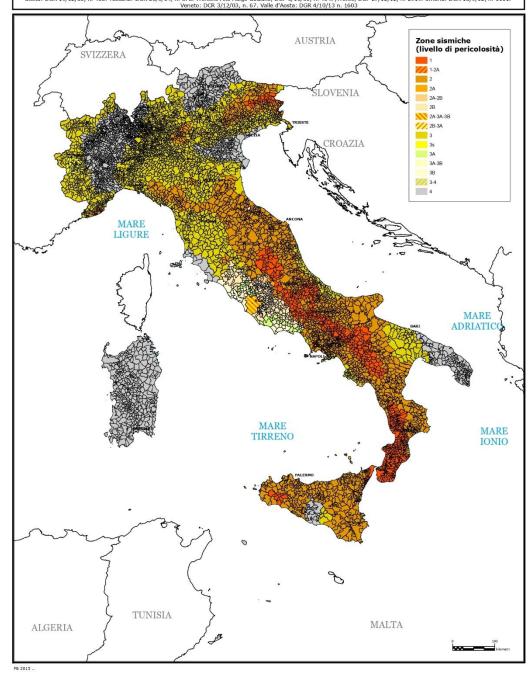


Figura 1-3 Mappa pericolosità sismica (INGV)

1.2 Valutazione della pericolosità e rischio sismico del Piemonte

"Il Piemonte è caratterizzato da una sismicità relativamente frequente, anche se di intensità medio-bassa, non distribuita in modo uniforme sul territorio regionale, ma per lo più concentrata lungo il settore occidentale delle province di Torino e Cuneo e le estremità sud-orientali dell'alessandrino e nord-orientali del VCO" (https://www.regione.piemonte.it)

Inizialmente la classificazione sismica del territorio era di competenza dello Stato che ha provveduto negli anni 80 alla classificazione dell'interno territorio nazionale. (DM 4 Febbraio 1982 s.d.)

Oggi però, la classificazione sismica del territorio è di competenza delle regioni secondo criteri fissati a scala nazionale: la prima classificazione sismica della regione Piemonte suddivideva il territorio in zone 3S,3,4 (DGR n. 65-7656 del 21 maggio 2014 s.d.)

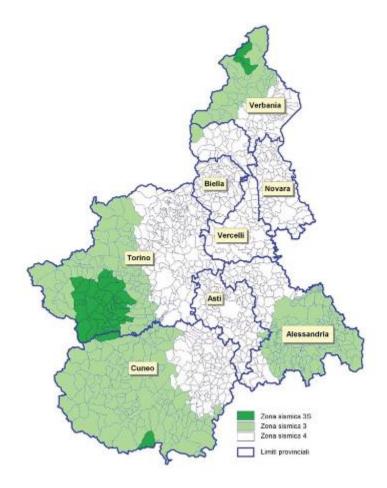


Figura 1-4 Classificazione sismica vigente approvata con DGR n. 65-7656 del 21 maggio 2014

Successivamente a questa, è stata riconosciuta l'esigenza di aggiornare la mappa di pericolosità sismica al fine di elaborare un nuovo modello di pericolosità del territorio nazionale, ragion per cui la regione Piemonte ha promosso l'iniziativa di aggiornamento delle mappe con il fine di verificare e revisionare gli elenchi dei comuni classificati. (Deliberazione della Giunta Regionale 15 febbraio 2019, n. 17-8404 s.d.)

Per avere indicazioni sulla pericolosità sismica di riferimento ci si avvale di criteri probabilistici con i quali si determinano le accelerazioni attese al suolo per un tempo prefissato, che in Italia è di 475 anni. I risultati sono organizzati secondo incrementi discreti del valore dell'accelerazione al suolo di 0,025 organizzati in mappe di pericolosità sismica.

"Lo studio realizzato dall' Università degli Studi di Genova- Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita (DISTAV 2018), ha comportato il calcolo dei valori della pericolosità sismica in corrispondenza ai punti della griglia di riferimento fissata a livello nazionale (INGV 2004), espressi come valori dell'accelerazione massima attesa al suolo (ag) per tempi di ritorno standard prefissati;" (Deliberazione della Giunta Regionale 15 febbraio 2019, n. 17-8404 s.d.) Considerando un tempo di ritorno di 475 anni, i risultati ottenuti sono rappresentati su mappe di pericolosità che rappresentano l'inviluppo dei valori di accelerazione al suolo su roccia per il dato tempo di ritorno con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

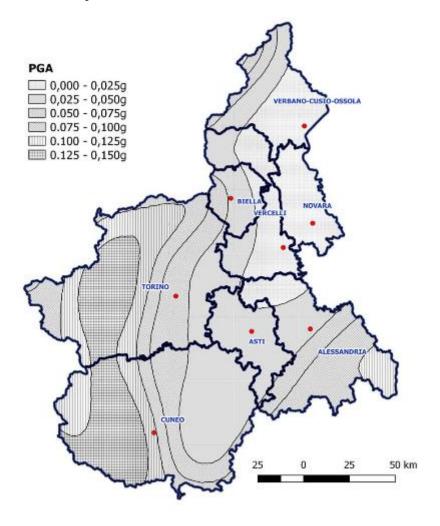


Figura 1-5 Mappa di pericolosità sismica DISTAV 2018

I risultati ottenuti rappresentano un quadro di pericolosità che non si discosta in modo sostanziale da quello vigente proposto dall'INGV, ma precisano e dettagliano la pericolosità locale

evidenziando situazioni leggermente più penalizzanti lungo il margine occidentale, (Canavese e Biellese) ed il confine meridionale corrispondente all'alta Bormida e condizioni un po' meno severe nel monregalese e nell'ossolano.

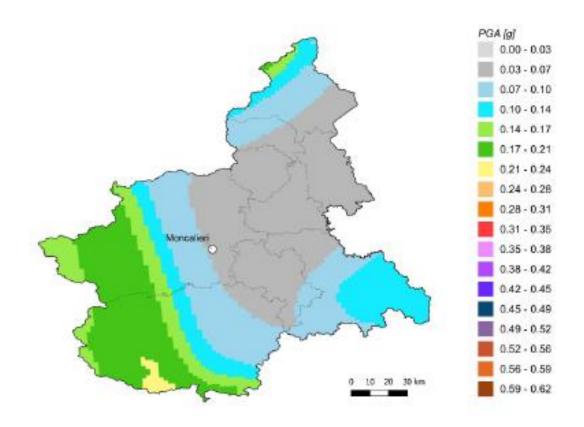


Figura 1-6 Mappa di pericolosità sismica INGV

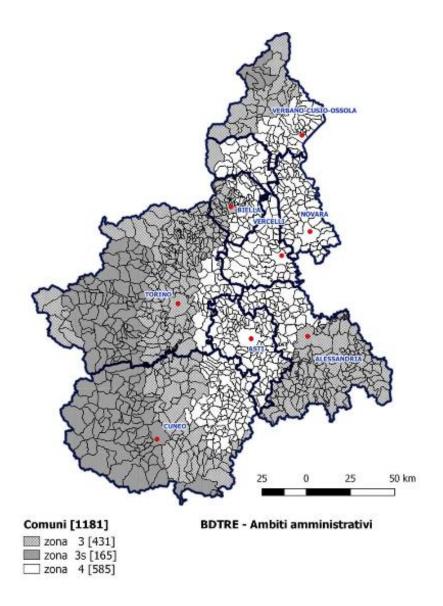


Figura 1-7 Proposta di classificazione sismica secondo PCM 3519/2016. DGR 19 gennaio 2010 n. 65-7656.

1.2.1 Valutazione della pericolosità e rischio sismico di Moncalieri

In considerazione a quanto scritto nel capitolo precedente e più precisamente, focalizzando l'attenzione sul comune di Moncalieri oggetto di studio, è possibile notare nel PCM 3519/2016. DGR 19 gennaio 2010 n. 65-7656 come esso risulti in zona sismica 3.

Il presente elenco è aggiornato alla situazione amministrativa esistente alla data del 6 febbraio 2019.

Provincia di Torino

	A=62	40	Cintana	07 Orio Commune	143 See Giveta Consuma
1. 2.	Agliè		Cintano Cirié	97. Orio Canavese 98. Osasio	142. San Giusto Canavese 143. San Martino Canavese
3.	Airasca Albiano d'Ivrea		Claviere	98. Osasio 99. Oulx	144. San Maurizio
4.			Collegno	100.Ozegna	Canavese
5.	Alpette Alpignano		Collegno Colleretto Castelnuovo	101.Palazzo Canavese	145 San Mauro Torinese
6.	Andrate		Colleretto Giacosa	102. Pancalieri	148 San Ponso
7.	Azeglio		Corio	103.Parella	147. Sangano
8.	Bairo		Cuceglio	104.Pavone Canavese	148. Santena
9.	Balangero		Cuorgné	105. Pecetto Torinese	149. Sauze d'Oulx
	Baldissero Canavese		Druento	108. Perosa Canavese	150. Sauze di Cesana
	Baldissero Torinese		Favria	107. Pertusio	151. Scalenghe
	Banchette		Feletto	108. Pianezza	152. Scarmagno
	Barbania		Fiano	109. Pino Torinese	153. Sestriere
	Bardonecchia		Fiorano Canavese	110.Piobesi Torinese	154. Settimo Torinese
	Barone Canavese		Foglizzo	111.Piossasco	155. Settimo Vittone
	Beinasco		Forno Canavese	112. Piscina	158. Sparone
	Bollengo		Frassinetto	113. Piverone	157. Strambinello
	Borgaro Torinese		Front	114.Pont-Canavese	158.Strambino
	Borgiallo		Givoletto	115. Prascorsano	159. Tavagnasco
	Borgofranco d'Ivrea		Grosso	116. Pratiglione	160. Torino
21	Bosconero		Grugliasco	117. Quagliuzzo	161. Torre Canavese
22	Brosso		Ingria	118.Quassolo	182.Trana
23.	Bruino		Issiglio	119.Quincinetto	163. Traversella
24.	Buriasco		lyrea	120.Reano	164. Trofarello
	Burolo	73.	La Cassa	121.Ribordone	165. Valchiusa
	Busano		La Loggia	122. Rivalta di Torino	166. Val di Chv
	Buttigliera Alta	75.	Lanzo Torinese	123.Rivara	167. Vallo Torinese
	Cafasse	76.	Leinì	124. Rivarolo Canavese	168. Valperga
29.	Cambiano	77.	Lessolo	125.Rivarossa	169. Valprato Soana
30.	Candia Canavese	78.	Levone	126.Rivoli	170.Varisella
31.	Candiolo	79.	Locana	127.Robassomero	171. Vauda Canavese
32.	Canischio	80.	Lombardore	128.Rocca Canavese	172.Venaria Reale
33.	Caravino	81.	Lombriasco	129.Romano Canavese	173.Vestignè
34.	Carema	82.	Loranzè	130.Ronco Canavese	174. Vialfrè
35.	Carignano	83.	Lusigliè	131.Rosta	175.Vidracco
36.	Carmagnola	84.	Mappano	132.Rueglio	176.Vigone
	Cascinette d'Ivrea		Mathi	133. Salassa	177. Villafranca Piemonte
	Caselette		Mercenasco	134. Salerano Canavese	178. Villanova Canavese
	Caselle Torinese		Moncalieri	135.Samone	179. Villarbasse
	Castagnole Piemonte		Montalenghe	136.San Benigno	180. Villastellone
	Castellamonte		Montalto Dora	Canavese	181.Vinovo
	Castelnuovo Nigra		Nichelino	137. San Carlo Canavese	182. Virle Piemonte
	Cercenasco	_	Noasca	138.San Colombano	183. Vistrorio
	Ceresole Reale		Nole	Belmonte	184. Volpiano
	Cesana Torinese		Nomaglio	139. San Francesco al	185.Volvera
	Chiaverano		None	Campo	
	Chiesanuova		Oglianico	140.San Gillio	
48.	Ciconio	96.	Orbassano	141.San Giorgio Canavese	

Figura 1-8 Elenco comuni nella provincia di Torino ricadenti in zona sismica 3 (Deliberazione della Giunta Regionale 15 febbraio 2019, n. 17-8404 s.d.)

1.3 Strumenti e criteri adottati per la valutazione della sicurezza sismica

Il fine ultimo di questa valutazione è considerare le esigenze di conservazione, la volontà di preservare danni sismici, i requisiti di sicurezza in relazione alla fruizione e alla funzione svolta del manufatto in modo tale da evitare le opere superflue a favore di un minor e più incisivo intervento.

Le valutazioni sulla sicurezza sismica implicano la determinazione dell'azione sismica allo SLV (Stato limite di salvaguardia della vita) e quella attesa nel sito considerando una prefissata probabilità di superamento su un periodo di riferimento in base alle caratteristiche del manufatto e del suo uso.

"Se l'azione sismica allo SLV risulta significativamente inferiore a quella attesa nel sito, assunto un periodo di riferimento compatibile con le caratteristiche e le condizioni d'uso del manufatto, ciò determina la necessità di eseguire una valutazione più accurata ed eventualmente intervenire entro un intervallo di tempo più breve del periodo di riferimento ". (Direttiva del Presidente del Consiglio 9 febbraio 2011 " Allineamento delle Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle nuove Norme tecniche per le costruzioni" .). Dunque, per programmare interventi di mitigazione del rischio è opportuno valutare la vita nominale dell'edificio intesa come "il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata" (Norme tecniche per le costruzioni 14/01/2008).

Principalmente la valutazione sismica viene effettuate attraverso modelli meccanici che forniscono valutazioni omogenee e comparabili a scala territoriale utili alla pianificazione di futuri interventi. Questi ultimi permettono di rilevare, studiare e verificare in tempi relativamente brevi la sicurezza dei beni nelle diverse aree analizzate, principalmente sismiche:

- LV1: Analisi a scala territoriale utile all'ottenimento di una graduatoria di priorità. Permette la valutazione dell'azione sismica allo SLV attraverso metodi semplificati: interrogazioni visive, rilievi critici e stratigrafici e letture di caratteri costruttivi
- LV2: Permette la valutazione di sicurezza sismica su zone limitate del manufatto costruttivo che non alterano in modo significativo il comportamento strutturale consolidato di quest'ultimo.
- LV3: Permette interventi di miglioramento diffusi nella costruzione che non dovrebbero modificare il funzionamento strutturale consolidato di quest'ultimo. Inoltre questo tipo di analisi permette un'accurata valutazione della sicurezza sismica del manufatto.

"Nel caso dei manufatti architettonici appartenenti al patrimonio culturale esistono oggettive difficoltà a definire procedure di verifica dei requisiti di sicurezza analoghe a quelle applicate per gli edifici ordinari, in quanto la loro varietà tipologica e singolarità costruttiva (anche dovuta alle trasformazioni subite nel corso della storia dell'edificio e allo stato di conservazione) non consentono di indicare una strategia univoca ed affidabile di modellazione ed analisi. In queste valutazioni spesso si riscontrano incertezze in merito sia al modello di comportamento, sia ai parametri che lo definiscono" (Direttiva del Presidente del Consiglio 9 febbraio 2011 " Allineamento delle Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle nuove Norme tecniche per le costruzioni" .)

Pertanto, a favore di sicurezza, è opportuno considerare un livello sismico superiore a quello delle strutture ordinarie.

Nonostante ciò, è comunque opportuno calcolare i livelli delle azioni sismiche per la tipologia di manufatto costruttivo, sia nella situazione precedente che successiva all'eventuale intervento.

La direttiva a proposito propone una procedura dal punto di vista operativo per la sicurezza sismica da applicare ai beni culturali, valutando un indice di sicurezza sismica nella situazione attuale e un indice di sicurezza sismica al quale il manufatto può essere portato nei limiti delle esigenze di tutela e di interventi compatibili.

In definitiva se l'indice di sicurezza è maggiore o uguale a 1, l'intervento di miglioramento, seguendo procedimenti quantitativi, è valutato soddisfacente anche sotto il profilo della sicurezza, mentre se l'indice risulta inferiore a 1 e quindi sarebbero necessari interventi troppo invasivi, il progettista può avvalersi di valutazioni qualitative che dovranno in seguito essere tradotte in termini quantitativi in apposita relazione di calcolo.

Questa procedura non è del tutto restrittiva, in quanto principalmente permette un'analisi sulla conservazione dell'edificio e sulla volontà di preservare quest'ultimo anche in base alla sua destinazione d'uso e fruizione. (Moro 2006).

Nell'intervento di miglioramento sismico per edifici storici sotto tutela è inoltre possibile, se necessario, ridurre il valore di vita nominale : " La vita nominale di un bene culturale dovrebbe essere molto lunga, volendone garantire la conservazione nel tempo anche nei riguardi di azioni sismiche caratterizzate da un elevato periodo di ritorno; tuttavia, ciò porterebbe ad una verifica sismica gravosa e nel caso in cui gli interventi richiesti dovessero risultare troppo invasivi nei riguardi dell'opera, coerentemente con la possibilità di limitarsi ad interventi di miglioramento, il progetto potrà fare riferimento ad una vita nominale più breve." (Direttiva del Presidente del Consiglio 9 febbraio 2011 " Allineamento delle Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle nuove Norme tecniche per le costruzioni".)

1.3.1 Sicurezza e conservazione di beni culturali

La problematica di conciliare sicurezza e conservazione è sempre stata molto delicata e non facile da affrontare.

Ogni intervento di riparazione e consolidamento inevitabilmente confligge con alcuni valori proprio della costruzione storica, quali la forma, la storia, le tecniche costruttive, con alcuni valori di tipo sociale, quali la sicurezza, l'economicità e con alcuni requisiti propri dell'intervento visto come un'attività irreversibile.

Bisogna perciò pervenire a una sorta di compromesso consapevolmente al fatto che si sono violati inevitabilmente dei valori.

Questo è il motivo per il quale questi interventi devono essere discussi da gruppi di progettazione multidisciplinari.

La grande varietà tipologica e strutturale degli edifici storici rende difficile la definizione e la standardizzazione dei metodi di verifica di intervento, in quanto molto spesso ogni edificio costituisce un caso a sé stante.

Ogni edificio o opera d'arte è considerato come unico e dunque non si può intervenire su di essa per analogia. L'integrazione deve essere sempre leggibile e riconoscibile, "invisibile da lontano ma riconoscibile da vicino" e inoltre ogni intervento di restauro non deve ostacolare interventi futuri. (Brandi 1963)

L'approccio alla valutazione della vulnerabilità sismica per una costruzione storica richiede un'accurata documentazione storica e un'estesa fase di indagini, infatti la storia di un organismo edilizio può chiarire quanto realmente è sperimentato e importante il decorso dello spazio nel tempo.

Sono assolutamente indispensabili i risultati relativi al percorso della conoscenza che permette di capire meglio quale potrebbe essere il comportamento dell'organismo edilizio, anche se è utile sempre tenere in conto il livello di incertezza relativo alle dimensioni geometriche, alla verticalità e uniformità delle murature, alla composizione trasversale delle stesse, alle connessioni tra gli elementi resistenti e alle caratteristiche meccaniche dei materiali costituenti. Queste analisi sono troppo invasive e permettono di aumentare il grado di incertezza relativo alla conoscenza della struttura.

Per esempio, la resistenza a compressione delle murature può essere differente in diverse parti dell'edificio ma anche in porzioni diverse dello stesso muro.

"Fra l'inserimento ipermodernista gestuale, autoreferenziale e volutamente contrapposto alla preesistenza, sia essa un singolo edificio, un sito o un contesto urbano, e la quieta acquiescenza, fino all'imitazione pedissequa delle forme del passato, esiste una terza via, che è quella propria dell'architettura di restauro. Una via di ascolto del genius loci e di conseguente, 'moderna' reinterpretazione: proprio come un intelligente e poetico atto di reintegrazione 'filologica' di un prezioso testo antico o di una mutila partitura musicale" (Carbonara 2018)

1.4 Il comportamento sismico delle costruzioni storiche in muratura

Una struttura in muratura ottiene il massimo della sua efficienza quando manifesta un comportamento scatolare, perché una caratteristica fondamentale di quest'ultima è di avere una resistenza nel piano nettamente maggiore di una resistenza fuori piano.

Requisito fondamentale è che i muri portanti, muri controvento e solai devono essere efficacemente collegati e ammorsati tra loro. Il buon ammorsamento tra i muri consente la

ridistribuzione dei carichi verticali fra i muri ortogonali, anche nel caos di solai ad orditura in unica direzione.

Ci sono tre livelli di criticità:

- Collasso immediato, dovuto alla scarsa consistenza e limitata resistenza delle murature;
- Meccanismi di danno I, che evidenziano il comportamento delle pareti in muratura fuori dal piano, con comportamento ribaltante
- Meccanismi di danno II, che evidenziano il comportamento delle pareti nel proprio piano con danneggiamenti tipicamente per taglio e flessione

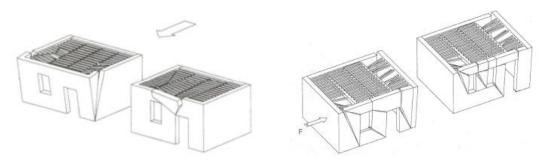


Figura 1-9 Meccanismi di danno di primo modo (fuori piano) e secondo modo (nel piano)

La risposta sismica di una struttura in muratura non dipende unicamente dal materiale impiegato, ma in particolare dai collegamenti tra gli elementi strutturali che implicano la presenza di pareti e orizzontamenti complessi (solai lignei, volte). La risposta globale è valutata in base al corretto dimensionamento delle pareti e alla capacità del sistema di trasferire azioni tra gli elementi (connessione tra le pareti verticale, connessione dei solai alle pareti).

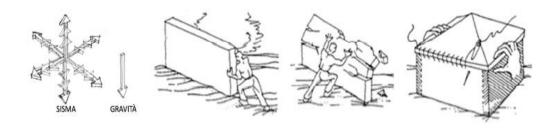


Figura 1-10 Azioni agenti in condizioni statiche e sismiche. Comportamento delle pareti a sollecitazioni nel piano e fuori piano, e concezione strutturale a "sistema scatolare" (figure di Touliatos, 1996)

Nonostante ciò, il comportamento di una struttura in muratura rimane estremamente vario e complesso, in quanto queste costruzioni non sono state progettate utilizzando principi ben noti della meccanica dei materiali e delle strutture, ma si basano su intuizioni e osservazioni dell'epoca via via sempre più evolute, basate sulla sperimentazione del comportamento di strutture già realizzate. Questo ha creato criteri esecutivi facenti parte delle regole dell'arte.

Un ulteriore elemento di valutazione è il collaudo della storia. Le attuali norme tecniche (NTC 2018 s.d.) (par. 8.5.4 NTC 2018, par. C8.5.4 della Circolare 21/01/2019 n.7, par. 4.1 DPCM 09/02/2011), hanno confermato l'obbligo, da parte del progettista, di raggiungere un adeguato livello di conoscenza, che riguardi anche la ricerca archivistica di progetti e disegni storici da cui dedurre le diverse fasi edificatorie e gli interventi strutturali precedentemente eseguiti.

Tuttavia, questo tipo di indagine non risulta sufficiente nei riguardi della prevenzione del rischio sismico, infatti non è detto che una costruzione sia stata colpita da un terremoto violento, in quanto è possibile considerare un eventuale accumulo del danno dovuto a terremoti di minore intensità o dissesti e trasformazioni di vario tipo.

Naturalmente i modelli e le tecniche costruttive sono notevolmente influenzati dall'area geografica e dalla pericolosità sismica del luogo in cui si trovano. Questo permette di mettere a punto presidi e soluzioni costruttive efficaci alla riduzione della vulnerabilità che sono parte integrante delle regole d'arte costruttive del luogo: contrafforti, ammorsamenti, catene...(etc.)

1.5 Valutazione della sicurezza sismica : modellazione e analisi

Secondo le *Linee Guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, per la valutazione della sicurezza sismica ed il progetto degli interventi di miglioramento dei beni culturali tutelati è opportuno:

- Scegliere l'azione sismica di rifermento per il sito che tiene conto delle categorie del terreno di fondazione e può variare opportunamente in base a studi su microzonazione sismica;
- Definire un livello di protezione sismica di riferimento sulla base della rilevanza e delle condizioni d'uso del manufatto;
- Conseguire un'accurata conoscenza della struttura che permette di identificare gli elementi strutturali e le eventuali prove sul manufatto, garantendo che queste ultime siano strettamente necessarie e non vadano ad intaccare le strutture. Sulla base del livello di conoscenza raggiunto sarà definito un opportuno fattore di confidenza, per graduare il livello di incertezza del modello;
- Adottare uno o più modelli meccanici della struttura o delle sue parti (macroelementi).

 A secondo delle valutazioni e dell'accuratezza degli studi da condurre si sceglie uno o più metodi di analisi che permettono di descrivere a meglio la risposta della struttura sotto l'azione dinamica. Il modello è basato sul comportamento della struttura e sugli stati di danneggiamento soprattutto derivati da fenomeni sismici;

- Definire un livello di sicurezza sismica di riferimento basato sulla classe d'uso del manufatto
- Valutare la vita nominale nello stato di fatto definita tenendo conto dei possibili effetti di risposta sismica locale, da valutare con specifiche indagini e con i criteri indicati dalle NTC
- Progettare l'intervento di miglioramento sismico che tiene conto della vulnerabilità dello stato di fatto, valutata in base ai meccanismi di danno potenziali o manifestati e alla vita nominale e del consolidamento del manufatto con interventi sempre compatibili alla sua corretta conservazione;
- Valutare la vita nominale nello stato di progetto attraverso un modello modificato rispetto a quello usato per la verifica nello stato di fatto;
- Adottare opportune regole di dettaglio nella realizzazione degli interventi tali da assicurare la compatibilità dei nuovi elementi con quelli originari, la massima duttilità agli elementi strutturali e alla costruzione nel suo insieme e la durabilità dei materiali.

1.5.1 Conoscenza del manufatto

L'esperienza comune di chi fa rilievi post sismici è che molti interventi in passato siano stati fatti senza conoscere l'edificio, per cui il la norma incentiva la conoscenza utilizzando un fattore di conoscenza laddove il committente o l'ente che si occupa di un edificio investe in indagini. Incentivando le indagini si riduce il livello di ignoranza ed è possibile quindi permettere interventi meno invasivi.

Gli aspetti più importanti riguardo la conoscenza del manufatto sono:

- L'identificazione della costruzione, la sua localizzazione e il suo rapporto con il contesto urbano circostante: Questa analisi comprende un rilievo schematico del manufatto che a grandi linee possa evidenziare e localizzare gli elementi più sensibili al danneggiamento o che potrebbero creare consistenti danni nel caso di perdita di questi. In questa fase viene analizzato anche il rapporto del manufatto con il contesto circostante. I risultanti derivanti da queste analisi vengono inseriti in appositi moduli schedografici;
- Il rilievo geometrico della costruzione attuale: Tutte le informazioni rilevate servono a definire un modello da utilizzare nell'analisi sismica. In particolare devono essere individuati i punti significativi per un modello di calcolo (imposte degli orizzontamenti e dei sistemi voltati, le masse degli elementi, i carichi gravanti...). Il rilievo non risulta sempre semplice per l'impossibilità di molti elementi di essere ispezionabili, questo problema viene ovviato con rilievi indiretti o strumenti che consentono rapidi rilievi.

- *Il rilievo di eventuali fenomeni fessurativi deformativi:* Non meno importante è il rilievo fessurativo che permette di identificare eventuali problematiche strutturali, associando a ogni lesione o insieme di lesioni, uno o più meccanismi di danno.
- L'individuazione dell'evoluzione della fabbrica dall'ipotetica configurazione originaria: Lo studio dell'evoluzione storica del manufatto permette di identificare:
 - Eventuali zone di discontinuità e disomogeneità materiale;
 - La risposta dell'edificio a particolari eventi naturali o antropici con relative conseguenze;
 - Un modello qualitativo di comportamento che tiene conto delle modifiche intercorse nella costruzione;
 - I meccanismi di danno maggiormente critici;
 - Modelli di calcolo attendibili;
 - La natura degli interventi di consolidamento già realizzati, la loro localizzazione gli elementi coinvolti, il periodo di realizzazione e la loro efficacia nel tempo;
 - Porzioni o elementi particolarmente vulnerabili;
 - Efficacia degli interventi eseguiti nel passato;
- L'individuazione degli elementi costituenti l'organismo resistente delle tecniche costruttive per realizzare questi ultimi, i dettagli costruttivi, i materiali: La qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costruttivi insieme a un rilievo materico costruttivo permettono di individuare completamente l'organismo resiste della fabbrica. Una speciale attenzione deve essere posta sulla qualità muraria, individuando le tecniche costruttive e le caratteristiche geometriche e materiche dei singoli componenti, oltre che la modalità di assemblaggio;
- La caratterizzazione meccanica dei materiali: Le misurazioni dirette e indirette permettono di avere una conoscenza di parametri meccanici di deformabilità e resistenza dei materiali che consentono di giungere a una buona conoscenza e a un giudizio sulla qualità dei materiali e dei loro relativi degradi. E' anche possibile che determinate proprietà meccaniche possano essere desunte attraverso l'analogia con murature simili;
- La conoscenza del sottosuolo e delle strutture di fondazione con eventuali variazioni nel corso del tempo: Potrebbero risultare necessarie, oltre a ricerche storiche approfondite, indagini non distruttive e distruttive che permettano di caratterizzare forma e materiali

costituenti le fondazioni. Queste indagini geotecniche mirano anche alla caratterizzazione geotecnica del terreno dove ricade la costruzione in esame;

Monitoraggio: Conseguente a un'accurata analisi del funzionamento strutturale è
opportuno impostare un programma di monitoraggio fondamentale per garantire alla
costruzione la vita nominale prevista;

"Le informazioni acquisite dovranno essere organizzate e restituite secondo quanto previsto dal programma di monitoraggio dello stato di conservazione dei beni architettonici tutelati (Allegato A), elaborato attraverso schede dal Ministero per i beni e le attività culturali e finalizzato all'acquisizione di una conoscenza sistematica del patrimonio culturale italiano." (Moro 2006) La manutenzione non è un intervento di gran interesse dal punto di vista sismico, ma questa può avere un ruolo molto rilevante perché quando si fa manutenzione è possibile incrementare il livello di conoscenza e in particolare documentare tutto quello che viene eseguito sulla costruzione.

Per esempio, se si facesse una manutenzione di una copertura verificando che quest'ultima è spingente, dal punto di vista sismico questa informazione è fondamentale.

Quindi documentare tutto, anche in sede di manutenzione, può risultare fondamentale.

Inoltre, l'individuazione dell'evoluzione della fabbrica è fondamentale per conoscere la storia e le tipologie costruttive del manufatto che permettono di svolgere mirate e opportune indagini sui materiali e sulle tecniche costruttive da ripristinare o adottare.

1.5.2 Livello di conoscenza e fattori di confidenza

Successiva alla fase di rilievo geometrico e costruttivo, il progettista assegna un fattore di confidenza Fc, compreso tra 1 e 1,35. Questo fattore permette di valutare l'indice di sicurezza sismica e l'attendibilità del modello di analisi strutturale.

Il fattore di confidenza si applica in maniera differente a seconda del modello per la valutazione della sicurezza sismica. Si può avere un modello che considera la deformabilità e la resistenza dei materiali e degli elementi strutturali e un modello che invece considera l'equilibrio limite dei diversi elementi della costruzione, pensando a un modello rigido di muratura (e non resistente a trazione).

Nel primo caso l'Fc viene applicato alle proprietà dei materiali, riducendo così moduli elastici e resistenze; nel secondo caso invece, non si tiene conto della resistenza del materiale, l'Fc viene applicato alla capacità della struttura, riducendo l'accelerazione relativa ai diversi stati limite.

Il fattore di confidenza viene così definito:

$$Fc = 1 + \sum_{k=1}^{4} F_{Ck}$$

Con F_{Ck} , fattore parziale di confidenza definito sulla base di coefficienti numerici riportati in tabella 1, i cui valori sono associati alle quattro categorie di indagine e al livello di approfondimento in esse raggiunto;

Rilievo geometrico	Rilievo materico e dei dettagli costruttivi	Proprietà meccaniche dei materiali	Terreno e fondazioni
rilievo geometrico completo	limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi	parametri meccanici desunti da dati già disponibili	limitate indagini sul terreno e le fondazioni, in assenza di dati geologici e disponibilità d'informazioni sulle fondazioni
$F_{C1} = 0.05$	$F_{C2} = 0.12$	F _{C3} = 0.12	$F_{C4} = 0.06$
rilievo geometrico completo, con restituzione grafica dei quadri fessurativi e deformativi	esteso rilievo materico e degli elementi costruttivi	limitate indagini sui parametri meccanici dei materiali	disponibilità di dati geologici e sulle strutture fondazionali; limitate indagini sul terreno e le fondazioni
$F_{C1} = 0$	$F_{C2} = 0.06$	$F_{C3} = 0.06$	$F_{C4} = 0.03$
	esaustivo rilievo materico e degli elementi costruttivi	estese indagini sui parametri meccanici dei materiali	estese o esaustive indagini sul terreno e le fondazioni
	$F_{C2} = 0$	$F_{C3} = 0$	$F_{C4} = 0$

Figura 1-11 Definizione dei livelli di approfondimento delle indagini sui diversi aspetti della conoscenza e relativi fattori parziali di confidenza (Moro 2006)

"Il rilievo geometrico dovrà, in ogni caso, essere sviluppato ad un livello di dettaglio coerente con le esigenze del modello geometrico adottato nelle valutazioni analitiche e/o delle necessarie considerazioni di tipo qualitativo.

Il rilievo materico (tipologia e tessitura delle murature, tipologia ed orditura dei solai, struttura e riempimento delle volte, etc.) e dei dettagli costruttivi (ammorsamenti murari, eventuali indebolimenti, entità e tipologia di appoggio degli orizzontamenti, dispositivi di contenimento delle spinte, degrado dei materiali etc.) dovrà tendere, compatibilmente con le esigenze di tutela del bene, ad accertare le diverse tipologie costruttive presenti, la loro localizzazione e ripetitività, con particolare attenzione a tutti gli aspetti che possono influenzare l'innesco di meccanismi di collasso locale"

"Nel caso di presenza di diversi materiali strutturali il livello di approfondimento ed il conseguente fattore di confidenza FC3 potranno essere riferiti al materiale o ai materiali maggiormente influenti sulla determinazione dell'indice di sicurezza. Nel caso in cui l'analisi sismica sia basata sulla valutazione distinta di diversi meccanismi locali potranno essere utilizzati livelli di conoscenza e fattori parziali di confidenza relativi a ciascuna porzione modellata.

Nel caso di valutazioni a carattere locale quando le informazioni sul terreno e le fondazioni non hanno alcuna relazione sullo specifico meccanismo di collasso, il fattore di confidenza parziale FC4 può essere assunto pari a 0. Negli altri casi, per quanto concerne la conoscenza del terreno e delle fondazioni, si distinguono gli aspetti legati alla definizione della categoria di suolo,

coinvolta nella definizione dell'input sismico, da quelli concernenti la trasmissione delle azioni dalla struttura al suolo (geometria delle fondazioni e parametri geotecnici del terreno fondazionale)" (Direttiva del Presidente del Consiglio 9 febbraio 2011 " Allineamento delle Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle nuove Norme tecniche per le costruzioni".)

2 Modelli di valutazione: chiese, e strutture con grandi aule, senza orizzontamenti intermedi

Questa categoria di edifici solitamente include strutture complesse che comportano un'analisi sismica più accurata e impegnativa che coinvolge una grande quantità di incertezze nella caratterizzazione della geometria e morfologia della struttura. In questo studio di tesi, l'attenzione si concentra su strutture di culto in muratura che prevendono anche un'incertezza anche al livello di materiali e tipologie costruttive.

La qualità dell'edificio storico è legata non solo ai materiali di cui è composto ma anche dalle caratteristiche costruttive, come la dimensione dei blocchi, legante, interblocchi, e connessioni trasversali. Molte di queste informazioni che però sarebbero essenziali per un'analisi sismica affidabile, di solito sono molto difficili da acquisire. L'ispezione e gli esperimenti necessari sono spesso fortemente limitati da loro costo elevato e dalle restrizioni poste dal valore culturale degli edifici.

La valutazione della vulnerabilità sismica di questa categoria di strutture richiede ancora metodologie adeguate che tengono conto della variabilità strutturale e materica che naturalmente influenzano la risposta sismica della struttura. (Saloustros, et al. 2019)

I limiti di questa valutazione sono dovuti all'incertezza delle proprietà dei materiali e all'incertezza di avere un'ipotesi di modello che rispecchi quanto più la realtà (Tondelli, et al. 2012), (Atamturktur, Hemez e Laman 2012).

Le recenti linee guida hanno presentato una metodologia organica per la valutazione probabilistica della vulnerabilità delle chiese in muratura.

L'analisi dei danni subiti dalle chiese dopo gli eventi sismici italiani, partendo da quello del Friuli 1976, ha evidenziato come il comportamento sismico di questa tipologia di edifici possa essere descritto attraverso la scomposizione del manufatto in tanti elementi dal comportamento strutturale indipendente tra loro. Escluse da quest'ultima considerazione ci sono le chiese a pianta centrale, dotate di uno schema strutturale e geometrico abbastanza regolare e omogeneo che permette di considerarla come un unico modello complessivo.

Per quanto riguarda la suddivisione dell'edificio in macroelementi questi diventano l'unità di riferimento per la verifica strutturale. Su ogni singolo macroelemento è possibile condurre un'analisi statica lineare o non lineare e il grado di incertezza nella valutazione è minore, in quanto sono ben note le modalità di danneggiamento delle chiese, derivanti dal rilievo sistematico dei danni.

La valutazione della sicurezza sismica delle chiese può essere finalizzata a un progetto di miglioramento pre-sisma o a interventi di miglioramento e riparazioni post sisma. Nel primo caso è opportuno fare un'attenta lettura dei danni che la chiesa ha avuto nel corso della storia, andando a valutare i possibili meccanismi attivabili e più vulnerabili su cui eventualmente intervenire preventivamente. Nel secondo caso, l'individuazione dei macroelementi e dei rispettivi meccanismi di collasso associati deve essere correlata al funzionamento accertato attraverso la lettura del danno sismico.

Nel caso di interventi invasivi, che vadano a modificare la risposta globale della chiesa, si dovrà fare una valutazione delle accelerazioni al suole pre e post intervento per ogni macroelemento, a seconda dei diversi stati limite. Mentre, se l'intervento riguarda una sola porzione del manufatto è possibile procedere attraverso un modello LV1 e successivo LV2, in quanto risulta dispendiosa e inutile una verifica globale dell'edificio. L'analisi viene fatta esclusivamente sul macroelemento attivato. (Moro 2006)

2.1 I macroelementi

Il terremoto del Friuli del 1976 costituì un'importante pietra miliare per l'interpretazione della risposta sismica delle chiese, grazie anche alla post-elaborazione dei dati realizzata nel decennio successivo. Le analisi di tali dati, confermate dalle prove eseguite per i terremoti successivi di Parma del 1983 e Reggio Emilia del 1987, hanno dimostrato che la risposta sismica delle chiese può essere descritta secondo comportamenti ricorrenti, riconducibili alla modalità di danno e meccanismi di collasso delle diverse parti, denominati "macroelementi", che dimostrano un comportamento strutturale quasi del tutto autonomo.

Pertanto, in seguito a questi eventi sismici è stato delineato il cosiddetto approccio dei macroelementi proposto da Doglioni (Doglioni, Moretti e Petrini 1994).

Questo approccio è stato successivamente appurato e accertato da numerosi altri terremoti.

Tuttavia, dai dati raccolti secondo la metodologia proposta in Doglioni et al., non è stato possibile ricavare indicatori di danno sintetici per le chiese, però per ovviare a questo problema, dopo il terremoto di bassa intensità di Lunigiana del 1995, è stata sviluppata una procedura semplificata che ha portato alla prima versione del modulo di rilevamento danni italiano, basato su 16 meccanismi di collasso. (Lagomarsino, Cattari, et al. 2018)

Successivamente, è stata messa in atto una seconda versione della metodologia, utilizzata all'interno del Dipartimento della Protezione Civile dopo il terremoto in Umbria e Marche del 1997 e il terremoto del Pollino del 1998. Sono state esaminate più di 3000 chiese in Umbria e Marche (Lagomarsino e Podestà, Damage and vulnerability assessment of churches after the 2002 Molise, Italy, earthquake 2004), che hanno portato ad aumentare il numero di meccanismi

di collasso da 16 a 18, approvati con il decreto interministeriale del 3 maggio 2001 (Gazzetta ufficiale della Reubblica italiana, G.U.n.116,2001 s.d.).

In occasione dell'evento sismico nella provincia di Campobasso del 2002, è stato formulato un ulteriore e definitivo modello di scheda che vede i meccanismi di collasso aumentare da 18 a 28, consentendo una valutazione della vulnerabilità e del danno più precisa e reale. Questa metodologia ufficialmente approvata nel 2006 è stata adottata per tutti gli ultimi grandi terremoti in Italia, quali: L'Aquile 2009 (Da Porto, et al. 2012), Emilia 2012 (Sorrentino, et al. 2014), Centro Italia (Penna, et al. 2019).

Di seguito sono descritti i 28 meccanismi in termine di attivazione e di quadro fessurativo atteso: (Papa e Di Pasquale s.d.)

M1. Ribaltamento della facciata. Formazione di cerniera cilindrica ad asse orizzontale:

Il meccanismo prevede una rotazione della facciata fuori dal piano e si attiva attraverso lesioni verticali e cerniere cilindriche ad asse orizzontale, soprattutto nelle vicinanze di aperture



Figura 2-1 Chiesa di San Giacomo Osoppo (Papa e Di Pasquale s.d.)

M1. Ribaltamento della facciata. Scollegamento della facciata dalla copertura e dalle pareti laterali:

Lo scollegamento della facciata dalla copertura e dalle pareti laterali attiva il meccanismo attraverso la creazione di fenomeni di rottura delle murature laterali e lesioni verticali.



Figura 2-2 Chiesa di Santa Maria ad Cryptas, Fossa (AQ) (Papa e Di Pasquale s.d.)

M2. Meccanismi nella sommità della facciata. Ribaltamento del timpano: cerniera orizzontale:

La parte di facciata interessata è quella compresa tra la sommità e il rosone o eventuale apertura nella parte alta.Il meccanismo prevede una rotazione della facciata fuori dal piano che porta alla formazione di una lesione prevalentemente orizzontale.



Figura 2-3 Chiesa di San Raniero Bagno (ADB 2009)

M2. Meccanismi nella sommità della facciata. Ribaltamento del timpano: cerniere inclinate:

Il meccanismo prevede una rotazione della facciata fuori dal piano che porta alla formazione die di cerniere cilindriche ad assi obliqui. Le fessure che ne derivano sono lesioni verticali che partono dal timpano fino al rosone contemporanee alla formazione di cerniere inclinate.



Figura 2-4 Chiesa di S. Eusanio, S. Eusanio Forconese (AQ) (Fonzi 2014)

M3. Meccanismo nel piano della facciata:

La rottura avviene nel piano e avviene per trazione della muratura che implica lesioni sub-verticali nella parte centrale, cioè in prossimità della zona di maggior debolezza. e lesioni diagonali, provocate da azioni fuori dal piano, nei pannelli portale. laterali del meccanismo si sviluppa maggiormente nelle facciate alte con un grande rosone o con architrave debole sopra al portale 0 con aperture tamponate tra il rosone e portale.



Figura 2-5 Chiesa dell'Immacolata, Paganica (AQ) (Petris 2017)

M4. Protiro e Nartace:

Il meccanismo avviene nel piano per lo spostamento del protiro o del nartace provocando lesioni negli archi o nella trabeazione per rotazione delle colonne, il distacco del macroelemento dalla facciata o il martellamento del protiro con la facciata.



Figura 2-6 , Chiesa della Madonna del Lago, Santo Stefano di Sessanio (AQ) (Papa e Di Pasquale s.d.)

M5. Risposta trasversale dell'aula:

Il meccanismo prevede una risposta fuori dal piano di una o di entrambe le pareti laterali dell'aula, provocando deformazioni o abbassamenti di archi o volte e la formazione di cerniere plastiche. Inoltre, potrebbero verificarsi fenomeni perdita di appoggio delle capriate di copertura o di punzonamento localizzato. Gli arconi potrebbero subire lesioni che arriverebbero fin nelle volte e le colonne potrebbero subire schiacciamenti.



Figura 2-7 Santa Maria Assunta, Paganica (AQ) (Giustizia 2010)

M6. Meccanismo di taglio delle pareti laterali:

Il meccanismo comporta deformazioni per taglio provocate dall'azione nel piano delle pareti laterali. Questo comporta lesioni inclinate singole e incrociate.



Figura 2-8 Chiesa di San Francesco, Favete (MC) (Riproduzione riservata 2016)

M7. Risposta longitudinale del colonnato:

Il meccanismo si innesca per azioni nel piano del colonnato che provocano deformazioni per rottura per taglio. Questo provoca lesioni negli archi o architravi longitudinali, lesioni nelle volte delle navate laterlai e schiacciamento alla base delle colonne.



Figura 2-9 Chiesa di Santa Giusta, Bezzano (AQ) (Enzo F.Testa)

M8. Volte dell'aula o della navata centrale:

Il meccanismo si attiva in prossimità delle volte dell'aula a causa di deformazioni per rottura per taglio, provocando lesioni nelle volte nelle parti più rigide (facciata e arco) e sconnessioni degli archi.



Figura 2-10 Chiesa di San Marco, L'Aquila (Modena, et al. 2010)

M9. Volte delle navate laterali:

Il meccanismo si attiva in prossimità delle volte delle navate laterali a causa di deformazioni per rottura per taglio, provocando lesioni nelle volte laterali e sconnessioni degli archi o delle pareti laterali.



Figura 2-11 Chiesa di S. Pietro in Vincoli, Castellino del Biferno (CB) (Papa e Di Pasquale s.d.)

M10. Ribaltamento pareti del transetto:

Il meccanismo si innesca per il distacco della parete dalla copertura e dalle pareti laterali dell'aula, attraverso una rotazione fuori dal piano delle pareti del transetto. Lo scenario fessurativo che si presenta prevede un distacco delle pareti frontali da quelle laterali e il ribaltamento del timpano dovuto a un cattivo ammorsamento tra le pareti.



Figura 2-12 Cattedrale di San Massimo, L'Aquila (Arcidiocesi di L'Aquila 2010)

M11. Meccanismi di taglio del transetto:

Il meccanismo si attiva per azioni nel piano del transetto che provocano deformazioni per taglio raffigurabili in lesioni inclinate che attraversano l'intera parete.



Figura 2-13 Chiesa di Santa Giusta, Bazzano (AQ) (Studio Masiello strutture 2010)

M12. Volte del transetto:

Il meccanismo si innesca nelle volte del transetto provocando deformazioni per rottura per taglio attraverso lesioni di queste ultime e sconnessioni dagli archi.



Figura 2-14 Chiesa del Gesù a Mirandola, Modena (Comando dei Vigili del Fuoco Modena)

M13. Archi trionfali:

Il meccanismo si innesca in presenza di un arco trionfale sottoposto a deformazioni per rottura a taglio nel piano, in quanto le rotture fuori piano sono limitate dalla presenza di corpi addossati al macroelemento. Ne consegue che l'arco potrebbe lesionarsi, i conci potrebbero scorrere e potrebbero crearsi schiacciamenti alla base dei piedritti.



Figura 2-15 Chiesa di Santa Maria della Consolazione, Ferrara (Comune di Ferrara 2019)

M14.Cupola, tamburo/tiburio:

Il meccanismo si attiva in presenza di deformazioni per taglio del macroelemento in questione, provocando lesioni con andamento ad arco che potrebbero proseguire nel tamburo o tiburio.



Figura 2-16 Chiesa di San Bernardino, L'Aquila (MIBACT, Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo s.d.)

M15. Lanterna:

Il meccanismo si innesca a seguito di una rottura per taglio del cupolino provocando così lesioni in quest'ultimo o di una rottura per torsione dei piedritti provocando rotazioni o scorrimenti di questi.



Figura 2-17 Chiesa di Santa Barbara, Mantova (Gazzetta di Mantova 2012)

M17. Meccanismi di taglio nell'abside:

Il meccanismo si attiva per azioni nel piano dell'abside che provocano deformazioni per taglio. Questo comporta lesioni inclinate, singole e incrociate in prossimità di discontinuità della muratura.



Figura 2-18 Chiesa del Santuario dell'Ambro, Montefortino (FM)
(Redazione Piceno oggi 2018)

<u>M18. Volte del presbiterio o</u> <u>dell'abside</u>

Il meccanismo si attiva in prossimità delle volte del presbiterio o dell'abside a causa di deformazioni per rottura per taglio, provocando lesioni nelle volte, sconnessioni dagli arconi o dalle pareti laterali.



Figura 2-19 Basilica Collegiata Maria SS.dell'Elemosina, Biancavilla (CT) (Caruso 2020)

M19. Meccanismi negli elementi di copertura – Pareti laterali dell'aula

Il meccanismo si attiva per la rotazione fuori dal piano delle pareti laterali dell'aula provocando lesioni vicino alle teste delle travi lignee, con conseguente scorrimento delle stesse e sconnessioni tra cordoli e muratura.



Figura 2-20 Ex chiesa di S. Maria in Gradi, Viterbo (De Simone s.d.)

<u>M20. Meccanismi negli</u> <u>elementi di copertura –</u> Transetto

Il meccanismo si attiva per la rotazione fuori dal piano delle pareti del transetto provocando lesioni vicino alle teste delle travi lignee, con conseguente scorrimento delle stesse e sconnessioni tra cordoli e muratura.



Figura 2-21 Basilica di Collemaggio, L'Aquila (Montanari 2014)

M21. Meccanismi negli elementi di copertura – Abside

Il meccanismo si attiva per la rotazione fuori dal piano delle pareti dell'abside provocando lesioni vicino alle teste delle travi lignee, con conseguente scorrimento delle stesse e sconnessioni tra cordoli e muratura.



Figura 2-22 Chiesa di San Domenico,Ferrara (Redazione Estense 2018)

M22. Ribaltamento delle Cappelle

Il meccanismo si innesca per il distacco della parete frontale dalle parteti laterali, attraverso una rotazione fuori dal piano delle pareti delle cappelle.



Figura 2-23 Chiesa di San Gregorio, Caldarola (MC) (Redazione Radio C1 inBlu & l'appennino camerte 2016)

M23. Meccanismi di taglio nelle pareti delle cappelle

Il meccanismo si attiva per azioni nel piano dell'abside che provocano deformazioni per taglio. Questo comporta lesioni inclinate, singole e incrociate in prossimità di discontinuità della muratura.



Figura 2-24 Chiesa di S.Giusta, L'Aquila (Papa e Di Pasquale s.d.)

M24. Volte delle cappelle

Il meccanismo si attiva in prossimità delle volte delle cappelle a causa di deformazioni per rottura per taglio e sconnessioni dalle pareti laterali.



Figura 2-25 Chiesa di S.Giusta, L'Aquila (Arcidiocesi dell'Aquila s.d.)

M25. Interazioni in prossimità di irregolarità plano-altimetriche

Il meccanismo si attiva conseguentemente a deformazioni provocate dall'interazione tra muratura e corpi adiacenti. Questo provoca movimenti in corrispondenza delle discontinuità e lesioni nelle murature per martellamento.



Figura 2-26 Chiesa della SS.Annunziata ,Mandriolo – Correggio (RE) (Papa e Di Pasquale s.d.)

M26. Aggetti (vela, guglie, pinnacoli, statue)

Il meccanismo si attiva per il movimento fuori dal piano degli aggetti o parti di essi.



Figura 2-27 Chiesa di Santa Venerina, Catania (Redazione Newsicilia 2019)

M27. Torre campanaria

Il meccanismo si attiva per rotazione verso l'esterno della torre nel piano o per le deformazioni nel piano delle pareti perimetrali della torre che provocano lesioni.



Figura 2-28 Chiesa di San Pellegrino, Norcia (PG)
(Il messaggero s.d.)

M28. Cella campanaria

Il meccanismo si attiva per deformazione nel piano degli archi o delle estremità dei piedritti. Questo comporta lesioni negli archi e rotazioni o scorrimenti dei piedritti.



Figura 2-29 Torre dell'orologio di Novi, Modena (MIBACT, Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo s.d.)

2.1.1 Scheda "chiese"

Le valutazioni e le ricerche effettuate per il terremoto del Friuli hanno evidenziato l'importanza di informazioni relative alle costruzioni delle fabbriche e la necessità di avere dati geometrici più o meno attendibili al fine di comprendere o ridurre meccanismi ancora in atto o prevedibili. Per l'analisi delle chiese colpite dal sisma è stata applicata a ognuna una scheda.

"La scheda "chiese" è nata quindi con l'intento di raccogliere nella forma più completa possibile l'insieme dei dati geometrici strutturali e di dissesto che potevano ritenersi utili ai fini successive valutazioni di vulnerabilità e danno per le chiese ed è stata utilizzata con l'intento di organizzare una banca dati omogenea a partire dal materiale disponibile presso i diversi archivi consultati anche in vista di una eventuale dispersione nel tempo delle fonti documentarie." (Doglioni, Moretti e Petrini 1994)

L'introduzione del concetto di macroelemento è stata rilevante in quanto, la seconda parte della scheda, è stata impostata principalmente sull'analisi di questi ultimi.

La compilazione della scheda permette, attraverso un'attenta lettura della chiesa, di prevedere una prima casistica di danni attesi sulla fabbrica che hanno permesso di definire i meccanismi di dissesto tipici di un dato macroelemento correlabili alla vulnerabilità del fabbricato (Fig.2-30)

Questo metodo di rilievo del danno può essere fatto preventivamente al sisma e post sisma. Nel primo caso per una diagnosi preventiva che permettono interventi di miglioramento per la conservazione del bene, nel secondo caso invece, risulta la scheda uno strumento agile e sintetico, provvisionale per la tutela dell'incolumità pubblica e del bene. (Podestà s.d.)

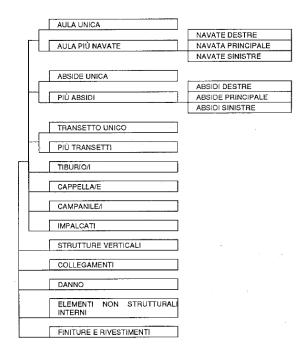


Figura 2-30 Scheda di articolazione delle schede specifiche relative agli elementi costruttivi della chiesa (Doglioni, Moretti e Petrini 1994)

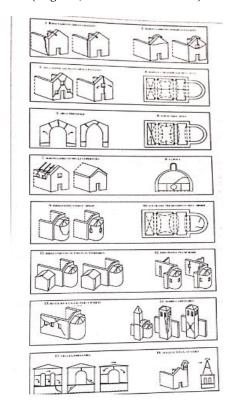


Figura 2-31 Abaco dei meccanismi di collasso delle chiese. Allegato alla" scheda chiese" - Emergenza postterremoto, GNDT (Brovelli 1998)

2.2 La vulnerabilità delle chiese

La vulnerabilità di un edificio monumentale è la sua intrinseca predisposizione ad essere colpito o subire danni a seguito del verificarsi di un evento di una determinata gravità. Essa dipende da diversi fattori che caratterizzano questa in maniera differente, non permettendo così di poter per ogni chiesa agire per analogie. Questi fattori prevedono uno studio attento e preliminare del manufatto e richiedono una fase di documentazione storica e attuale dell'uso dell'edificio. Tra i fattori più vincolanti ritroviamo:

- Caratterizzazione interna: uno o più navate, presenza/assenza transetto, presenza/assenza abside, irregolarità plano-altimetriche, altro;
- Localizzazione geografica: valutazione effettuata in base alla distanza del manufatto dall'epicentro del terremoto e in base al rischio sismico della zona in cui si trova l'edificio;
- Caratterizzazione storica: valutazione che permette di comprendere meglio determinate tecniche costruttive e materiali riconducibili alla datazione del manufatto. Alcune tra queste sono:
 - Medievale: tipologia costruttiva comune fino al 14esimo secolo;
 - Rinascimentale: tipologia costruttiva comune tra il 15esimo e 16esimo secolo;
 - Barocco: tipologia costruttiva comune tra il 17esimo e 18esimo secolo;
 - Neoclassico: tipologia costruttiva comune dopo il 19esimo secolo;
 - Altro
- Anno di costruzione: valutazione che permette di valutare determinate tecniche costruttive e materiali riconducibili all'epoca di costruzione;
- Fruizione: importante per la valutazione pre e post sisma. Importante la fase post
 terremoto in quanto molti tra gli edifici di culto vengono utilizzati come luogo di riparo
 e di emergenza. Inoltre, la continuità dell'attività di culto in fase emergenziale è molto
 importante per la comunità;
- Presidi antisismici: la presenza o l'assenza di tali presidi condiziona molto l'indice di vulnerabilità e danno della struttura. L'analisi riguarda anche la presenza e assenza di elementi che non sono propriamente definibili come dispositivi antisismici ma che rappresentano una buona pratica costruttiva, utile a ridurre o evitare l'attivazione dei meccanismi di collasso. In particolare, si fa attenzione ai collegamenti tra pareti e tetti,

alle corrette proporzioni geometriche, alla presenza di elementi strutturali e alle irregolarità in piano e altezza. (De Matteis, Brando e Corlito 2019)

Tra i principali dispositivi antisismici ci sono:

- a) Catene longitudinali;
- b) Catene trasversali;
- c) Cerchiature
- d) Pilastri
- e) Contrfforti
- f) Contrafforti al volo
- g) Connessioni angolari tra muro e facciataConnessioni angolari tra muro e transetto
- h) Travi ad anello

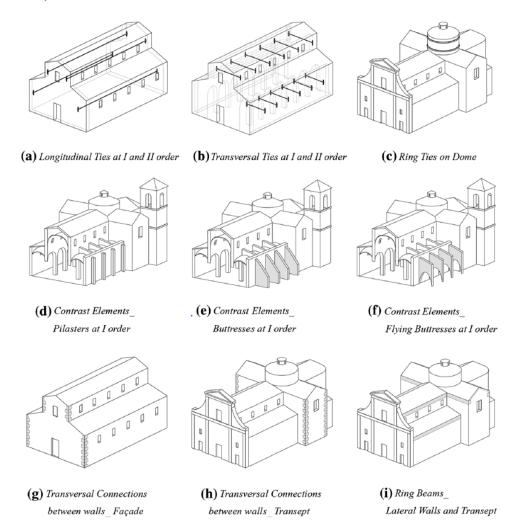


Figura 2-32 Rappresentazione schematica di presidi antisismici (De Matteis, Brando e Corlito 2019)

2.3 Rilievo del danno

Considerando la tipica complessità strutturale delle chiese, con l'obiettivo di definire la sicurezza strutturale di queste a seguito di un'ispezione speditiva, è opportuno calcolare un indice di danno.

A tal fine è necessario definire un fattore di importanza ρ_k (0÷1) per ciascuno meccanismo, basato sull'influenza che potrebbe avere la stabilità strutturale globale della chiesa.

A questo riguardo, i valori di ρ_k sono stati assegnati per ciascun meccanismo secondo (Lagomarsino e Podestà 2004), (De Matteis, Criber e Brando 2016), (Fig. 2-33).

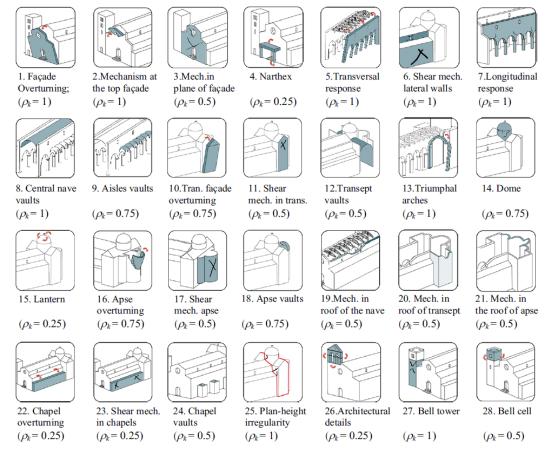


Figura 2-33 Fattore di importanza per ogni meccanismo (De Matteis, Brando e Corlito 2019)

Successivamente viene definito un indice globale di danno proposto dalle linee guida:

$$i_d = \frac{1}{5} \frac{\sum_{k=1}^{28} \rho_{k,1} \cdot d_{k,i}}{\sum_{k=1}^{28} \rho_{k,1}}$$

Questo è un parametro molto utile in fase di emergenza, in quanto fornisce un elenco prioritario dell'entità dei danni, utilizzato anche per organizzare e intervenire durate la fase post-

emergenziale e indica anche le stime per le riparazioni. L'indice compreso tra 0 e 1 vale 1 se il livello di danno è risultato grave in tutti i meccanismi.

Al fine di effettuare un'analisi della vulnerabilità delle chiese coerente con l'analisi della vulnerabilità degli edifici ordinari, è necessario trasformare il punteggio di danno in una variabile discreta attraverso una correlazione con i sei livelli di danno della scala EMS-98 (Grunthal e Schwarz 1998).

Level	Damage Score	Description
0	$i_{\rm d} \le 0.05$	no damage: light damage only in one or two mechanism
1	$0.05 < i_{d} \le 0.25$	negligible to slight damage: light damage in some mechanisms
2	$0.25 < i_{\rm d} \le 0.4$	moderate damage: light damage in many mechanisms, with one or two mechanisms activated at medium level
3	$0.4 < i_{d} \le 0.6$	substantial to heavy damage: many mechanisms have been activated at medium level, with severe damage in some mechanisms
4	$0.6 < i_{d} \le 0.8$	very heavy damage: severe damage in many mechanisms, with the collapse of some macroelements of the church
5	$i_{\rm d} > 0.8$	destruction: at least 2/3 of the mechanisms exhibit severe damage

Figura 2-34 Definizione del livello di danno per le chiese in base a un punteggio di danno (Lagomarsino e Podestà 2004)

Tuttavia, si possono notare alcune discrepanze per i danni D1, D2, D3. Le discrepanze in relazione al livello di danno D1 potrebbero essere dovute al fatto che, in caso di danni lievi, è abbastanza difficile distinguere le crepe preesistenti da quelle provocate dal sisma. Ciò significa che in alcuni casi il danno D1 potrebbe essere sopravalutato a spese della valutazione del danno D0. Contrariamente, le discrepanze osservate per il danno D2 e D3, tuttavia accettabili, sono principalmente dovute alle difficoltà di prevedere con precisione lo scenario di danno che coinvolge un'area territoriale ampia.

Infine, è possibile calcolare un indice di danno medio delle chiese analizzate secondo l'equazione:

$$\mu_{D,0} = \frac{\sum_{i=1}^{n} D_{k,i}}{n}$$

2.4 Rilievo della vulnerabilità

Nel corso del tempo molti sono stati gli studi per il calcolo della vulnerabilità di edifici monumentali e non. Quello da noi utilizzato e descritto, al fine di applicare un modello predittivo, segue la procedura fornita dalle *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*.

Per ogni chiesa viene compilato un modulo MaChro, modello automatico sviluppato da De Matteis et al. (G. De Matteis, G. Brando, et al. 2017). In particolare, la scheda MaChro fornisce l'indice di vulnerabilità secondo le Linee guida italiane applicando l'equazione sottostante e considerando per ogni meccanismo di danno l'efficienza del dispositivo antisismico v_p e la presenza di indicatori di fragilità v_i .

L'indice di vulnerabilità i_v è influenzato anche dal fattore ρ_k , precedentemente definito. Esso vale 0 per i meccanismi che non si attivano nella chiesa, per la mancanza del macroelemento, mentre è compreso tra 0.25 e 1 negli altri casi.

$$i_{v} = \frac{1}{6} \cdot \frac{\sum_{k=1}^{28} \rho_{k,i} \left(v_{k,i} - v_{k,p} \right)}{\sum_{k=1}^{28} \rho_{k,i}} + \frac{1}{2}$$

L'indice è un numero compreso tra 0 e 1 rappresentativo della propensione della chiesa ad essere danneggiata dal sisma, vale 1 se la chiesa è molto vulnerabile. (Casapulla).

Numero degli indicatori di vulnerabilità o dei presidi antisismici	Giudizio dell'efficacia	$V_{\mathbf{k}}$
almeno 1	3	2
almeno 2	2	,
1	2	2
almeno 2	1	2
1	1	1
Nessuno	0	0

Figura 2-35 Valutazione del punteggio di vulnerabilità per ogni meccanismo di danno (Direttiva del Presidente del Consiglio 9 febbraio 2011 " Allineamento delle Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle nuove Norme tecniche per le costruzioni".)

2.5 Curve di vulnerabilità delle chiese

Nel caso di uno scenario macrosismico, una curva di vulnerabilità correla l'intensità a un istogramma del livello di danno D_k (k=0,1,2,3,4,5), espresso dall'indice di danno medio μ_d e da una distribuzione probabilistica discreta. L'approccio macrosismico si basa sulla vulnerabilità osservata, in quanto queste curve sono state ottenute per classi di edifici, valutando i danni causati a questi dopo eventi sismici di diverse intensità.

Le curve di vulnerabilità sono definite da due parametri: l'indice di vulnerabilità V e l'indice di duttilità Q, che dovrebbe essere valutato dalle informazioni sull'edificio.

Nel caso di uno scenario che consideri la PGA, il modello di vulnerabilità coincide con lo spettro di capacità. La curva di capacità rappresenta il comportamento non lineare dell'edificio sottoposto alle azioni orizzontali attraverso un sistema a un unico grado di libertà.

La curva di vulnerabilità rappresenta un modello per valutare la distribuzione della probabilità di danno di una chiesa, in funzione del pericolo. Calcolata in termini di intensità macrosismica, dopo aver valutato l'indice di vulnerabilità mediante un'indagine appropriata.

Un simile modello è stato derivato per i normali edifici in base alla scala macrosismica europea (Lagomarsino e Giovanizzi 2006).

Il metodo si basa nell'assegnare a un edificio o un insieme di edifici, un indice di vulnerabilità V, che si ottiene dalla somma della vulnerabilità tipologica V0, correlata alla classificazione EMS98 dell'edificio e un punteggio di vulnerabilità, assegnato in base a parametri della costruzione (stato di manutenzione, qualità del materiale, regolarità strutturale, ecc.)

Una categoria di edifici assimilabili alle chiese sono gli edifici monumentali in pietra, a causa della loro costruzione tipicamente caratterizzata da materiali e artigianato di buona qualità.

Per gli edifici monumentali in pietra V0=0,62 e l'indice di vulnerabilità può variare a seconda dei punteggi di vulnerabilità sopra citati, da 0,3 a 0,86 (l'intervallo più probabile è 0,49<V<0,79), mentre per le chiese V assume un valore convenzionale tra 0,67 e 1,22. (S. Lagomarsino 2006)

È opportuno notare che le curve di vulnerabilità delle chiese e dei palazzi sono simili, ad eccezione del denominatore, che controlla il tasso di aumento di danno all'aumentare dell'intensità.

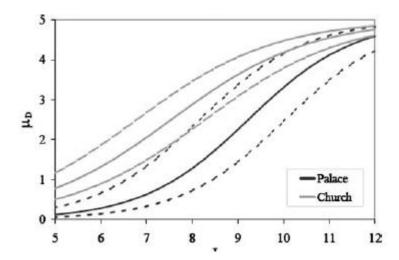


Figura 2-36 Confronto tra curva di vulnerabilità chiese e palazzi (S. Lagomarsino 2006)

Le chiese risultano più vulnerabili a causa dei valori in media dell'indice di vulnerabilità, infatti le chiese risultano più vulnerabili per intensità più basse.

In realtà, nel caso di piccoli terremoti in Italia, le chiese hanno sempre mostrato danni maggiori rispetto ad altre tipologie edilizie. Tuttavia, le chiese mostrano una duttilità più elevata, il danno aumenta per intensità inferiori rispetto ai palazzi. Questo è dovuto anche al fatto che nel calcolo dell'indice medio di danno il valore di duttilità al denominatore è differente:

$$\mu_D = 2.5 \left[1 + \tanh\left(\frac{I + 6.25V - 13.1}{O}\right) \right]$$

Dove, Q=3 per le chiese, Q=2,3 per edifici monumentali in muratura.

2.6 Programma per il monitoraggio dello stato di conservazione dei beni architettonici tutelati

Le fasi principali di tale programma sono: Identificazione del bene, dei fattori di sensibilità e dei livelli di protezione, valutazione della vulnerabilità, verifica della sicurezza, e definizione degli interventi.

Ad ogni fase è associata una raccolta dati articolata per moduli schedografici autonomi e complementari. Ogni modulo schedografico fornisce livelli di conoscenza di diverso grado che permettono al termine delle indagini una completa analisi del manufatto.

"L'approccio conoscitivo ad una fabbrica storica rappresenta un percorso metodologico "inverso" rispetto agli edifici di nuova costruzione: dall'analisi della realtà materica della costruzione, attraverso successivi livelli di approfondimento, al riconoscimento del funzionamento strutturale accertato per la verifica della sicurezza sismica ai fini della definizione degli interventi." (Moro 2006)

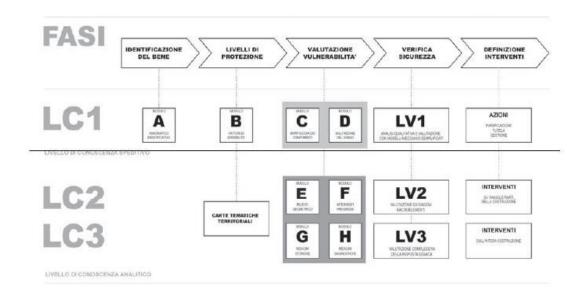


Figura 2-37 Percorso metodologico per il monitoraggio di beni architettonici tutelati (Direttiva del Presidente del Consiglio 9 febbraio 2011 " Allineamento delle Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle nuove Norme tecniche per le costruzioni" .)

2.6.1 Materiale schedografico

- Modulo A – Anagrafico identificativo

Con lo scopo di identificare in modo univoco il manufatto, questo modulo si presenta suddiviso in 15 sezioni:

- A1. Qualificazione giuridica del soggetto proprietario
- A2. Riferimenti del soggetto proprietario
- A3. Denominazione del bene
- A4. Toponomastica
- A5. Coordinate geografiche
- A6. Dati catastali
- A7. Confinanti
- A8. Periodo di realizzazione
- A9. Destinazione d'uso attuale
- A10. Documentazione fotografica
- A11. Stralcio planimetrico
- A12. Descrizione morfologica
- A13. Presenza di elementi di pregio
- A14. Altra documentazione
- A15. Valutazione di interesse culturale

Modulo B – Fattori di sensibilità

Con lo scopo di classificare particolari fattori di sensibilità, crea e indaga sulle relazioni tra il manufatto e il contesto territoriale circostante attraverso sei sezioni:

- B1. Caratteristiche dimensionali
- B2. Localizzazione
- B3. Terreno e fondazioni
- B4. Analisi dell'aggregato edilizio
- B5. Accessibilità
- B6. Stato di utilizzo
- Modulo C Morfologia degli elementi

Con lo scopo di individuare e descrivere tutti gli elementi strutturali e non, indaga sulla loro tipologia, il loro materiale e le tecniche costruttive attraverso dieci sezioni:

- C1. Codifica degli elementi strutturali
- C2. Ispezionabilità
- C3. Morfologia
- C4. Tipologia elementi strutturali
- C5. Tipologia finiture
- C6. Tecnica costruttiva elementi strutturali
- C7. Tecnica costruttiva finiture
- C8. Parametri meccanici
- C9. Elementi di pregio storico artistico
- C10. Materiali finiture

- MODULO D: STATO DI CONSERVAZIONE

Con lo scopo di analizzare lo stato di conservazione di un manufatto, classifica e descrive i fenomeni di danni degli elementi strutturali attraverso cinque sezioni:

- D1. Danno strutturale
- D2. Danno materico
- D3. Cause del danno
- D4. Analisi dei dettagli strutturali
- D5. Interazioni fra unità strutturali

2.7 Modello per la valutazione della vulnerabilità e del danno sismico delle chiese : Scheda "chiese" di secondo livello

La scheda ha la finalità di evidenziare le carenze costruttive di un manufatto che favoriscono l'attivazione di ciascun meccanismo di danno. Non sono da sottovalutare i segni lasciati dai terremoti passati che ancora adesso potrebbero essere riconosciuti all'interno di un manufatto. Il risultato delle analisi riportate sulla scheda rappresenta lo scenario di danno atteso per un dato terremoto analizzato nell'area.

La scheda è strutturata in modo tale che per ogni macroelemento è possibile descrivere i possibili presidi antisismici che possono contrastare l'attivazione del meccanismo e gli indicatori di vulnerabilità che possono aumentare la propensione al danneggiamento (Civerra, Lemme e Cifani 2007).

La scheda si divide in tre parti distinte, che riassumono le sette sezioni che erano presenti nella scheda utilizzata per il terremoto dell'Umbria e Marche (Lagomarsino e Podestà 2004).

La prima parte è una raccolta dati generali della fabbrica, quindi le caratteristiche formali, le principali dimensioni degli elementi architettonici che la compongono e le caratteristiche delle murature dei vari macroelementi. Queste informazioni sono molto utili in quanto, se la scheda è compilata in fase pre-sisma, funge da raccoglitore di informazioni per la fase emergenziale.

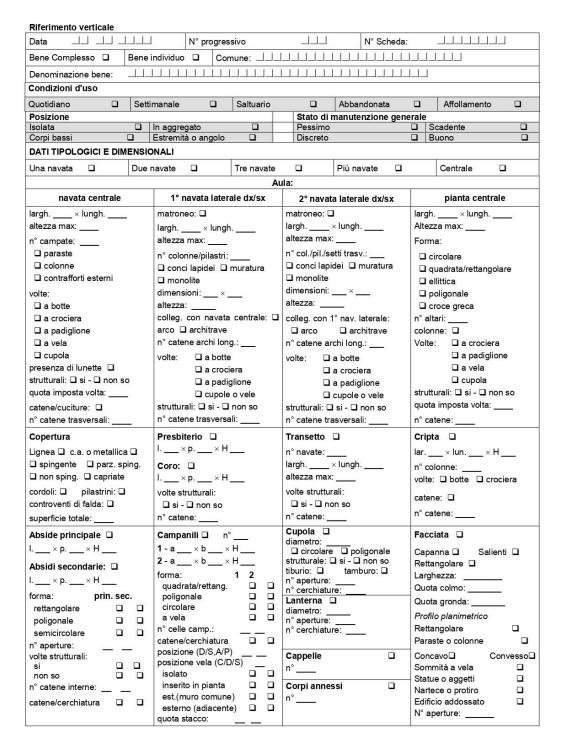


Figura 2-38 Prima parte della scheda di danno e vulnerabilità

La seconda parte della scheda è quella più importante per calcolo della vulnerabilità della chiesa. Per ogni macroelemento è possibile analizzare i presidi antisismici e gli indicatori di vulnerabilità e a ciascuno di essi viene attribuito un grado di efficacia o gravità attraverso un punteggio che va da 1 a 3 (0: inefficace,1: modesto,2: buono,3: completamente efficace). Inoltre, per ogni macroelemento è possibile stimare il danno successivo a un evento sismico e un danno pregresso precedente ed eventualmente indipendente dall'evento sismico. A ciascuno

Livello	Descrizione del danno strutturale
0	Nessun danno
1	Danno trascurabile o lieve: danno lieve o moderato in alcuni meccanismi
2	Danno medio: danno moderato in molti meccanismi, con uno o due meccanismi attivati a livello medio
3	Danno grave: molto meccanismi attivati a livello medio, con alcuni meccanismi a livello grave
4	Danno molto grave: danno grave in molti meccanismi, con possibile crollo di alcuni elementi della chiesa
5	Crollo: oltre 2/3 presentano un livello di danno corrispondente al crollo

Figura 2-39 Livelli di danno della Scala macrosismica EMS per le chiese

L'elaborazione dei dati raccolti in questa seconda parte della scheda permette la stima di un indice di danno (compreso tra 0 e 1) che quantifica il danno medio subito dalla chiesa e un indice di vulnerabilità che esprime la propensione della chiesa ad essere danneggiata da un terremoto secondo quanto descritto nei precedenti paragrafi (2.3/2.4).

In appendice viene mostrata la scheda nel suo intero.

di essi viene attribuito un punteggio che va da 1 a 5.

3 Proposta di una metodologia per la valutazione della vulnerabilità a vasta scala delle chiese: caso studio Comune di Moncalieri

Il patrimonio architettonico di proprietà ecclesiastica rappresenta solo una parte dei beni di interesse religioso del paese, ma costituisce un sistema territoriale capillare (più di 65mila chiese censite), profondamente innervato nei territori, e soggetto a tutte le fragilità che affliggono l'intero territorio italiano.

Il patrimonio ecclesiastico resta affidato alla responsabilità dell'ente proprietario (parrocchia, diocesi, altri enti ecclesiastici); a livello locale, il sistema del patrimonio ecclesiastico è organizzato sulla base della vita e delle esigenze delle comunità, che sono chiamate a prendersi cura responsabilmente dei beni loro affidati.

Lo studio effettuato, come precedentemente dichiarato, fa parte un progetto di ricerca promosso dalla Conferenza Episcopale Italiana (CEI) in collaborazione con il Responsible Risk Resilience Centre del Politecnico di Torino (R3C) che ha tra gli obiettivi:

- Individuazione dei modi in cui le informazioni ora disponibili nel censimento delle chiese italiane possono essere utilizzate per la valutazione speditiva di pericolosità territoriale e vulnerabilità delle chiese, intese come sistema territoriale;
- Individuazione dei modi in cui le conoscenze sui beni ecclesiastici raccolte dalle iniziative della CEI e delle diocesi possono essere ulteriormente integrate con altre iniziative di ricerca, per una miglior possibilità di valutazione del rischio;
- Segnalazione e documentazione dei progetti di ricerca, dei metodi di indagine e delle iniziative (di natura scientifica) che, occupandosi di patrimonio anche ecclesiastico possono essere effettivamente coordinate con le politiche di conservazione e valorizzazione delle diocesi e delle singole comunità;
- Verifica della concreta possibilità di includere il tema della prevenzione del rischio e della manutenzione dei criteri sulla base dei quali viene erogato il sostegno economico della CEI per gli interventi di conservazione e valorizzazione del patrimonio.

A seguito di ciò sono stati analizzati gli strumenti forniti dalle diocesi, attraverso i quali sono state effettuate delle analisi speditive di vulnerabilità e rischio sismico che possono essere di

supporto a una pianificazione di interventi utili alla messa in sicurezza e alla gestione emergenziale degli edifici di culto.

Per questo tipo di analisi è stato fondamentale anche l'uso della scheda "chiese" di secondo livello, in quanto in questo capitolo, è stata applicata su tutte le chiese del Comune, simulando un approccio speditivo e informativo che ha permesso la costruzione e la compilazione di una tabella successivamente descritta.

Nei capitoli successivi invece, la scheda sarà compilata a seguito di una conoscenza accurata di una chiesa nello specifico. Questo permetterà un confronto tra i risultati delle varie analisi.

3.1 Schede censimento CEI-A

Il progetto di censimento delle Chiese delle Diocesi italiane parte nel 2008. Lo scopo di questo censimento è costituire una banca dati nazionale degli edifici di culto italiano che sia uno strumento utile a carattere di urgente necessità. Infatti, gli obbiettivi formativi sono:

- Individuazione dell'entità patrimoniale globale: da intendersi anzitutto come individuazione elencativa e quantitativa che renda una visione d'insieme tale da permettere la corretta programmazione di qualsiasi iniziativa volta alla salvaguardia e alla valorizzazione del patrimonio; (CEI)
- Disponibilità dei dati minimi indispensabili per una corretta azione di tutela, conservazione e restauro: nella scheda censimento uno spazio è dedicato a informazioni sugli interventi di adeguamento liturgico, natura e stato degli impianti, lo stato di conservazione e la storia degli interventi di restauro; le aree riservate alla titolarità del bene, alla sua inequivocabile individuazione fisica (supportata anche da dati catastali, dalla documentazione in immagini e dalla georeferenziazione) completano un insieme di solidi elementi sui quali basare ogni necessaria azione di diritto; (CEI)
- Realizzare una base di conoscenza sulla quale fondare una istruita e completa opera di divulgazione, rivolta al mondo della ricerca, dello studio, della cultura e del turismo. Il patrimonio architettonico delle chiese costituisce inoltre la sede naturale in cui le opere d'arte nate per la liturgia e il culto trovano la loro collocazione originale e primaria e pertanto il legame alla banca dati dei beni artistici mobili sarà uno degli aspetti che più verrà favorito in futuro dalla programmazione dell'Ufficio Nazionale per i beni culturali rgbeni), soprattutto al fine di ricreare i contesti originari delle opere e la storia della devozione e della fede. (CEI)

Le diocesi che hanno risposto attivamente al progetto hanno costituito delle squadre di lavoro comprendenti più figure professionali competenti. Una volta approvate le schede sono consultabili sul sito BEWEB.



Figura 3-1 Interfaccia sito web BEWEB, https://www.beweb.chiesacattolica.it

Di fondamentale importanza è stato l'ausilio delle schede CEI-A nel progetto di tesi, in quanto tutto il lavoro di analisi speditiva preliminare è stato effettuato esclusivamente basandosi sui dati ricavabili da queste. Il lavoro è stato tanto più preciso quanto più precisi erano i dati forniti nelle schede.

In appendice è mostrata una scheda tipo e vengono evidenziate in giallo le sezioni di maggior importanza ai fini delle analisi svolte.

3.2 Stato di fatto: analisi schedografica e valutazioni preliminari

Lo studio preliminare alle analisi sulla metodologia per la valutazione della vulnerabilità sismica delle chiese è stato quello di ricerca bibliografica e schedografica che ha portato a delineare uno stato dell'arte dell'avanzamento del lavoro dalle prime schede descritte in Doglioni (Doglioni, Moretti e Petrini 1994) ad oggi.

Molte sono state le valutazioni ottenute a seguito di questa ricerca; tra questi è stata valutata la mancanza di una metodologia codificata che porta a una difficile organizzazione della messa in sicurezza in fase emergenziale.

Questo è dovuto molte volte a un difficile reperimento di informazioni e dati essenziali relativi al manufatto, e quindi a una mancata analisi preliminare di quest'ultimo che possa fornire quanti più dati utili alla descrizione dell'edificio e alla sua attitudine al danno o vulnerabilità sismica. Infatti, sarebbe necessario per ogni chiesa avere una scheda identificativa del bene, dotata anche di dati dimensionali che porterebbero in fase emergenziale alla compilazione corretta e speditiva

di tutte le parti iniziali di conoscenza delle schede post sisma A-DC (Dipartiemento della protezione civile).

Una corretta analisi preliminare sarebbe quella di compilare la scheda di danno e vulnerabilità per ogni chiesa in fase pre-sisma, in modo da valutare anche una possibile propensione al danno della chiesa e quanto essa è vulnerabile. Questo permetterebbe di avere un'analisi a larga scala di quali potrebbero essere i siti più attenzionabili e richiedenti eventualmente più opere di manutenzione.

Naturalmente, analisi e considerazioni che riguardano metodologie speditive su numeri vasti, apportano semplificazioni che servono ad avere un quadro complessivo del comportamento del patrimonio ecclesiastico.

3.3 Valutazione della vulnerabilità a vasta scala delle chiese

Lo studio si è concentrato su tutte le chiese del comune di Moncalieri di proprietà della comunità ecclesiastica (CEI).

Questo denuncia una prima problematica, relativa al fatto che in questo modo si riesce a valutare solo il 60 % circa del patrimonio ecclesiastico del paese, il restante risulta difficile anche da analizzare, in quanto molti siti sono di proprietà ignota e chiusi durante l'anno.

Infatti, il comune di Moncalieri in totale presenta 34 beni ecclesiastici, di cui 20 di proprietà ecclesiastica, 9 di proprietà di altri enti, tra cui scuole, ospedali e cimitero e 5 in 'fase altra' del censimento chiese, in quanto presentano peculiarità amministrative da studiare in altra fase.

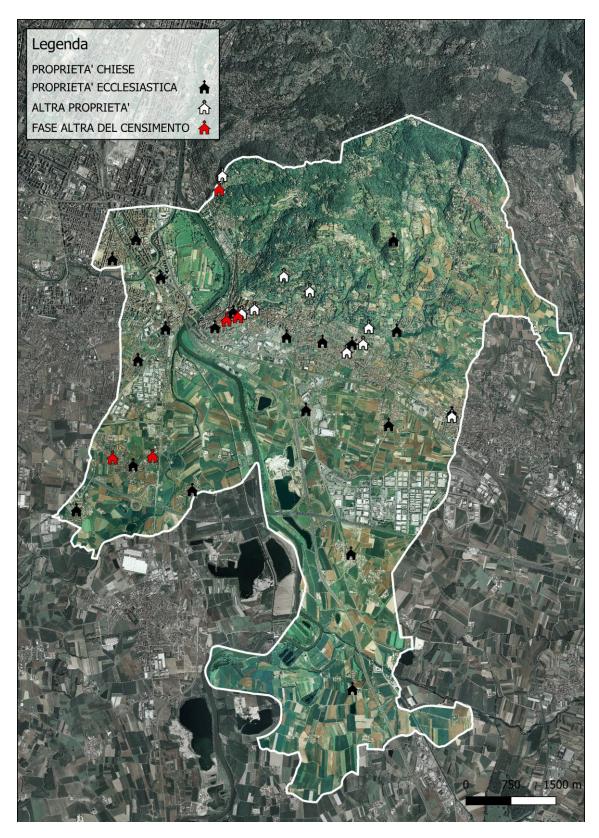


Figura 3-2 Ortofoto del territorio di Moncalieri con inserimento della classificazione delle chiese in base alle proprietà

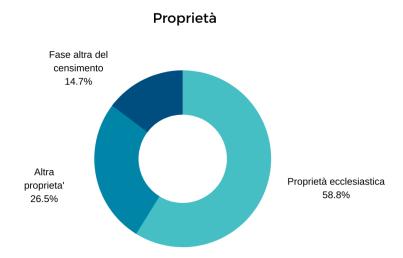


Figura 3-3 Grafico a torta: Proprietà chiese

Ulteriori analisi più approfondite sono state condotte sul campione di chiese di Moncalieri di sola proprietà della diocesi di Torino. Di queste sono state valutate l'epoca di costruzione, la tipologia costruttiva, l'ambito culturale e la fruizione. Queste indagini hanno permesso di analizzare le tecnologie costruttive e i materiali utilizzati in relazione allo stile e all'epoca di costruzione.

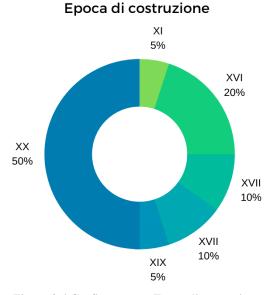


Figura 3-4 Grafico a torta: Epoca di costruzione



Figura 3-5 Datazione dell'impianto costruttivo prevalente

Tipologia costruttiva

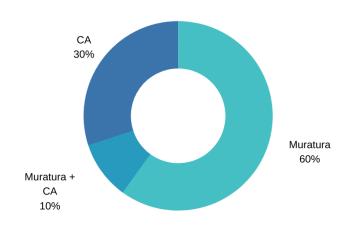


Figura 3-6 Grafico a torta: Tipologia costruttiva

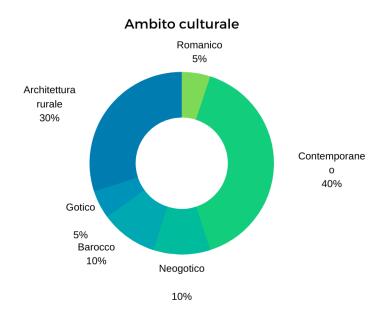


Figura 3-7 Grafico a torta: Ambito culturale



Figura 3-8 Grafico a torta: Fruizione

Un' ulteriore classificazione vede la suddivisione di tutte le chiese in tre differenti gruppi basati sia sull'originario periodo di fondazione che sulle successive trasformazioni. Questa classificazione permette di riconoscere diverse caratteristiche strutturali e quindi possibili e differenti comportamenti sismici.

Il primo gruppo si riferisce alle chiese medievali, vale a dire prevalentemente romaniche e gotiche, o appartenenti a costruzioni rurali. Questi edifici sono generalmente caratterizzati da un piano semplice coperto da capriate in legno, senza transetto e cupola. La qualità della muratura è generalmente buona, dovuto dal tessuto ben rifinito caratterizzato da un modello regolare di pietre. Questo gruppo di chiese generalmente caratterizzato da una buona risposta

strutturale con presenza di poche fragilità; quindi possono essere classificate come chiese a bassa vulnerabilità.

Il secondo gruppo è costituito da chiese post-medievali, costruite principalmente nel Rinascimento o in epoca barocca. Queste sono chiese con un piano più complesso, molto spesso caratterizzate dalla presenza di absidi, transetti, volte e cupole. La muratura è generalmente fatta da pietre eterogenee e irregolari, ricavate da scarti di macerie con dimensioni variabili. Le chiese post-medievali sono generalmente più vulnerabili di quelle medievali, in quanto sono caratterizzate da una maggiore complessità strutturale e una scarsa qualità costruttiva. Quindi possono essere classificate come chiese a media vulnerabilità.

Il terzo gruppo è costituito dalle cosiddette chiese ibride, che sono caratterizzate da tecniche costruttive eterogenee. Le significative stratificazioni rilevate in questo tipo di chiese, la differenza tra parti interne ed esterne o addirittura tra porzioni diverse delle stesse sottostrutture fanno sì che possano essere classificate come chiese ad alta vulnerabilità. (De Matteis, Brando e Corlito 2019).

3.3.1 Strumento utile alle analisi: il GIS

Il GIS è un sistema informativo geografico open source che permette di effettuare delle analisi a livello territoriale, facendo confluire in esso dati di diversa entità. Questi dati inseriti sotto forma di layers possono essere elaborati e graficizzati creando delle mappe personalizzate a seconda dell'utente.

Si tratta dunque, di un sistema informativo geografico che sottopone le informazioni derivate dai dati geografici di input permettendone:

- L'acquisizione;
- La registrazione;
- La visualizzazione
- La condivisione
- La presentazione

Stabilito ciò è possibile graficizzare e analizzare una determinata area e ciò che succede all'interno. L'analisi risulta efficace e immediata in quanto ingloba simultaneamente dati geometrici (forma, dimensione, posizione geografica degli oggetti), dati topologici (connessione, adiacenza e relazioni reciproche tra gli oggetti) e informativi (dati numerici o testuali relativi agli oggetti).

QGIS, programma open source, utilizzato in questo studio di ricerca, si basa proprio su questo sistema.

3.4 Valutazione della complessità strutturale attraverso l'attivazione dei meccanismi di collasso

Per questo tipo di valutazione sono state prese in considerazione soltanto le chiese di proprietà della diocesi di Torino, in muratura e muratura + CA di del comune di Moncalieri, in quanto solo su questa tipologia costruttiva è possibile applicare l'analisi elaborata.

Per le chiese in cemento armato si prevedono altre tipologie di considerazioni che non verranno affrontate in questo studio di tesi.

Le chiese analizzate sono state:

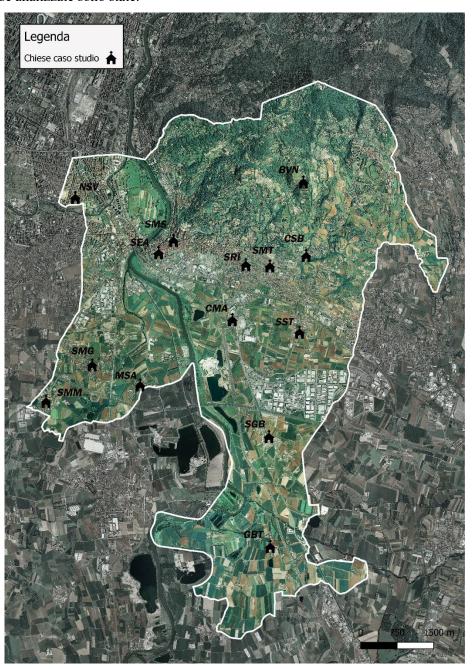


Figura 3-9 Ortofoto del territorio di Moncalieri con inserimento della classificazione delle chiese considerate nel caso studio

NSV. Chiesa di Nostra Signora delle Vittorie

SMS. Chiesa di Santa Maria della Scala e Sant'Egidio

SEA. Chiesa di Sant'Egidio Abate

BVN. Chiesa della Beata Vergine della Neve

CSB. Cappella di San Bartolomeo

SMT. Chiesa di Santa Maria Testona

SRI. Chiesa di San Rocco e Sant'Isidoro

CMA. Cappella di San Michele Arcangelo

SST. Chiesa della SS. Trinità

SMG. Chiesa di Santa Maria Goretti

MSA. Chiesa di Maria SS. Immacolata e Sant'Antonio Abate

SMM. Chiesa di Santa Maria Maddalena

SGB. Chiesa di Santa Giovanni Battista

Per queste 14 chiese si è proceduto con la compilazione in maniera speditiva della scheda "chiese" di II livello partendo dai dati ricavati dalla scheda di censimento CEI-A.

GBT. Chiesa di San Giovanni Battista

È opportuno precisare che nella valutazione sono stati presi in esame solo gli indicatori di vulnerabilità. Gli indicatori dei presidi antisismici non sono stati per ora considerati perché allo stato di fatto valutarli è troppo complesso e servirebbero indagini più dettagliate attraverso sopralluoghi. Perciò l'analisi si pone in una condizione a sfavore di sicurezza, in quanto così facendo si è considerato lo scenario più drammatico.

Le schede CEI-A sono state lette in maniera ragionata con la finalità di far emergere dei dati utili alla compilazione delle schede, ponendo particolare attenzione a tutti quegli elementi presenti nella scheda CEI-A che potessero o no attivare i meccanismi di collasso.

Ogni chiesa è stata analizzata e interrogata su quali elementi presentasse che potessero attivare i 28 meccanismi.

A tal fine è stata progettata una tabella che ha permesso di dedurre un "indice di complessità strutturale" che ha dato la possibilità di effettuare una valutazione di vulnerabilità sulla chiesa stessa.

Di seguito si riporta la tabella progettata per l'analisi, solo per il caso della Collegiata di Santa Maria della Scala. L'intera tabella che analizza tutte le chiese del caso studio è presente in Appendice.

		1 - R	IBALTAMENT	O DELLA FACCI	ATA		-	2	- ME	CCANISMI NEI	LA SOMMITA' D	ELLA FACO	CIATA				
Der	nominazione	Elementi (puntoni di co	Elementi spingenti Grandi apertur (puntoni di copertura, volte, pareti archi) laterali vicino al c		rture nelle reti			senza di sommità a vela		Cordoli rigidi		Trave di colmo in c.a.		ura pesante in c.a.	Grandi aperture (rosone)		
	Parrocchia di Santa Maria della x			-			ura	х							х		
Scala	e Sant'Egidio		:	1							1						
	3 - MECCAN	IISMI NEL PIA	ANO DELLA	FACCIATA	4	- PROTI	RO E NART	ACE		!	5 - RISPOSTA	TRASVEF	RSALE DEL	L'AULA			
ID	ID Grandi aperture (anche tamponate)				sping	Elementi spingenti Pre (Archi, volte)		resenza		Elementi spingenti archi, volte)		Pareti con elevata snellezza		Volte in foglio			
SMS	х			-						х							
		1					NO					1					
		6 - MECO	CANISMI DI	TAGLIO DEL	LE PARETI I	ATERAL	.1			7 - R	ISPOSTA LONG	SITUDIN	ALE DEL C	OLONNATO			
ID	Grandi aperture Mura			ra di limitato essore	Cordol	in c.a. Copertura pesante c.a.			spessore significativo		Сар	Cappe armate sull'estradosso delle volte		Copertura pesante in c.a.			
SMS				0						Х		1					
				U								1					
		8 - VOI	LTE DELLA	NAVATA (CENTRALE					9 - V	OLTE DELLE	NAVAT	E LATER	ALI			
ID	ribassate (disposizione	'			mensioni evoli	coi trasi	Carichi ncentrati messi dalli opertura	ribassa d (dispo	ite e, osizio	ivamente /o snelle one dei i piatto,	dimensi	Lunette di dimensioni considerevoli		richi concentrati trasmessi dalla copertura			
SMS	×	: (*)		х					x (*)	Х						
51415				1								1					
		1	.0 - RIBALTAN	MENTO PARET	I DEL TRANS	ETTO			1		11 - MECCANI	SMI DI TA	AGLIO NEL T	RANSETTO	-		
ID	Cordoli rigidi		Travi di coln in c.a.	- 1	esante	Grandi aperture Son nella parete frontale		ommità a vel grande dimensione peso			rdoli gidi			Muratura d limitato spessore	Copertura pesante		
SMS						х	:						х				
				1								1	Į.				
		12 - VOLTE D	DEL TRANSET							13 - AR	CHI TRIONFALI						
ID	Carichi concenti trasmessi dalla cop		nette di dime considerevo	nsioni oli car	e in foglio con npate di nde luce	Cope		Cupola o tiburio			enza di namento		ti di taglio deboli	Spessore inadeguato dell'arco	Muratura (qualità)		
SMS			0								NO						
ID	1	14 - C ertura te in c.a.	UPOLA E	Grandi ap	erture	coi tras	Carichi ncentrati missi dalla opertura		ante ata s	rna snellezza	15 - LA Grand apertui	i	Piccoli e piedritti				
SMS				NO				+				NO					
				IVU				1			ı	NO.					
			16 - RIBA	ALTAMENTO [ELL'ABSIDE				_		17 - MECCA	NISMI DI	TAGLIO NEL	L'ABSIDE			
ID	Indebolimento pareti a causa delle aperture	a	Volte spingenti		ordoli rigidi	Cope pesa		Puntoni di falda in c.a.	(.ord				pertura esante	Grandi aperture (anche tamponate)	Muratura di limitato spessore		
SMS	-		х	1					$ \top$				1				
		1 0															
		18 - VOLTE	E DEL PRE	SBITERIO C	DELL'AB			_	MEC	CANISMI (COPERTURA	- PARE	TI LATERA	ALI DELL'AU	JLA		
ID	Carichi d trasmessi d	concentrati alla coperti		unette di di consider		cai	e in foglic con mpate di ande luce	Co	pert		Cordoli ri	gidi	Copertura pesar		nte		
SMS				х													
JIVIJ	1			1								0					

		20- MEC	CANISM	I COPERTU	RA- TRA	ANSETTO)	T		21 -	MECCANISMI	COPE	RTURA ABSII	DE		
ID		Copertura spingente Cordoli			loli rigio	li rigidi Copertura pesante			Copertura spingente Cordoli rigidi			igidi	Copertura pesante			
SMS																
31013				0								0				
	22 - RIB	BALTAMENTO DELLE CAPPELLE		23 - MECCA	NISMI DI	TAGLIO N	ELLE PARETI DEL	LE C	APPELLE		24	- VOLT	DLTE DELLE CAPPELLE			
ID		bolimento pareti per esenza di aperture Cordoli rigidi			pertura esante	Grandi apertu (anche tampona		Muratura di e) limitato spessore		Carichi concentrati e trasmessi dalla copertui		Lunette di dimension considerevoli		Volte in foglio con campate di grande luce		
SMS		-					-						х			
31413		0				0)						1			
	25 -	- IRREGOLARITA' PLAI	NO-ALTIME	ETRICHE	26	AGGETTI (\	vela, guglie)				27 - TORRE O	AMPAN	ARIA			
ID		Differenza Azioni concentrate di rigidezza trasmesse dagli elementi ra i corpi adiacenti di collegamento		Elevat snellez		Posizione asimmetrica etto all'elemento sottostante	si	Aperture significative su più livelli		Torre singlebata		ure fino a terra su alcuni lati nza di portico)	Torre su pilastri murari	Presenza		
SMS		-		х	-		х		-		х		х		х	
		1				1										
				2	8 - CI	ELLA (CAMPANA	٩RI	Α	•			ndice di	comn	leccità	
10)	Copertura pesante					Copert	ura	ra ,		D		Indice di complessità			
		o altre masse				spingent			te		Presenza		strutturale			
CN	15	х									х		16			
SN	/15		1							16						

Figura 3-10 Metodologia per il calcolo dell'indice di complessità strutturale

Le caselle contrassegnate in arancione simboleggiano che non si ha certezza della presenza del meccanismo. Il meccanismo attivato è simboleggiato con il numero 1, il meccanismo che non si attiva invece con 0. L'assenza del macroelemento è contrassegnata dal "NO".

L'indice di complessità strutturale dato dalla somma dei meccanismi attivi esprime i possibili meccanismi attivabili e rappresenta una stima dei possibili meccanismi attivi correlati con un grado di incertezza dato dai dati non noti che porterebbero in un'analisi più approfondita all'attivazione di più meccanismi rispetto a quelli calcolati con il solo ausilio delle schede CEI-

Di seguito vengono riportati gli indici di complessità strutturale per ogni chiesa:

NSV. Chiesa di Nostra Signora delle Vittorie	6
SMS. Chiesa di Santa Maria della Scala e Sant'Egidio	16
SEA. Chiesa di Sant'Egidio Abate	14
BVN. Chiesa della Beata Vergine della Neve	11
CSB. Cappella di San Bartolomeo	7
SMT. Chiesa di Santa Maria Testona	16
SRI. Chiesa di San Rocco e Sant'Isidoro	3

CMA. Cappella di San Michele Arcangelo	3
SST. Chiesa della SS. Trinità	16
SMG. Chiesa di Santa Maria Goretti	7
MSA. Chiesa di Maria SS. Immacolata e Sant'Antonio Abate	8
SMM. Chiesa di Santa Maria Maddalena	8
SGB. Chiesa di San Giovanni Battista	11
GBT. Chiesa di San Giovanni Battista	11

Di seguito è stata effettuata una rappresentazione grafica su QGIS localizzando le chiese sull'ortofoto del comune di Moncalieri.

Questo permette di fare un'analisi sulla distribuzione delle chiese nel centro abitato e di quali tra esse richiedono una maggiore attenzione per un'ipotetica riduzione di vulnerabilità attraverso l'applicazione di opportuni presidi visti precedentemente.

Inoltre, l'analisi permette di avere un riscontro immediato su quali possano essere le chiese che in fase emergenziale (un eventuale post sisma) possano essere considerate sicure anche per eventuali ricoveri temporanei.

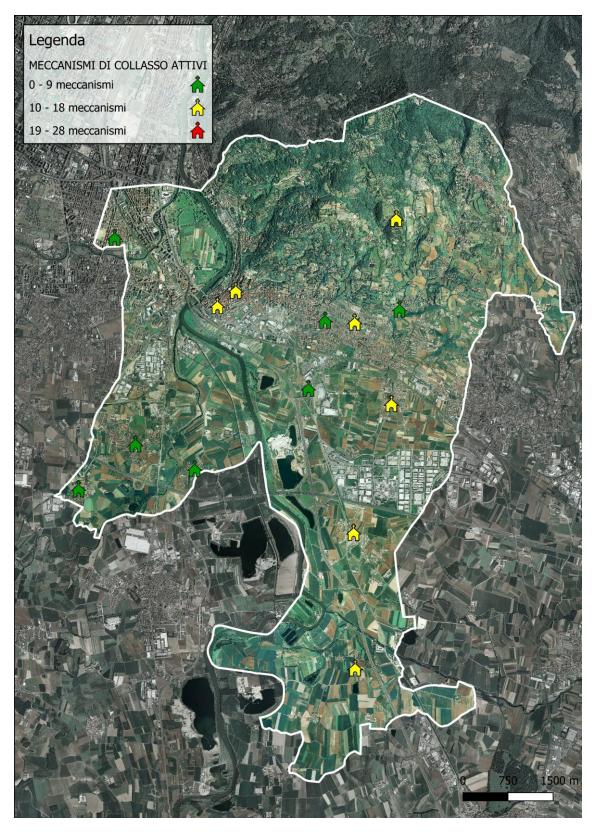


Figura 3-11 Ortofoto del territorio di Moncalieri con inserimento della classificazione delle chiese in base ai meccanismi di collasso attivi

3.5 Valutazione della fruizione delle chiese

L'analisi condotta è stata integrata anche con la tipologia di affollamento delle chiese. Principalmente nel comune di Moncalieri le chiese sono di tipo Parrocchiale, quindi aperte tutti i giorni, e di tipo Sussidiaria, quindi aperte solo nei giorni festivi. Integrando questi dati con quelli precedentemente esaminati relativi ai meccanismi di collasso il risultato è quello visibile in fig. 3-12.

Da questa analisi i casi più attenzionabili risultano quelli colorati in giallo, cerchiati di nero, ovvero le chiese che prevedono più meccanismi di collasso con occupazione ordinaria.

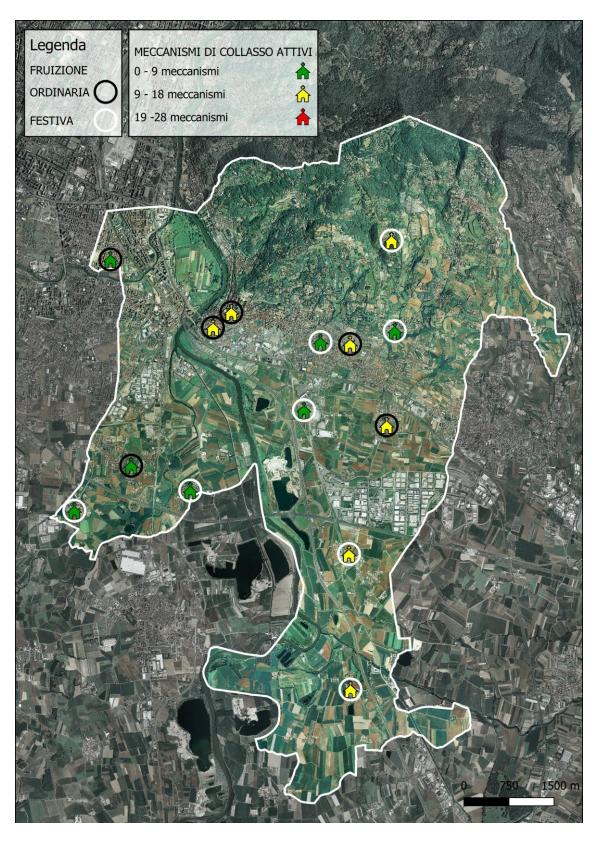


Figura 3-12 Ortofoto del territorio di Moncalieri con inserimento della classificazione delle chiese in base ai meccanismi di collasso attivi

4 Stima e valutazione della distribuzione del danno delle chiese: caso studio Comune di Moncalieri

Una seconda analisi sulle 14 chiese selezionate è stata effettuata con il software OpenQuake.

L'utilizzo di questo metodo è stato già affrontato da alcuni elaborati di tesi condotti e coordinati dal Laboratorio di Dinamica e Sismica del Politecnico di Torino (Prof. R.Ceravolo). Le precedenti analisi hanno riguardato il centro storico del Comune di Moncalieri (Milandri 2018/2019) (Lambiase 2018/2019) e la zona industriale (Zedde 2018/2019).

In questo lavoro il metodo è testato per lo studio delle chiese, ma è opportuno specificare che questo software non nasce per indagare su edifici quali chiese ma piuttosto edifici residenziali. Ciò potrebbe sottostimare o sovrastimare i dati di otput ottenuti.

L'analisi effettuata valuta il danno relativo a un determinato scenario sismico attraverso lo *Scenario Damage assessment*.

Tale analisi calcola la distribuzione statistica del danno per ogni edificio definito nel modello di esposizione considerando un singolo scenario di rottura.

I file di input necessari sono il modello di esposizione, il modello di fragilità e lo scenario di rottura del terremoto (Fig.4-1).

Tra i file di output ottenuti quello utile all'analisi è la mappa di collasso che contiene il numero di edifici danneggiati/distrutti all'interno dell'area di studio (Fig.4-1).

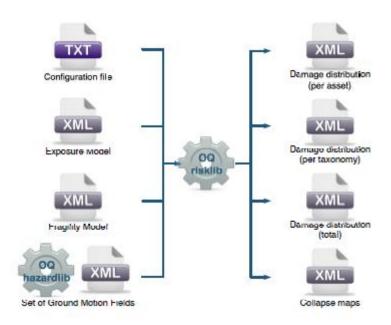


Figura 4-1 Scenario Damage: file di input e outuput (Pagani, Silva, et al. 2018)

Di seguito vengono analizzati tutti i passaggi eseguiti per l'analisi.

4.1 OpenQuake

OpenQuake è una piattaforma di valutazione del rischio basata sul web, che offre una soluzione integrata per modellare, visualizzare, esplorare e gestire il rischio sismico. OperQuake è un software open source scritto nel linguaggio Python, per il calcolo del rischio sismico a scala variabile. Per il calcolo della pericolosità sismica e del rischio sismico utilizza un linguaggio nomitato Natural Hazards Risk Markup (NRML), basato sul un codice XML (Silva, Crowley e Colombi 2014).

Attualmente il linguaggio NMRL viene utilizzato per rappresentare dati di input come: seismic source model, logic tree model, vulnerability model, fragility model e exposure model.

Il motore alla base della piattaforma ha attualmente cinque calcolatori principali, ognuno dei quali contribuisce in modo univoco alla valutazione e mitigazione del rischio sismico nell'area considerata (Pagani, Crowley, et al. 2013):

- *Scenario risk*: Questo calcolatore è in grado di valutare le perdite economiche su un insieme di beni, causate da un singolo scenario sismico. Questo è importante per la pianificazione della gestione delle emergenze e per sensibilizzare la società al rischio;
- Scenario damage assessment: Questo calcolatore è in grado di stimare la distribuzione dei danni dovuta da un singolo scenario di rottura, utile alla pianificazione della gestione delle emergenze o per la valutazione di quali siano le risorse più vulnerabili a livello sismico;
- Probabilistic event-based risk: Questo calcolatore rileva la probabilità di perdite
 economiche basandosi sulle curve e utilizzando la classica procedura di integrazione;
 L'output di questo calcolatore permette di valutare le perdite attese per un insieme di
 beni.
- Classical PSHA-based risk: Questo calcolatore permette la valutazione delle perdite
 economiche partendo da una descrizione probabilistica del pericolo e quindi da una serie
 di eventi sismici stocastici. L'output di questo calcolatore permette di comparare il
 rischio in luoghi diversi e per diversi beni, al fine di definire una priorità di intervento;
- Benefint-cost ratio: Questo calcolatore è uno strumento di supporto decisionale utile al
 fine di valutare l'impiego di misure di adeguamento/rafforzamento in un insieme di
 edifici esistenti, stimando in quali casi risulti essere più vantaggioso dal punto di vista
 economico. L'output di questo calcolatore permette di valutare le priorità di intervento
 e valutare quale progetto sismico è più adeguato economicamente per una data regione.

4.1.1 Seismic source model

Il seismic source model fornisce informazioni su posizione, geometria e attività sismiche, descritte tramite distribuzione di frequenza di magnitudo. Il modello è definito come una sequenza di fonti sismiche e in NMRL ogni sorgente sismica pu essere definito come una delle quattro possibili tipologie: area, punto, faglia semplice, faglia complessa (fig.3-1).

I primi de servono per modellare una distribuzione di sismicità in una regione geografica che non considera strutture di faglia, mentre, gli ultimi due per modellare eventi sismici che si verificano in zone dove la faglia è ben definita e caratterizzata. (Pagani, Monelli, et al. 2014)

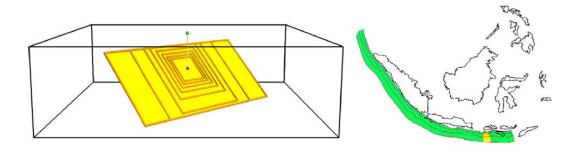


Figura 4-2 A destra tipologia a punto, a sinistra tipologia a faglia complessa (Pagani, Crowley, et al. 2013)

4.1.2 Logic Tree Model

I logic trees sono ampiamente utilizzati nella moderna valutazione probabilistica del rischio sismico (PSHA) con l'obiettivo di descrivere incertezze epistemiche (incertezze dovute da una mancanza di dati) che si considerano in un'analisi sismica di rischio/pericolo. Esso è strutturato come una sequenza di livelli di ramificazione, ognuno dei quali contiene uno o più set di rami. Un set di rami definisce un tipo di incertezza, mentre un ramo descrive una realizzazione particolare dell'incertezza.

4.1.3 GMPE, equazioni di previsione del movimento del terreno

Le GMPEs. Ground Motion Predict Equations, sono equazioni empiriche che descrivono i parametri relativi al movimento del terreno. Queste sono fondamentali per determinare la pericolosità sismica in quanto calcolano un valore rappresentativo di rifermento in relazione a una data intensità di terremoto.

Queste equazioni, sviluppate nel corso degli anni, sono differenti tra loro in base alla localizzazione geografica del sito caso di studio, infatti alcune sono utilizzabili solo su scala europea (Ambraseys e Bommer 1992) e altre su scale più ristretta (Bragato 2009).

4.1.4 Modello di esposizione

Il modello di esposizione contiene le informazioni relative all'attività all'interno della regione di interesse. Un certo numero di parametri definisce le caratteristiche per ciascun bene, ad esempio la tassonomia che consente al motore OpenQuake di mettere in relazione ogni edificio con l'appropriata funzione di fragilità o vulnerabilità, costo in euro e coordinate geografiche. La tassonomia è uno strumento molto utile per classificare gli edifici che possono avere attributi molto diversi tra loro.

4.1.5 Modello di fragilità

La fragilità è definita come la probabilità di superare un insieme di stati limite, dato un intervallo di livelli di misura dell'intensità.

Un modello di fragilità può essere definito attraverso un approccio discreto o mediante la modellazione di ciascuna curva dello stato limite come funzione lognormale cumulativa. (Pagani, Crowley, et al. 2013)

4.1.6 Modello di vulnerabilità

La vulnerabilità fisica o strutturale è definita come la distribuzione di probabilità di un rapporto di perdita, dato un livello di misura di intensità. Nella versione corrente di OpenQuake, le funzioi di vulnerabilità discrete vengono utilizzate per valutare il modello di perdite, ad esempio le perdite di vite umane o in termini economici. Il primo valuta il rapporto tra decessi e popolazione esposta, il secondo il rapporto tra costo di riparazione e costo di sostituzione per una determinata tipologia di edificio. Le incertezze dovute a queste valutazioni vengono definite nei dati di input attraverso un coefficiente di variazione (Pagani, Silva, et al. 2018).

Le curve di vulnerabilità sono state calcolate sulla base delle curve di fragilità, valutando il mean damage factor, e della covarianza intesa come incertezza legata alla funzione di vulnerabilità. (Porter 2010). Come è possibile notare dalla figura 4-3 l'andamento della covarianza decresce con il crescere del mean damage factor.

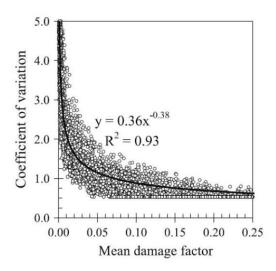


Figura 4-3 Andamento della covarianza in funzione del mean damage factor (Porter 2010)

Mettendo in correlazione il mean damage factor e la covarianza con il valore dell'intensità sismica si ottengono le curve di vulnerabilità degli edifici.

4.2 Il modello di rottura nel caso studio

Al fine dell'analisi è stato utile creare dei file che descrivessero lo scenario di rottura desiderato. Sono stati definiti due scenari di rottura (Guidoboni, et al. 2018):

- Val Pellice 1808 (55 km da Moncalieri), magnitudo 5.7, ipocentro a 25 km di profondità;
- Imperia 1887 (126 km da Moncalieri), magnitudo 6.3, ipocentro a 15 km di profondità; Tra i file di input inseriti, oltre alla magnitudo e all'ipocentro, si sono inseriti dati relativi all'inclinazione della faglia:
 - Il rake: Direzione di movimento del blocco che sta sopra la faglia (hanging wall), misurato in relazione allo strike sul piano di faglia. E' stato posto pari a 90° ipotizzando una faglia inversa;
 - Lo strike: Angolo misurato in senso orario, formato dalla traccia della faglia con il nord geografico;
 - *Il dip:* Angolo misurato nel piano verticale tra la linea di massima pendenza sul piano di faglia e il piano orizzontale.

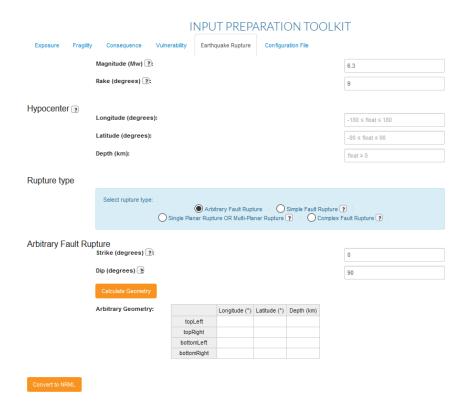


Figura 4-4 Modello per la creazione di scenari di rottura, piattaforma OpenQuake

4.3 Tassonomia

La tassonomia è indispensabile per la creazione del modello di esposizione. Essa evidenzia tutte le caratteristiche degli edifici, ragion per cui è stata effettuata su tutte le 14 chiese. Ognuna di queste possiede delle caratteristiche che la contraddistinguono e che possono essere più o meno influenti nella valutazione del comportamento sismico.

Una tassonomia permette di raggruppare più strutture che presentano le stesse caratteristiche e in letteratura sono presenti diverse metodologie per classificare diversi sistemi di raggruppamento:

- EMS-98: Classificazione basata sulla tipologia di materiale strutturale. Per alcuni edifici stabilisce il sistema di resistenza ai carichi laterali (LLRS), il livello di rinforzo e/o il materiale del pavimento. Definisce 15 classi diverse di edificio.
- HAZUS: classificazione in base al sistema strutturale, altezza e criteri di progettazione sismica. Definisce 16 classi diverse di edificio.

Tutte le informazioni inserite per la creazione delle tassonomie sono state volutamente prese solo dalle schede CEI-A, in quanto una finalità dell'analisi è proprio valutare quanto utile e soddisfacente può essere la scheda al fine dell'analisi.

La tassonomia è stata costruita tramite OpenQuake utilizzando lo strumento TaxtWEB fornito dalla GEM che ha costruito un sistema basato su quattro livello per classificare i dati tramite informazioni diverse.

Di seguito si mostrano i passaggi della creazione della tassonomia per la chiesa di Santa Maria della Scala e Sant'Egidio, creata con i soli dati reperiti dal censimento CEI, scheda CEI-A.

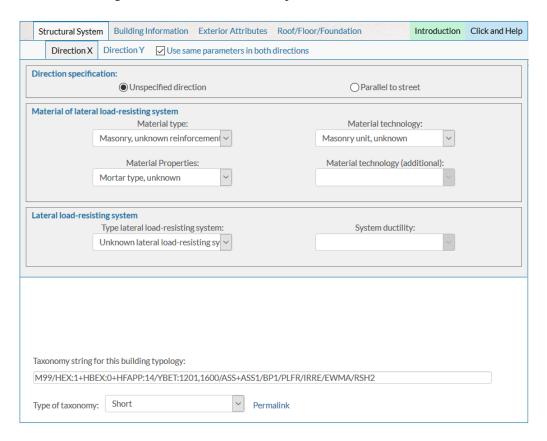


Figura 4-5 TaxTweb della GEM, Chiesa Santa Maria della Scala e Sant'Egidio

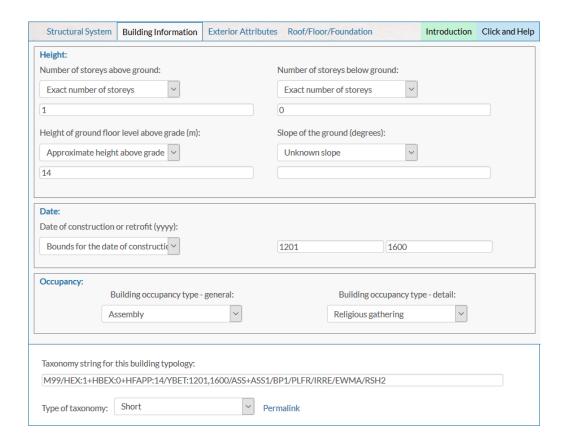


Figura 4-6 TaxTweb della GEM, Chiesa Santa Maria della Scala e Sant'Egidio

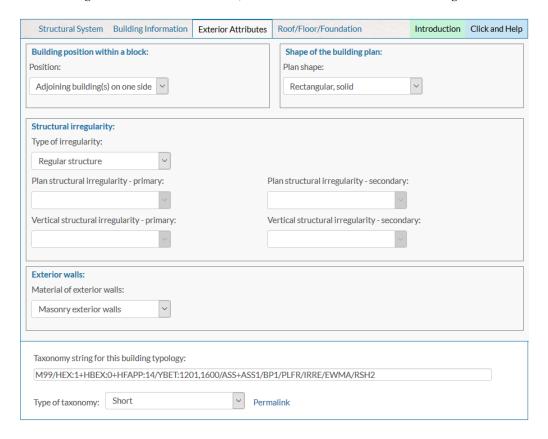


Figura 4-7 TaxTweb della GEM, Chiesa Santa Maria della Scala e Sant'Egidio

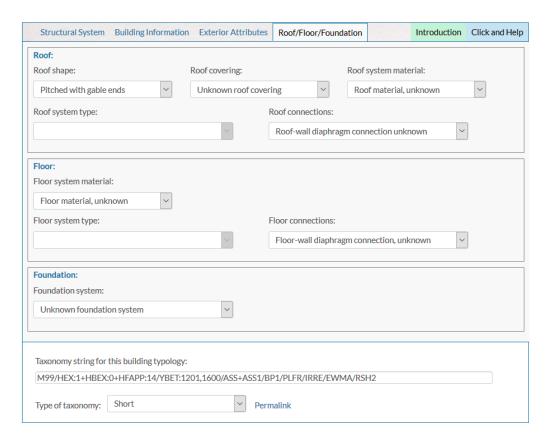


Figura 4-8 TaxTweb della GEM, Chiesa Santa Maria della Scala e Sant'Egidio

All'interno dei quattro livelli si possono inserire parametri che caratterizzano l'edificio, quali: il tipo di materiale, il tipo di resistenza al carico laterale (LLRS), l'altezza, l'epoca di costruzione, l'occupazione, la forma, il tipo di fondazioni, di pavimento e tetto.

Di seguito vengono elencate le tassonomie ottenute per tutte le 14 chiese (Fig.5-8):

2947	SMT	M99/HEX:1+HBEX:0+HFAPP:11/YBET:1011,1037/ASS+ASS1/BP1/PLFR/IRRE/EWMA/RSH4
5990	SMG	M99/HEX:1+HBEX:0+HFAPP:11/YEX:1986/ASS+ASS1/BPD/PLFR/IRRE/EWMA/RSH2+RMT7+RC
5039	NSV	M99/HEX:1+HBEX:0+HFAPP:7/YEX:1973/ASS+ASS1/BP1/PLFR/IRRE/EWMA/RSH8+RMT6+RC
10535	SST	M99/HEX:1+HBEX:0+HFAPP:10/YEX:1985/ASS+ASS1/BP1/PLFX/IRIR+IRPP:IRHO+IRPS:IRN/EWMA/RSH2
5364	BVN	M99+SPO/HEX:1+HBEX:0+HFAPP:5/YEX:1752/ASS+ASS1/BP1/PLFR/IRRE/EWMA/RSH2+RMT9+RWO
3048	SMS	M99/HEX:1+HBEX:0+HFAPP:14/YBET:1201,1600/ASS+ASS1/BP1/PLFR/IRRE/EWMA/RSH2
10533	CMA	M99/HEX:1+HBEX:0+HFEX:3/YBET:1601,1700/ASS+ASS1/BPD/PLFR/IRRE/EWMA/RSH7
2586	SRI	M99/HEX:1+HBEX:0+HFAPP:3/YBET:1601,1700/ASS+ASS1/BPD/PLFR/IRRE/EWMA/RSH2+RMT1
6836	CSB	M99/HEX:1+HBEX:0+HFAPP:4/YBET:1801,1900/ASS+ASS1/BPD/PLFR/IRRE/EWMA/RSH2+RMT1+RWO
1554	SEA	M99/HEX:1+HBEX:0+HFAPP:10/YBET:1501,1600/ASS+ASS1/BP3/IRIR+IRPP:IRHO+IRPS:IRN/EWMA/RSH8
5637	SMM	M99/HEX:1+HBEX:0+HFAPP:11/YEX:1729/ASS+ASS1/BP1/PLFP/IRRE/EWMA/RSH8
12514	MSA	M99/HEX:1+HBEX:0+HFAPP:6/YBET:1501,1600/ASS+ASS1/BP1/PLFR/IRRE/EWMA/RSH2+RMT1
1271	SGB	M99/HEX:1+HBEX:0+HFAPP:8/YBET:1501,1600/ASS+ASS1/BP2/PLFX/IRRE/EWMA/RSH2+RMT1
6697	GBT	M99/HEX:1+HBEX:0+HFAPP:8/YEX:1933/ASS+ASS1/BP1/PLFR/IRRE/EWMA/RSH2

Figura 4-9 Tassonomie relative alle 14 chiese

Analizzando nel dettaglio le nomenclature presenti all'interno della tassonomia e prendendo in considerazione la chiesa con ID 3048, SMS, Chiesa di Santa Maria della Scala si ha:

ID	DIREZIONE	MATERIALE	RESISTENZA AL CARICO LATERALE	ALTEZZA	DATA DI COSTRUZIONE	OCCUPAZIONE	
SMS	non specificata	muratura con rinforno sconosciuto	resistenza al carico laterale sconosciuto	numero di piani:1 altezza dal piano terra:	intervallo temporale data di costruzione: 1201-1600	assemblea: raduno religioso	(i
tax		M99		HEX:1+HBEX:0+HFAPP:14	BET:1201,1600	ASS+ASS1	

BP1	PLFR	IRRE	EWMA	RSH2	
edificio addossato su un lato		tipo di irregolarità: regolare	muratura	inclinato con estremità a timpano,di materiale sconosciuto	sconosciuto
POSIZIONE DELL'EDIFICIO	FORMA DELL'EDIFICIO IN PIANTA	IRREGOLARITA' STRUTTURALE	MURI ESTERNI	TETTO	PAVIMENTO

Figura 4-10 Dettaglio tassonomia

L'obiettivo però di questa analisi è stato quello di perfezionare il livello di dettaglio delle tassonomie delle chiese, caratterizzandole con più informazioni reperite dalle schede di censimento CEI-A. Questo ha permesso di effettuare una valutazione del danno più singolare e precisa.

Di seguito viene mostrato un esempio di tassonomia della Chiesa Madonna della Scala e S. Egidio

TESI M. MILANDRI (Milandri 2018/2019)					
M99/LWAL/HAPP:1+HFAPP:14+HD:15/YAPP:1820/ASS+ASS1					
ANALISI IN CORSO					
M99/HEX:1+HBEX:0+HFAPP:14/YBET:1201,1600/ASS+ASS1/BP1/PLFR/IRRE/EWM A/RSH2					

4.4 Il modello di esposizione nel caso studio

Per la creazione del modello di esposizione è necessario stabilire, oltre alla tassonomia precedentemente descritta, e le coordinate geometriche (latitudine e longitudine) già stabilite

per l'analisi precedente (cap.3), il costo parametrico (replacemente cost), riferito alla ristrutturazione o ricostruzione dell'edificio dopo un evento sismico.

Per la nostra analisi sono state fatte una serie di supposizioni, in particolare (Milandri 2018/2019):

- per il calcolo del replacement cost, vengono considerati solo i costi strutturali, cioè quelli relativi solo alle strutture portanti;
- I costi non strutturali, quelli relativi ai beni mobili all'interno degli edifici e quelli relativi all'interruzione delle attività sono stati trascurati;
- Il livello di danno ipotizzato è l'L1, in quanto non è stato valutato accuratamente il livello di danno delle strutture
- Si è considerata una vulnerabilità delle strutture da bassa a significativa e uno stato di danno due ossia un "danno lieve" o inferiore o uguale al "danno grave", essendo la zona di Moncalieri poco sismica

I costi parametrici strutturali sono stati determinati considerando la tabella 6 dell'Ordinanza n.19 del 7 aprile 2017, elaborato a seguito del sisma del Centro Italia. (Presidente del Consiglio dei Ministri 2017) (Fig.4-12).

Costi parametrici riferiti ai livelli operativi della Tabella 5							
Costo parametrico	Livello operativo L0		Livello operativo L1	Livello operativo L2	Livello operativo L3	Livello operativo L4	
Fino a 130 mq.	400		850	1100	1250	1450	
Da 130 a 220 mq.	330		750	900	1100	1250	
Oltre i 220 mq.	300		650	800	950	1100	

Figura 4-11 Costi parametrici (Presidente del Consiglio dei Ministri 2017)

Il costo evidenziato è stato poi incrementato 20% per tutti gli edifici considerati chiese, in quanto ricadenti negli edifici considerati di interesse culturale. In definitiva il costo è pari a 910 euro/mq. Tali incrementi sono imposti dall'Ordinanza n.19 del 7 aprile 2017 "Misure per il ripristino con miglioramento sismico e la ricostruzione di immobili ad uso abitativo gravemente danneggiati o distrutti dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 agosto 2016" citato precedentemente.

4.5 Il modello di fragilità nel caso studio

Per la valutazione del danno delle chiese nel Comune di Moncalieri è stato necessario creare un modello di fragilità a partire dalla funzione di fragilità che descrive il comportamento degli edifici monumentali creata da studi condotti di (Lagomarsino e Podestà 2004).

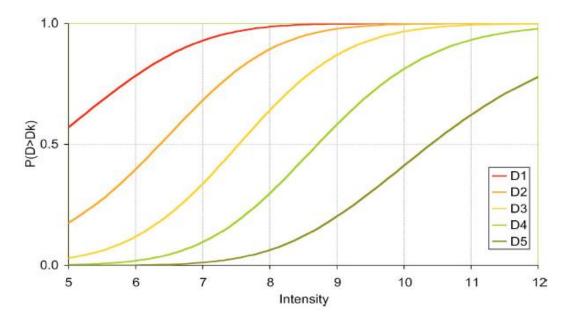


Figura 4-12 Curve di fragilità per edifici monumentali (Lagomarsino e Podestà 2004)

Queste curve sono costruite in base all'intensità macrosismica e sono state ricavate da una metodologia che considera i più significativi meccanismi di collasso per ogni macroelemento. Sulla base di questa metodologia, partita da un database di circa 100 edifici tra Umbria e Marche, è stata creata una matrice di probabilità di danno per ogni meccanismo considerato che ha portato alla definizione di un punteggio globale di danno sulla base del quale sono state ottenute le curve. Si è così ottenuto un livello medio atteso di danno per ogni classe di chiesa che è stato successivamente relazionato ad un evento sismico di data intensità. (Lagomarsino e Podestà 2004).

Per questo studio si è considerata la curva che meglio rappresentasse il comportamento delle chiese italiane caratterizzata da un indice di vulnerabilità pari a V=0,89.

4.6 Definizione del file di configurazione

Infine, si è passati nella sezione *Configuration file*, selezionando la voce *Earthquake Scenarios* e procedendo con un'analisi che riguardasse lo scenario *Damage*. Tra i dati di input si è proceduto con l'inserire il movimento relativo al terreno, il modello di esposizione e il modello di fragilità, tutti precedentemente calcolati. Inoltre, è stata selezionata la GMPE, descritta nel capitolo 3.2.3.

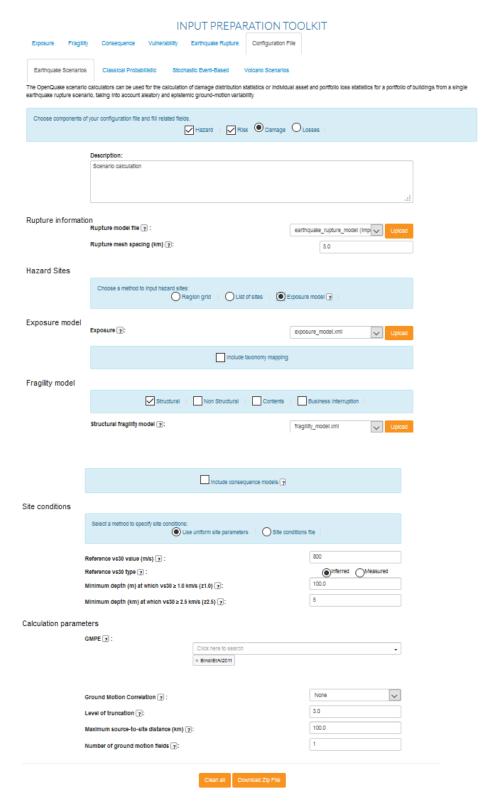


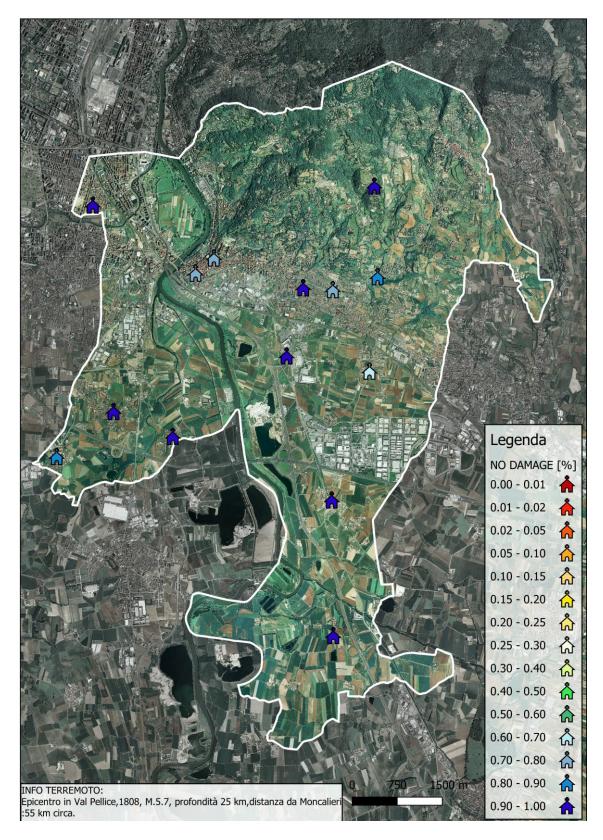
Figura 4-13 Input preparation toolkit

4.7 Elaborazione dei risultati ottenuti

L'analisi scenario damage assesment effettuata, attraverso l'ausilio di Qgis, permette di mappare i risultati ottenuti. In particolare, viene illustrato, per tutte le chiese analizzate, lo scenario di danno per entrambi gli stati di rottura considerati, valutando quattro livelli di danno: no damage, slight, moderate e collapse.

Per chiarezza di lettura, si sottolinea che le legende delle mappe "NO DAMAGE" sono invertite rispetto alle altre legende in quanto si è voluto rappresentare in blu tutte le chiese che non subiscono danni.

Di seguito vengono mostrate le mappe ottenute:



Figura~4-14~Distribuzione~del~danno~considerando~il~terremoto~del~1808~con~epicentro~in~Val~Pellice~-No~Damage

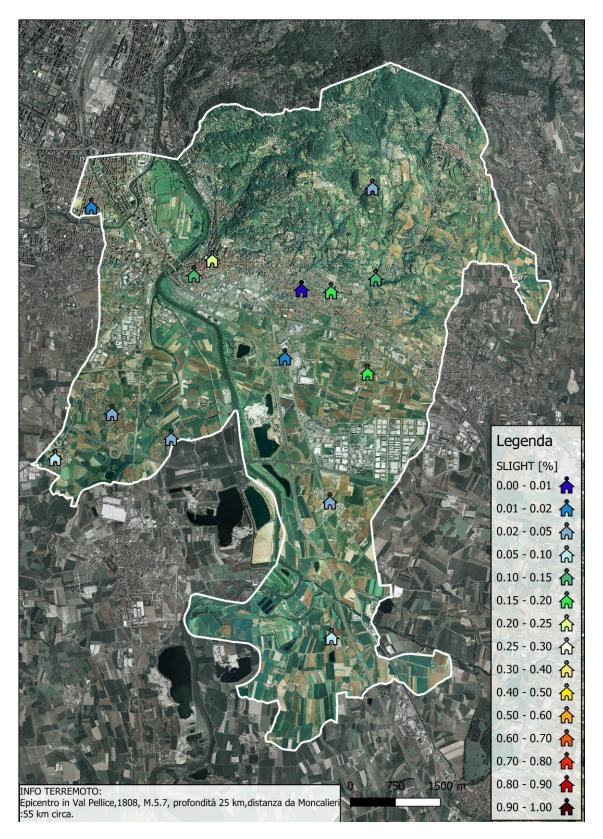


Figura 4-15 Distribuzione del danno considerando il terremoto del 1808 con epicentro in Val Pellice – Slight

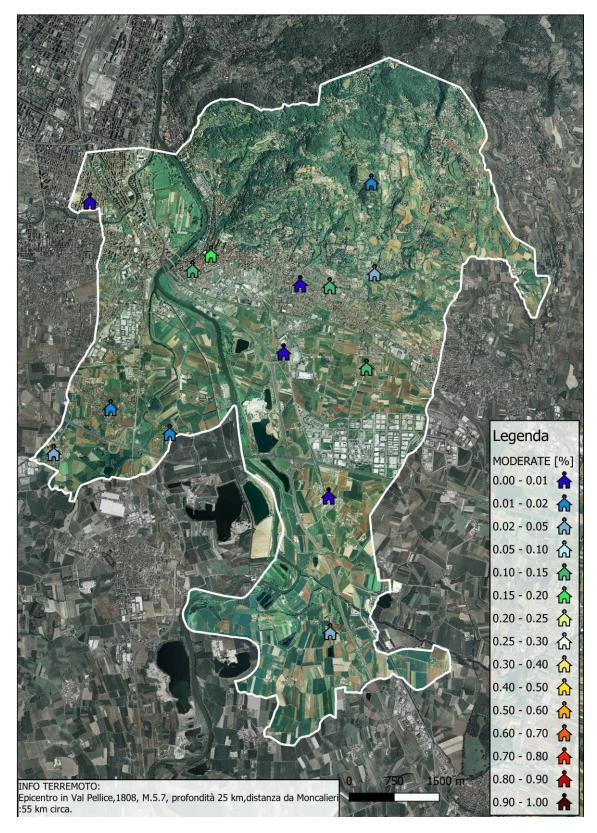
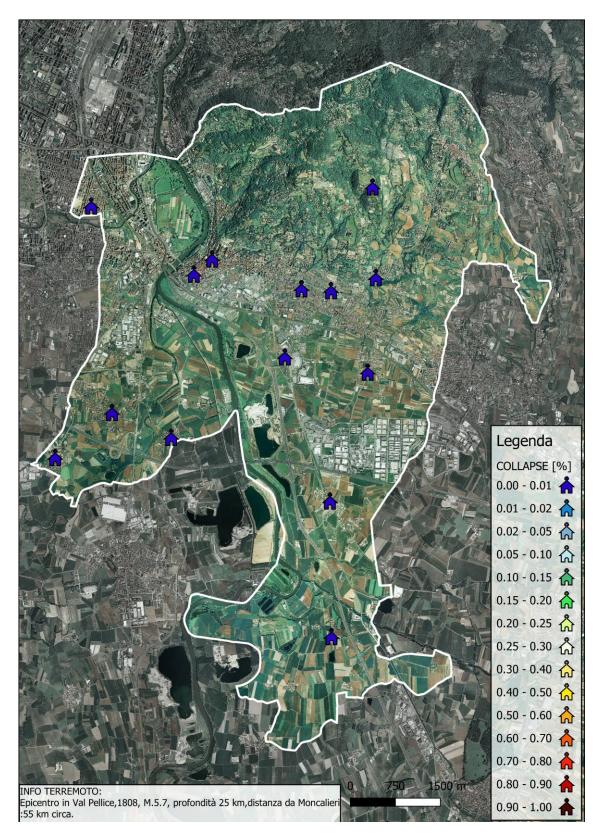


Figura 4-16 Distribuzione del danno considerando il terremoto del 1808 con epicentro in Val Pellice – Moderate



 $Figura\ 4-17\ Distribuzione\ del\ danno\ considerando\ il\ terremoto\ del\ 1808\ con\ epicentro\ in\ Val\ Pellice-Collapse$

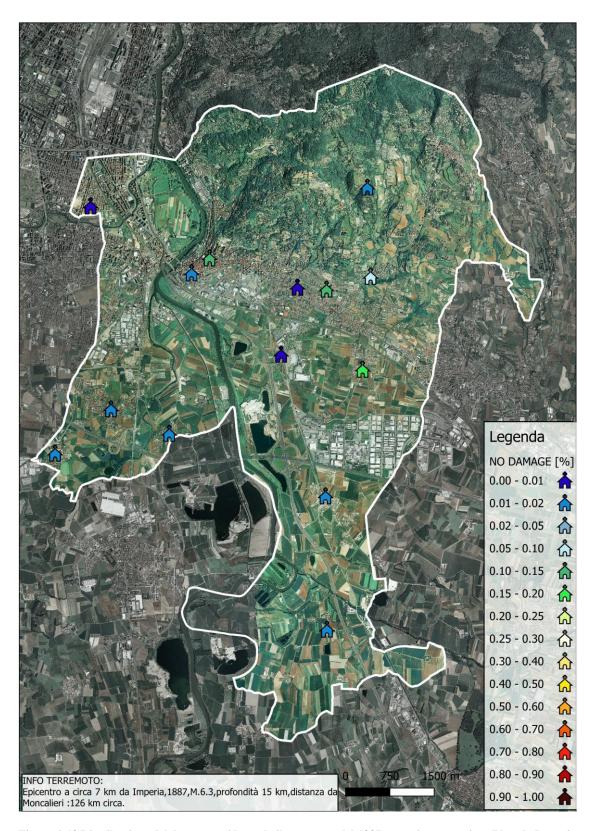


Figura 4-18 Distribuzione del danno considerando il terremoto del 1887 con epicentro a circa 7 km da Imperia – No Damage

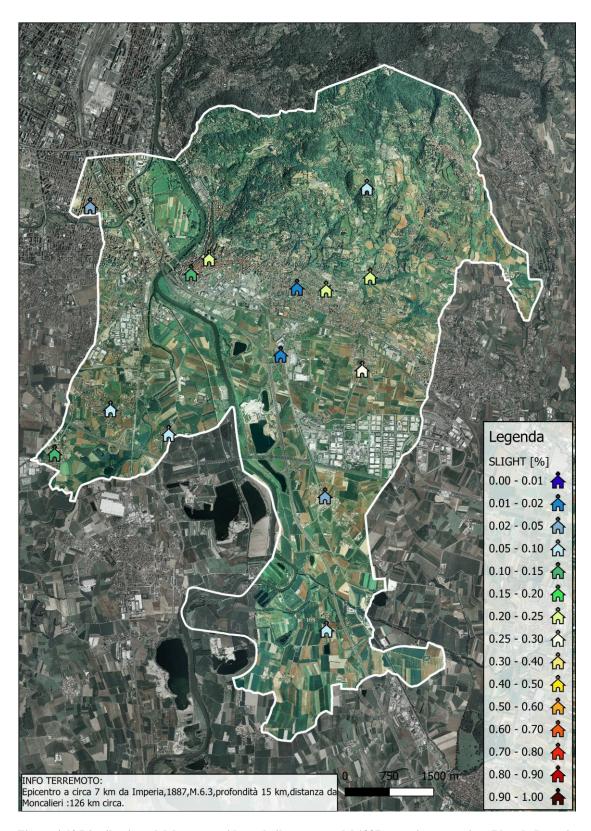


Figura 4-19 Distribuzione del danno considerando il terremoto del 1887 con epicentro a circa 7 km da Imperia – Slight

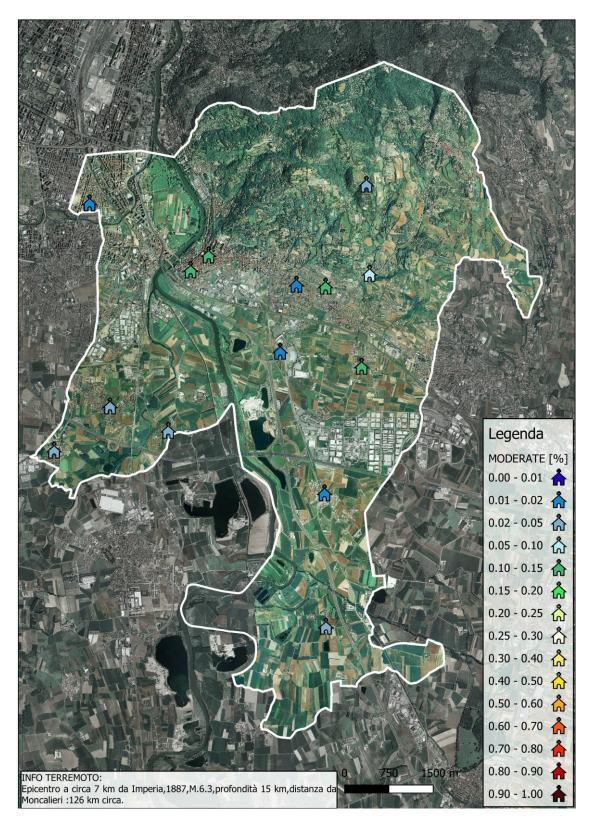


Figura 4-20 Distribuzione del danno considerando il terremoto del 1887 con epicentro a circa 7 km da Imperia – Moderate

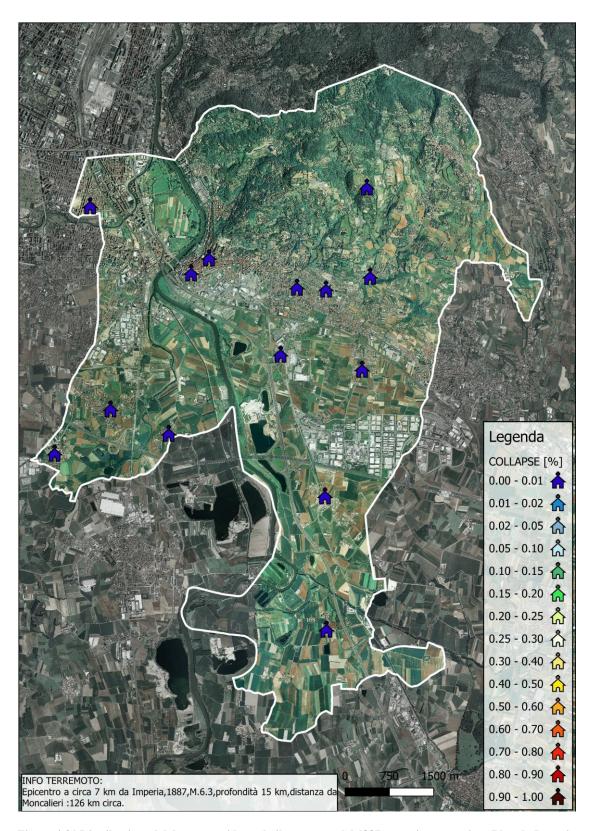


Figura 4-21 Distribuzione del danno considerando il terremoto del 1887 con epicentro a circa 7 km da Imperia – Collapse

In conclusione, a seguito delle analisi svolte, è possibile notare come non emergono significative differenze tra i risultati ottenuti per i due scenari di rottura. Nonostante questo, lo scenario che presenta una probabilità che le chiese subiscano danni più elevata è data dal terremoto di Imperia di magnitudo 6.3, che risulta avere un epicentro più distante da Moncalieri ma una magnitudo più elevata rispetto al terremoto il Val Pellice di 5.7.

È opportuno specificare dal confronto con i risultati ottenuti negli elaborati di tesi precedentemente citati (Milandri 2018/2019) (Lambiase 2018/2019) che le chiese rispetto al restante contesto storico sono gli edifici che si danneggiano maggiormente.

Dall'analisi comparativa risulta che su un totale di 14 chiese si ha:

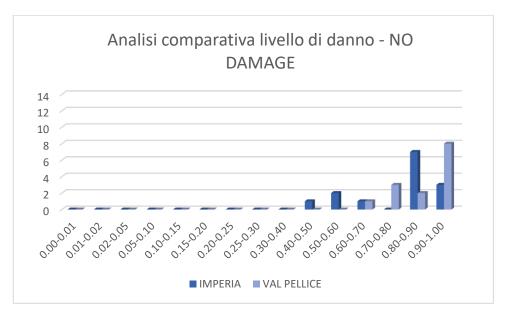


Figura 4-22 Analisi comparativa livello NO DAMAGE

- Una probabilità di non subire danno tra il 90% e il 100 % più alta per lo scenario di rottura relativo al terremoto di Val Pellice in un rapporto di 8 chiese a 3;
- Una probabilità di non subire danno tra l'80% e 90% più alta per lo scenario di rottura relativo al terremoto di Imperia in un rapporto di 7 chiese a 2;
- Una probabilità di non subire danno tra l'70% e 80% più alta per lo scenario di rottura relativo al terremoto di Val Pellice in un rapporto di 3 chiese a 0;
- Una probabilità di non subire danno tra l'60% e 70% uguale per entrambi gli scenari di rottura in un rapporto 1 a 1;
- Una probabilità di non subire danno tra l'50% e 60% più alta per lo scenario di rottura relativo al terremoto di Imperia in un rapporto di 2 chiese a 0;

• Una probabilità di non subire danno tra l'40% e 50% più alta per lo scenario di rottura relativo al terremoto di Imperia in un rapporto di 1 chiesa a 0;



Figura 4-23 Analisi comparativa livello SLIGHT

- Una probabilità di subire un danno lieve tra lo 0% e 1% più alta per lo scenario di rottura relativo al terremoto di Val Pellice in un rapporto di 1 chiesa a 0;
- Una probabilità di subire un danno lieve tra l'1% e 2% uguale per entrambi gli scenari di rottura in un rapporto 2 chiese a 2;
- Una probabilità di subire un danno lieve tra il 2 % e 5% più alta per lo scenario di rottura relativo al terremoto di Val Pellice in un rapporto di 4 chiese a 2;
- Una probabilità di subire un danno lieve tra il 5% e 10% più alta per lo scenario di rottura relativo al terremoto di Imperia in un rapporto di 4 chiese a 2;
- Una probabilità di subire un danno lieve tra il 10% e 15% uguale per entrambi gli scenari di rottura in un rapporto 1 a 1;
- Una probabilità di subire un danno lieve tra il 15 % e 20% più alta per lo scenario di rottura relativo al terremoto di Val Pellice in un rapporto di 3 chiese a 1;
- Una probabilità di subire un danno lieve tra il 20% e 25% più alta per lo scenario di rottura relativo al terremoto di Imperia in un rapporto di 3 chiese a 1;
- Una probabilità di subire un danno lieve tra il 25% e 30% più alta per lo scenario di rottura relativo al terremoto di Imperia in un rapporto di 1 chiesa a 0;
- Una probabilità di non subire danno tra l'50% e 60% più alta per lo scenario di rottura relativo al terremoto di Imperia in un rapporto di 2 chiese a 0;

• Una probabilità di non subire danno tra l'40% e 50% più alta per lo scenario di rottura relativo al terremoto di Imperia in un rapporto di 1 chiese a 0;

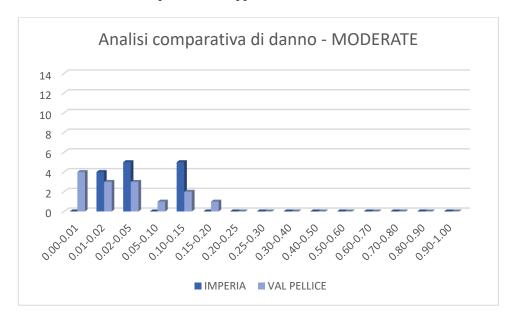


Figura 4-24 Analisi comparativa di danno MODERATE

- Una probabilità di subire un danno moderato tra lo 0% e 1% più alta per lo scenario di rottura relativo al terremoto di Val Pellice in un rapporto di 4 chiesa a 0;
- Una probabilità di subire un danno lieve tra l'1% e 2% più alta per lo scenario di rottura relativo al terremoto di Imperia in un rapporto di 4 chiese a 3;
- Una probabilità di subire un danno lieve tra il 2 % e 5% più alta per lo scenario di rottura relativo al terremoto di Imperia in un rapporto di 5 chiese a 3;
- Una probabilità di subire un danno lieve tra il 5% e 10% più alta per lo scenario di rottura relativo al terremoto di Val Pellice in un rapporto di 1 chiesa a 0;
- Una probabilità di subire un danno lieve tra il 10% e 15% più alta per lo scenario di rottura relativo al terremoto di Imperia in un rapporto di 5 chiese a 2;
- Una probabilità di subire un danno lieve tra il 15 % e 20% più alta per lo scenario di rottura relativo al terremoto di Val Pellice in un rapporto di 1 chiesa a 0;

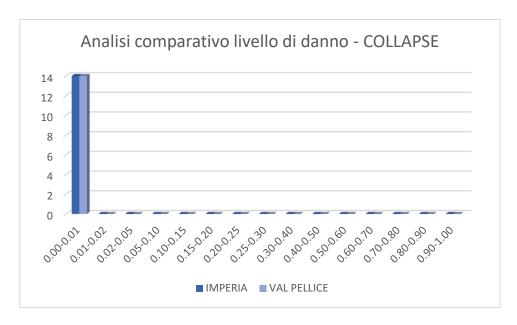


Figura 4-25 Analisi comparativa di danno COLLAPSE

• Una probabilità di subire un collasso to tra lo 0% e 1% per tutte le 14 chiese in entrambi gli scenari di rottura;

4.8 Discussione dei dati ottenuti

Si pone l'attenzione sulle chiese evidenziate in tabella, dimostrando quanto ipotizzato. In particolare, si può notare come le chiese che presentano gli indici di complessità strutturale più alti hanno una propensione al danno maggiore rispetto alle altre.

Di seguito si evidenziano i confronti:

TERREMOTO VAL PELLICE							
ID	CHIESA	INDICE DI COMPLESSITA' STRUTTURALE	DANNO				
	5.11.63.1		NO DAMAGE [%]	SLIGHT [%]	MODERATE [%]	COLLAPSE [%]	
SMT	Chiesa di Santa Maria di Testona	16	0.70-0.80	0.15-0.20	0.10-0.15	0.00-0.01	
SMG	Chiesa di Santa Maria Goretti	7	0.90-1.00	0.02-0.05	0.01-0.02	0.00-0.01	
NSV	Chiesa di Nostra Signora delle Vittorie	6	0.90-1.00	0.01-0.02	0.00-0.01	0.00-0.01	
SST	Chiesa della Santissima Trinita	16	0.60-0.70	0.15-0.20	0.05-0.10	0.00-0.01	
BVN	Chiesa della Beata Vergine della Neve	11	0.90-1.00	0.02-0.05	0.01-0.02	0.00-0.01	
SMS	Parrocchia di Santa Maria della Scala e Sant'Egidio	16	0.70-0.80	0.20-0.25	0.15-0.20	0.00-0.01	
CMA	Cappella di San Michele Arcangelo	3	0.90-1.00	0.01-0.02	0.00-0.01	0.00-0.01	
SRI	Cappella di San Rocco e Sant'Isidoro	3	0.90-1.00	0.00-0.01	0.00-0.01	0.00-0.01	
CSB	Cappella di San Bartolomeo	7	0.80-0.90	0.10-0.15	0.02-0.05	0.00-0.01	
SEA	Chiesa di Sant'Egidio Abate	14	0.70-0.80	0.15-0.20	0.10-0.15	0.00-0.01	
SMM	Chiesa di Santa Maria Maddalena	8	0.80-0.90	0.05-0.10	0.02-0.05	0.00-0.01	
MSA	Chiesa di Maria Santissima Immacolata e di Sant'Antonio Abate	8	0.90-1.00	0.02-0.05	0.01-0.02	0.00-0.01	
SGB	Chiesa di San Giovanni Battista	11	0.90-1.00	0.02-0.05	0.00-0.01	0.00-0.01	
GBT	Chiesa di San Giovanni Battista	11	0.90-1.00	0.05-0.10	0.02-0.05	0.00-0.01	

Figura 4-26 Confronto risultati considerando il terremoto con epicentro in Val Pellice

TERREMOTO IMPERIA							
ID	CHIESA	INDICE DI COMPLESSITA' STRUTTURALE	DANNO				
ID	CHIESA		NO DAMAGE [%]	SLIGHT [%]	MODERATE [%]	COLLAPSE [%]	
SMT	Chiesa di Santa Maria di Testona	16	0.50-0.60	0.20-0.25	0.10-0.15	0.00-0.01	
SMG	Chiesa di Santa Maria Goretti	7	0.80-0.90	0.05-0.10	0.02-0.05	0.00-0.01	
NSV	Chiesa di Nostra Signora delle Vittorie	6	0.90-1.00	0.02-0.05	0.01-0.02	0.00-0.01	
SST	Chiesa della Santissima Trinita	16	0.40-0.50	0.25-0.30	0.10-0.15	0.00-0.01	
BVN	Chiesa della Beata Vergine della Neve	11	0.80-0.90	0.05-0.10	0.02-0.05	0.00-0.01	
SMS	Parrocchia di Santa Maria della Scala e Sant'Egidio	16	0.50-0.60	0.20-0.25	0.10-0.15	0.00-0.01	
CMA	Cappella di San Michele Arcangelo	3	0.90-1.00	0.01-0.02	0.01-0.02	0.00-0.01	
SRI	Cappella di San Rocco e Sant'Isidoro	3	0.90-1.00	0.01-0.02	0.01-0.02	0.00-0.01	
CSB	Cappella di San Bartolomeo	7	0.60-0.70	0.20-0.25	0.10-0.15	0.00-0.01	
SEA	Chiesa di Sant'Egidio Abate	14	0.80-0.90	0.15-0.20	0.10-0.15	0.00-0.01	
SMM	Chiesa di Santa Maria Maddalena	8	0.80-0.90	0.10-0.15	0.02-0.05	0.00-0.01	
MSA	Chiesa di Maria Santissima Immacolata e di Sant'Antonio Abate	8	0.80-0.90	0.05-0.10	0.02-0.05	0.00-0.01	
SGB	Chiesa di San Giovanni Battista	11	0.80-0.90	0.02-0.05	0.01-0.02	0.00-0.01	
GBT	Chiesa di San Giovanni Battista	11	0.80-0.90	0.05-0.10	0.02-0.05	0.00-0.01	

Figura 4-27 Confronto risultati considerando il terremoto con epicentro a Imperia

È importante ricordare che queste analisi sono state effettuate solo in base alle informazioni reperite nelle schede CEI-A, infatti è plausibile ipotizzare che ulteriori ricerche su queste ultime avrebbero potuto evidenziare altre caratteristiche delle strutture che avrebbero arricchito la tassonomia a tal punto da cambiare i risultati delle analisi.

Si è evidenziato anche la Cappella di San Bartolomeo, che nonostante abbia un indice di complessità basso presenta una propensione al danno non conforme alle sue caratteristiche strutturali. Infatti la sua propensione al danno è simile a quella di chiese con un indice di complessità alto. Questo potrebbe essere attribuibile alla sua scheda CEI-A, che essendo abbastanza dettagliata ha permesso di creare una tassonomia più conforme alla chiesa.

5 Modello per la valutazione della vulnerabilità sismica delle chiese, LV1: Chiesa Collegiata di Santa Maria della Scala e Sant'Egidio

L'uso della scheda "chiese" di II livello, convalidata anche nel recente quadro normativo in materia di rischio sismico del patrimonio culturale, è uno strumento per la valutazione della sicurezza sismica a scala territoriale.

Ragion per cui nelle *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, con l'ausilio di questa scheda, si prevede un primo livello di stima di sicurezza sismica, che porta alla definizione di due indici. Questo primo livello denominato LV1 ha l'obiettivo di stimare un indice di danno e di vulnerabilità che evidentemente hanno una valenza puramente statistica e risultano corretti se applicati a scala territoriale e comunale come nel caso di questa tesi. Infatti, questa analisi è in grado di stabilire ordini di priorità per una razionale programmazione degli interventi.

In questo capitolo la scheda è stata utilizzata nella sua totalità per l'analisi di un solo caso studio, quello della Collegiata di Santa Maria della Scala e Sant'Egidio. La scelta è ricaduta su questa chiesa in quanto era quella su cui si avevano più dati reperibili. I risultati ottenuti hanno permesso un confronto con i risultati ottenuti nelle analisi precedenti.

5.1 Conoscenza del manufatto

La Chiesa Collegiata di Santa Maria della Scala situata nel Comune di Moncalieri, è un Bene Architettonico e Culturale di primo ordine, diventato negli anni uno dei simboli principali del paese, sia per la sua importanza storica, avendo attraversato ben sette secoli della storia del paese e sia per la sua importanza come centro di culto.

La Chiesa risale al XVI secolo e si localizza ai piedi del Castello Reale di Moncalieri, sull'altura che sovrasta l'attuale Borgo Mercato e la sua facciata principale è visibile da Piazza Vittorio Emanuele II, dalla quale è possibile osservare anche il campanile adiacente a questa.



Figura 5-1 Ortofoto del comune di Moncalieri, evidenziando la localizzazione della Chiesa Collegiata di Santa Maria della Scala

L'edificio è in muratura e presenta catene volte a creare in determinati punti stabilità e ad evitare rotazioni fuori piano delle pareti verticali.

L'impianto della chiesa inizialmente era simmetrico, e occupava un'area inferiore rispetto a quella attuale che si presenta modificata totalmente nel suo aspetto avendo subito ampliamenti e interventi di restauro e modifiche a livello strutturale.

La configurazione geometrica attuale è quella di una chiesa a pianta basilicale a quattro navate asimmetrica con un campanile addossato alla navata di destra.

Lo stile della chiesa è gotico romano, infatti internamente presenta archi tipici della prima metà del 300.

Ogni navata ha uno sviluppo in altezza differente, la più alta risulta quella centrale, di conseguenza la copertura seguirà tali quote.

Dalle informazioni ricavabili dalla scheda di censimento CEI-A è possibile ricavare le seguenti informazioni:

- FACCIATA: La facciata principale, realizzata in mattoni, è scandita verticalmente da quattro paraste, sormontate da pinnacoli, che suddiviso il fronte in tre parti corrispondenti alle tre navate interne. Il corpo centrale, di altezza maggiore, è caratterizzato dal portale d'ingresso rifatto in epoca barocca in sostituzione di un

precedente con ghimberga, a cui si accede tramite una scalinata neogotica ottocentesca suddivisa in due rampe, l'una parallela al fronte, la seconda perpendicolare. Al centro si apre un grande rosone realizzato nel XIX secolo in sostituzione di una trifora. Un fregio ad archetti pensili laterizi modulari corona la sommità sia del corpo centrale, cuspidato, che delle navate laterali a spiovente. Alla sinistra, leggermente rientrante, si erge il fronte della quarta navata aggiunta nel corso del XV secolo, anch'esso in mattoni facciavista, caratterizzato dalla presenza di una grande monofora a sesto acuto.

- INTERNI: La pianta conserva l'originario assetto a tre navate scandite da pilasti polilobati reggenti volte a sesto acuto nervate, a cui venne aggiunta nel corso del XV secolo un'ulteriore navata laterale a sinistra su cui si aprivano cappelle (poi demolite nel corso del XIX secolo). In testa alle quattro navate si apre, al centro, il grande presbiterio rifatto nel corso del XVIII secolo, affiancato da tre cappelle, due delle quali conservano traccia delle decorazioni originarie, mentre in capo alla quarta navata si apre una cappella seicentesca che conserva decorazioni plastiche attribuibili a maestrante luganesi. Sul fianco sinistro, in corrispondenza del transetto, si apre un'ampia cappella che conserva un altare barocco e decorazioni neogotiche ottocentesche. Alla destra dell'ingresso principale, alla base del campanile, si conserva un ambiente voltato a crociera, sulle cui pareti son ancora presenti lacerti di antichi affreschi medioevali, entro il quale e collocato in fonte battesimale marmoreo. Lungo le pareti delle navate laterali si trovano confessionali lignei ottocenteschi.
- PRESBITERIO: Il presbiterio venne rifatto intorno al 1745. E' ornato da paraste corinzie sorreggenti elementi plastici a foggia di architrave da cui si erge una volta a botte lunettata, scandita da sott'archi, che si conclude nel catino absidato. Tutte le superfici sono decorate con un ricco apparato plastico incorniciante dipinti su tela. Nella zona absidale si trova il ricco coro in legno scolpito ed intagliato opera di Giuseppe Antonio Riva sormontato dalla pala d'altare d'ambito beaumontiano. Al centro della zona presbiteriale si ergeva un ricco altare in marmi policromi, poi spostato nella navata laterale destra nel corso dei lavori di restauro eseguiti nel terzo quarto del XX secolo.
- CAMPANILE: Sulla navata laterale destra, in corrispondenza della facciata principale, si erge l'alto campanile realizzato in mattoni facciavista. Venne compiuto successivamente all'edificazione della chiesa, probabilmente con uso anche di torre civica. È caratterizzato da una cella campanaria che presenta aperture diverse sui vari fronti, quali una monofora a tutto sesto sul fronte principale mentre è presente una

bifora a tutto sesto sul fonte laterale destro. Presenta una copertura tradizionale in coppi, forse nata come provvisoria in vista di un completamento successivo della struttura, in realtà non più eseguito.

5.1.1 Sviluppo architettonico della chiesa – integrazione dei dati

Volendo basare le ricerche solo sulle informazioni ricavate dalla scheda di censimento CEI-A non avremmo abbastanza materiale per delineare un quadro storico-geografico del manufatto. In primis sono stati consultati i seguenti elaborati di tesi : "Edifici storici a pianta basilicale: analisi con modelli meccanici e valutazione degli effetti a lungo termine" (Conti 2017/2018) e "Miglioramento sismico della Chies Collegiata di Moncalieri" (Cannizzaro 2017/2018). In questi elaborati sono state fatte ricerche presso l'Archivio Arcivescovile, l'Archivio Storico, la Biblioteca Civica di Moncalieri e l'Archivio della Parrocchia di Santa Maria della Scala. Inoltre, ulteriori ricerche sono state fatte presso il Comune di Moncalieri e la Soprintendenza dei Beni Architettonici.

Nonostante il materiale reperito, la ricostruzione della storia dell'edificio è difficile, in quanto non si hanno notizie e datazione certa in merito alla sua costruzione. Infatti, la documentazione antecedente il XIX secolo risulta molto frammentaria e priva di informazioni rilevanti, ma da trattati storici risulta che la Chiesa è stata costruita dopo la distruzione di Testona. Questo provocò una migrazione della popolazione verso Moncalieri e la necessità di spostare la sede della Collegiata, già presente in Testona, nella Chiesa di S.Maria della Scala. Questa chiesa, di cui vi è un accenno nel 1120, doveva essere molto antica, in quanto risultava nel 1300 crollante, ragion per cui venne totalmente demolita e gettate le fondazioni dell'attuale chiesa terminata nel 1336 (Cuniberti 1977).

Non si ha alcuna notizia relativa ai progettisti, infatti è stata denunciata questa mancanza di informazioni nel corso dei secoli. (Peyrot e Sineo 1969).

Nel 1400 venne aggiunta una quarta navata per assecondare l'esigenza di ospitare le cappelle delle famiglie gentilizie del paese, che nei secoli avevano contribuito all'abbellimento e mantenimento della chiesa.

Diverse testimonianze narrano la costruzione del campanile in tempi successivi alla costruzione della Collegiata, infatti si presume che esso sia stato costruito tra il 1436 e il 1441 con uno scopo differente rispetto a quello che oggi riveste, si pensa infatti a una torre civica (Becchis 1950). Nel libro "La Chiesa Collegiata di Santa Maria della Scala a Moncalieri", Occhiena spiega che inizialmente la chiesa presentava un impianto con tre absidi, di cui oggi solo quello di destra è ancora esistente, mentre quello centrale è stato demolito nel 1745 per far spazio a un coro ligneo e quello sinistro per far spazio alla cappella della famiglia Lingotto (solo nel XX secolo, la cappella sarebbe tornata ad ospitare, come in origine, le reliquie del patrono di Moncalieri, Beato

Bernardo Baden), (Occhiena 1991). Questa notizia viene descritta anche nella scheda di censimento CEI-A ma è datata 1749.

Dalla metà dell' '800 sono stati eseguiti lavori di valenza più importante. In particolare dalla scheda CEI-A risulta solo che nel 1844 venne costruita la cappella dedicata a SS.Sacramento e effettuate lavorazioni che avrebbero permesso di dar forma agli interni della chiesa.

Mentre dalle ulteriori ricerche bibliografiche risultano i seguenti interventi:

- 1846: lavori di sottomurazione di gran parte della chiesa che risultava in pericolo di rovina (Becchis 1950) e demolizione delle cappelle della chiesa, scaturita dal mancato pagamento di somme da parte dei proprietari per lavori di restauro di queste.
- 1857: lavori di modifica della scalinata di accesso e apposizione del rosone circolare sulla facciata e lavori di rinforzo di quest'ultima;

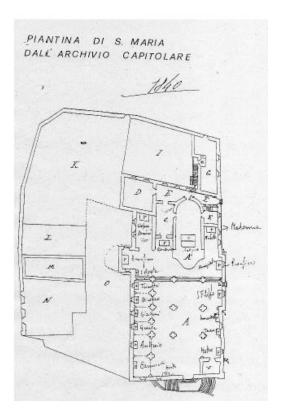


Figura 5-2 Planimetria della Chiesa Collegiata, con i nomi delle cappelle, Archivio storico di Moncalieri, 1840

Nella seconda metà del 900 invece, gli interventi sono stati portati avanti dagli architetti Bellei a partire dal 1963 (non si ha nessuna informazione di questi nelle schede CEI-A). I lavori sono durati cinque anni e hanno previsto (Occhiena 1991):

- Asportazione di tutta la decorazione in flamboyant;
- Ripulitura con sabbiatrice di tutte le parti già intonacata;
- Intonacature delle porzioni di muro con calce stagionata da sei mesi, la parte in cotto a vista trattata con idrorepellente per fermare il processo di cancerizzazione del mattone;

- Esecuzione dei calchi di tutte le modanature e indagini di procedimento costruttivo usato in passato, necessaria per un'integrazione omogenea ma distinguibile delle parti mancanti o ammalorate;
- Riaperture delle finestre chiuse lungo la navata aggiunta;
- Sistemazione della fiancata di levante con raddrizzamento del muro interno;
- Risistemazione del presbiterio e altare maggiore;
- Sistemazione dell'ingresso principale della chiesa;
- Sistemazione della prima cappella absidale a sinistra;
- Sistemazione del battistero alla base del campanile;
- Valorizzazione del gruppo statuario del Cristo morto;

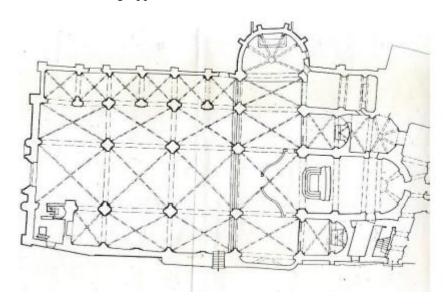


Figura 5-3 Planimetria ad opera degli architetti Bellei, antecedente il 1963 (Soprintendenza di Torino, allegato alla lettera n.8477,21 maggio 2007)

Inseguito sempre nella seconda metà del 900, in particolare nel 1979 è stato riparato il tetto a causa di bufere primaverili che hanno provocato ingenti danni e nel 1980 sono state annoverate lesioni sull'angolo tra la facciata e via Santa Croce e lesioni sulla facciata di via Santa Croce.

5.2 Valutazione dell'indice di vulnerabilità attraverso la scheda "chiese" di secondo livello

Si specifica, che le informazioni di natura tecnica utilizzate per la compilazione della scheda chiese di secondo livello che segue, sono state tratte dagli elaborati di tesi magistrale dal titolo "Edifici storici a pianta basilicale: analisi con modelli meccanici e valutazione degli effetti a lungo termine" (Conti 2017/2018) e " Miglioramento sismico della Chies Collegiata di Moncalieri" (Cannizzaro 2017/2018).

Prima di descrivere l'analisi effettuata vengono mostrate le dimensioni geometriche principali di interesse:

B, larghezza complessiva della pianta : 31.8 m L,lunghezza complessiva della pianta : 60.4 m

H, altezza della facciata esclusa dalle falde di copertura: 15.4 m

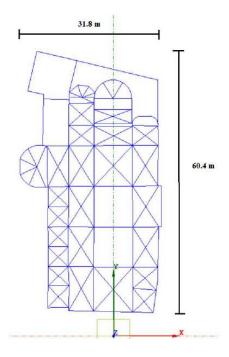


Figura 5-4 Pianta della Chies di Santa Maria della Scala, da rilievo laser scanner (Conti 2017/2018)

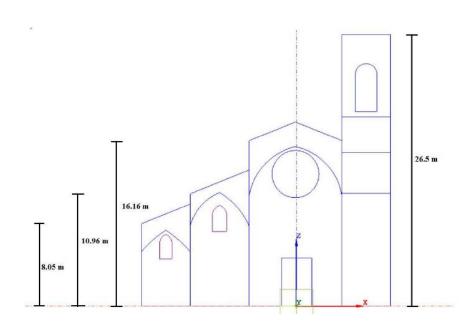


Figura 5-5 Facciata della Chiesa si Santa Maria della Scala, da rilievo con laser scanner (Conti 2017/2018)

Vengono qui descritti ed esaminati i risultati ottenuti applicando questa scheda alla Collegiata. È opportuno specificare che in questa analisi, non avendo fatto riferimento a nessun sisma in particolare, non è stato valutato l'indice di danno, perché non sono stati riscontrati danni visibili tali da effettuare un'accurata analisi.

Naturalmente, in tutti i casi in cui non si è riusciti a reperire dati certi, richiesti dalla scheda, si è ipotizzato un comportamento che verrà specificato ogniqualvolta si presenta.

Per la compilazione della scheda, per tutti i meccanismi, è stata usata questa simbologia:

- Colore blu: dati ricercati e con un grado di certezza più alto
- Colore rosso: dati ipotizzati

• M1. Ribaltamento della facciata

Per capire cosa influenza questo meccanismo è opportuno effettuare alcune assunzioni, ipotizzando le cause di tale scenario.

Non avendo notizie certe in relazione alla qualità muraria, si è supposto che la muratura non sia di qualità scadente e che quindi questo meccanismo non produca una frantumazione completa della facciata.

Inoltre, è stata valutata anche la qualità delle condizioni di vincolo della facciata con le pareti longitudinali, ma non avendo strumenti per una valutazione dell'efficacia dei sistemi stessi che garantirebbero un buon livello di ammorsamento, questo dato è stato ipotizzato.

Si è quindi svolta l'analisi considerando un buon ammorsamento di grado discreto, ma nonostante questo permetta di aumentare il grado di sicurezza, si rende necessario un certo livello di protezione sismica, infatti all'interno della Collegiata sono presenti catene in corrispondenza della facciata. Queste permettono anche di bilanciare le spinte che i sistemi di copertura impartiscono sulle pareti, che potrebbero creare una crisi del meccanismo più accentuata nel caso di un effettivo cattivo ammorsamento tra le pareti. Infatti, è opportuno, per un'analisi più accurata, valutare l'entità di queste spinte e il loro

Infatti, è opportuno, per un'analisi più accurata, valutare l'entità di queste spinte e il loro punto di applicazione.

Se fosse presente un buon ammorsamento tra la facciata e le pareti laterali, non si avrebbe un completo ribaltamento della facciata, ma solo la formazione di lesioni nelle pareti trasversali alla facciata che opererebbero da controvento.

Nella valutazione di questo meccanismo si è intesa la copertura come l'insieme degli elementi costituenti il tetto (legno e coppi), in modo tale da non sottovalutare l'apporto del carico gravante sugli elementi verticali. Nell'analisi infatti, le volte in muratura costituiscono un elemento di vulnerabilità in quanto scaricano il peso proprio direttamente sulla facciata, in particolare sui pilastri addossati a quest'ultima. Esse però,

non scaricano sulla sommità del timpano in quanto il contributo instabilizzante lo esercitano con una spinta orizzontale che interessa la facciata fuori dal piano.

Per questo nella realtà bisognerebbe trovare il baricentro di tutti questi elementi spingenti (copertura, volte, archi) per stimare il punto di applicazione e l'entità della forza orizzontale che entra in gioco.

Il meccanismo coinvolge tutta la facciata, ragion per cui la presenza di grandi aperture quale il rosone centrale potrebbe accentuare una rottura per ribaltamento con formazione di lesione centrale.



Figura 5-6 Meccanismo 1 - Scheda "chiese" II livello

• M2. Meccanismi nella sommità della facciata

Questo meccanismo coinvolge la porzione di parete illustrata in figura 5-7, cioè quella coincidente con la navata centrale nella sua parte più alta.

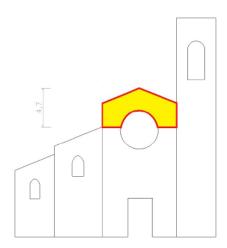


Figura 5-7 Sezione coinvolta nel meccanismo (Cannizzaro 2017/2018)

Per capire cosa influenza questo meccanismo è opportuno effettuare alcune assunzioni, ipotizzando le cause di tale scenario.

Non avendo modo di ispezionare la copertura non si ha la possibilità di valutare la presenza di collegamenti puntuali con la copertura e la presenza di cordoli leggeri (in

quanto si è supposta una copertura pesante con cordoli rigidi) che si assumono non esserci, inoltre da ricerche effettuate precedentemente in altri elaborati di tesi è possibile confermare che non sono presenti controventi di falda (Conti 2017/2018).

Come precedentemente descritto, non avendo notizie certe in relazione alla qualità muraria, si è supposto che la muratura non sia di qualità scadente e che l'ammorsamento sia di buona qualità di grado discreto.

Questo meccanismo potrebbe facilmente attivarsi in quanto è presente un punto debole in corrispondenza del grosso rosone frontale.

In termini di peso del muro e altezza della copertura, relativamente all'area evidenziata nella figura 5-6 si ha che:

W _{muro} [kN]	H _{cop} [kN]
668.11	21.01

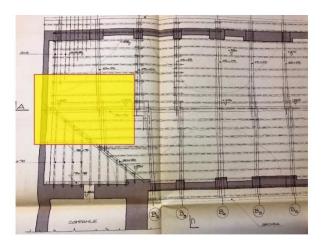


Figura 5-8 Copertura interessata nella valutazione del meccanismo (Conti 2017/2018)

Considerando gli indicatori di vulnerabilità di cui è dotato il macroelemento, appurato già la presenza di un rosone in facciata, è stato calcolato il peso della sommità a vela pari a 161 kN.

La copertura, nel presente caso, scarica prevalentemente sulle pareti longitudinali, ma non è da trascurare il contributo che parte del peso proprio della copertura a due falde scarica direttamente sul corpo della facciata. Infatti, essa poggia direttamente sulla trave longitudinale che scarica direttamente sul timpano.



Figura 5-9 Meccanismo 2 - Scheda "chiese" II livello

• M3. Meccanismo nel piano della facciata

Nella valutazione di questo meccanismo sono state riprese molte considerazioni fatte nei meccanismi precedenti, tra le quali quella relativa al peso della copertura gravante sulla facciata. Nella valutazione di questa, si è notato come le volte non sono da considerarsi elementi facenti parte della copertura in quanto queste scaricano sui pilastri addossati alla facciata e inglobati in essa. La loro componente verticale infatti, può essere considerata come un contributo stabilizzante, localizzato proprio in corrispondenza dei due pilastri addossati alla facciata.

Tuttavia, come descritto nel meccanismo precedente, c'è una componente di peso della copertura a due falde che scarica il suo peso direttamente sulla facciata attraverso il puntone.

Tra i corpi addossati alla facciata si suppone anche la presenza del campanile per due dei quattro lati.

Nella figura 5-11 si evidenziano le parti di volta che influiscono sulla facciata.

E' stata valutata anche l'area di fori in relazione all'area totale della facciata per stimare l'effettiva influenza delle aperture sull'attivazione del meccanismo.

A _{fori} [m ²]	$A_{tot}[m^2]$
668.11	21.01

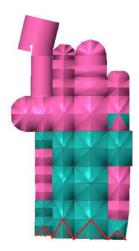


Figura 5-10 Volte che influiscono sulla facciata (Conti 2017/2018)

L'analisi relativa a questo macroelemento si è conclusa con la valutazione della snellezza di quest'ultimo.

Dai dati ricavabili da (Conti 2017/2018) riportati in tabella, confrontati con le direttive dell'E8 (UNI EN 1998-1 Marzo 2005), è possibile stabilire che non è presente un'elevata snellezza della facciata.

B/L	Compattezza in pianta	0,53
H/B	Snellezza massima	0,48
H/L	Snellezza minima	0,25

Figura 5-11 Rapporti di compattezza e di snellezza della Collegiata di Santa Maria della Scala (Conti 2017/2018)



Figura 5-12 Meccanismo 3 - Scheda "chiese" II livello

M5. Risposta trasversale dell'aula

Questo meccanismo coinvolge le pareti divisorie tra le navate studiate nel loro comportamento trasversale molto influenzato dalla presenza di volte e archi e dall'apporto della copertura su di esse.

Il sistema di copertura nonostante non scarichi direttamente sulle porzioni trasversali, ma su quelle longitudinali, presenta a livello locale alcuni punti in cui lo scarico avviene anche sul alcuni setti di ripartizione trasversale. Naturalmente il tutto avviene in maniera limitata finalizzata esclusivamente a garantire una stabilità della travatura in legno.

Infine, per questa analisi semplificata si sono studiati i sistemi trasversali (volte e archi) dell'aula con comportamento a portale multicampata invece che ad arco. Questa scelta è stata basata sul fatto che le larghezze delle navate non sono tanto diverse tra loro e che i loro sistemi di copertura sono molto simili. Infatti, le sezioni di interesse (T3, T5, T7, T8, T9) segnate in figura 5-15 sono pressoché identiche.

Essendo però le altezze delle tre navate diverse, è stato necessario considerare un'altezza media.

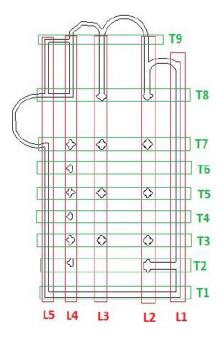


Figura 5-13 Pianta della Collegiata (Cannizzaro 2017/2018)

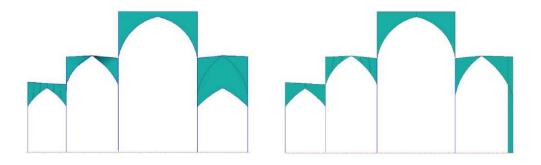


Figura 5-14 Sezione T3-T5 (Conti 2017/2018)

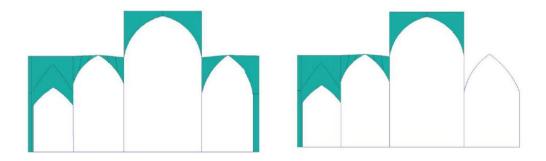


Figura 5-15 Sezione T7-T8 (Conti 2017/2018)

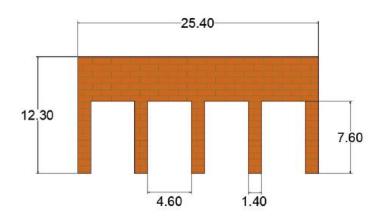


Figura 5-16 Sezione trasversale semplificata con schema di portale multicampata (Conti 2017/2018)

Nella valutazione dei presidi antisismici si è considerato l'inserimento delle catene che non è di datazione certa, ma si attribuisce alle lavorazioni e modifiche apportate dal Bellei. All'indomani di questi interventi si nota una ridistribuzione degli spostamenti specialmente nella parte centrale. Infatti, l'inserimento delle catene concentra l'effetto delle volte al centro della Collegiata, spostando l'effetto massimo proprio sui muri divisori tra le navate, specialmente in corrispondenza di quella centrale. Questo è uno dei casi in cui la presenza di catene non risulta essere un presidio antisismico del tutto efficace.



Figura 5-17 Meccanismo 5 – Scheda "chiese" di II livello

• M6. Meccanismi di taglio nelle pareti laterali (risposta longitudinale)

Per lo studio di questo meccanismo è opportuno effettuare alcune assunzioni, ipotizzando che nella valutazione dei presidi antisismici si consideri una muratura uniforme e di buona qualità riconducibile a un'unica fase costruttiva, la presenza di buoni architravi nelle aperture e la totale assenza di cordoli leggeri.

Inoltre, di notevole aiuto è stato l'ausilio di un modello 3D della Collegiata il cui modello base è stato trovato online (https://3dwarehouse.sketchup.com) e modificato e adattato alle caratteristiche attuali della Chiesa. Questo permette di mostrare chiaramente tutte le aperture di entrambe le facciate laterali, quella su via Vittorio Alfieri e su via Principessa Clotide. Su quest'ultima sono visibili delle aperture tamponate. Non si hanno informazioni precise circa il periodo in cui sono state chiuse.

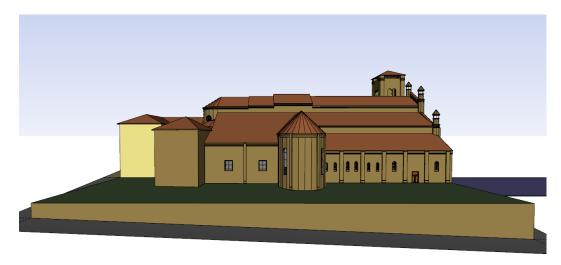


Figura 5-18 Prospetto su Via Vittorio Alfieri, modello base preso da (https://3dwarehouse.sketchup.com)

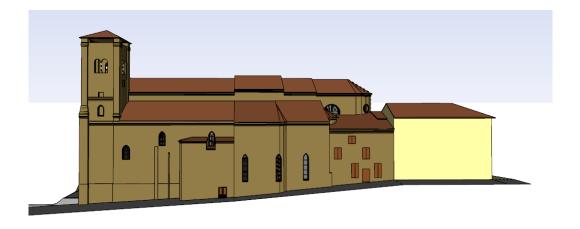


Figura 5-19 Prospetto su Via Principessa Clotide, modello base preso da (https://3dwarehouse.sketchup.com)

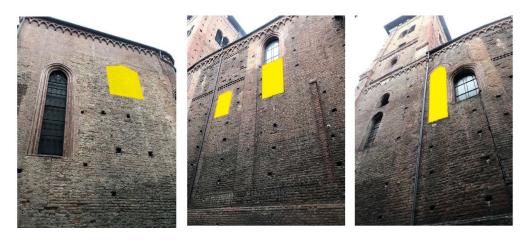


Figura 5-20 Segni di aperture sulle pareti esterne di via Principessa Clotilde (Conti 2017/2018)

In relazione alle coperture laterali, come già precedentemente descritto, parte della copertura scarica localmente sulle porzioni trasversali. Questa quota di carico non viene naturalmente considerata anche per le porzioni longitudinali. Andare a valutare effettivamente il peso di questa porzione di copertura che incide sul prospetto longitudinale non è facile, si farà perciò l'assunzione di poter considerare comunque l'area di copertura influente sulle pareti a favore di sicurezza.



Figura 5-21 Meccanismo 6 - Scheda "chiese" di II livello

• M7. Risposta longitudinale del colonnato nelle chiese a più navate

Per lo studio di questo meccanismo sono state fatte delle assunzioni relative esclusivamente agli elementi presenti, tra cui la presenza di volte pesanti e la copertura pesante in c.a. Non potendo effettuare delle indagini così invasive nei locali del sottotetto per appurare determinati fattori, i pesi attribuiti a queste voci sono stati ipotizzati in linea alle considerazioni precedentemente effettuate.

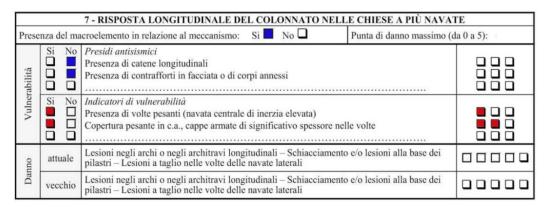


Figura 5-22 Meccanismo 7 – Scheda "chiese" di II livello

• M8, M9. Volte della navata centrale e delle navate laterali

Le considerazioni effettuate per il meccanismo M8 della navata centrale sono le stesse effettuate per l'M9 per le navate laterali. Come precedentemente descritto la posizione delle catene delle catene concentra l'effetto delle volte al centro della Collegiata, spostando l'effetto massimo proprio sui muri divisori tra le navate, specialmente in corrispondenza di quella centrale. Questo comporta che gli spostamenti massimi e quindi le tensioni massime siano in corrispondenza delle zone sopra i pilastri.

In merito alla conformazione e costruzione delle volte non si hanno molte notizie, in quanto ispezionare questi elementi risulta complicato nella maggior parte dei casi, perciò si è ipotizzato solo, grazie anche a considerazioni fatte precedentemente e grazie ad assunzioni visive, che le lunette possano essere di dimensioni abbastanza grande da poter influenzare la vulnerabilità del macroelemento.



Figura 5-23 Meccanismo 8 - Scheda "chiese" di II livello



Figura 5-24 Meccanismo 9 - Scheda "chiese" di II livello

• M10, M11, M12. Ribaltamento delle pareti di estremità del transetto, Meccanismi di taglio nelle pareti del transetto, Volte del transetto

Questi meccanismi non sono stati presi in analisi in quanto essendo la pianta rettangolare, le pareti di estremità del transetto non sporgono oltre la soglia delle facciate laterali che sono stata già analizzate nei meccanismi precedenti.

La sporgenza relativa al lato sinistro della Collegiata è una cappella e verrà successivamente descritta nel meccanismo M22.

Inoltre, anche le volte del transetto sono state analizzate tra le volte delle navate laterali.

• M13. Archi trionfali

La collegiata di Santa Maria della Scala doveva nascere con un impianto simmetrico a tre navate che dovevano terminare tutte con tre absidi. Oggi però è visibile solo quella di destra in quanto l'abside a completamento del presbiterio e della sacrestia posta nella navata di sinistra sono poste in maniera arretrata rispetto alla conformazione iniziale.

Pertanto, nell'impianto della chiesa sono presenti tre situazione di arcate trasversali ma solo quella centrale è riconducibile a un arco trionfale.



Figura 5-25 Arco di trionfo della navata centrale (Conti 2017/2018)

In pianta sulla destra non si osservano corpi addossati, in quanto l'abside destro termina prima dell'abside centrale, mentre sulla sinistra si hanno il setto trasversale sopra l'arco a tutto sesto da cui parte la volta a crociera dell'abside della navata laterale e la parete che divide la Sacrestia con il corpo a pianta pseudo quadrata.

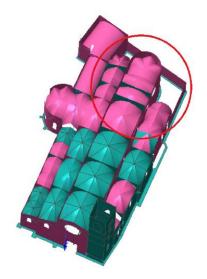


Figura 5-26 Modello raffigurante la zona di interesse relativo all'arco di trionfo (Conti 2017/2018)

Tra i presidi antisismici presi in considerazione sono stati valutati la presenza di catene in prossimità del macroelemento e anche l'effetto probabilmente stabilizzante derivante dalle volte che scaricano sui pilastri.

Infine, con buona probabilità, si nota dalla conformazione della copertura in prossimità del macroelemento, che parte di essa, scarica in direzione trasversale, in particolare verso la porzione delle campate laterali.



Figura 5-27 Meccanismo 13 - Scheda "chiese" di II livello

M16. Ribaltamento dell'abside

In relazione a quanto detto nel meccanismo precedente anche l'abside presenta elementi di contrasto, sul lato sinistro si trova il setto trasversale sopra l'arco a tutto sesto da cui parte la volta a crociera dell'abside della navata laterale e la parete che divide la Sacrestia con il corpo a pianta pseudo quadrata e sul lato destro non è ben chiaro se il complesso adiacente sia del tutto addossato alla chiesa.

Inoltre, sempre a seguito delle considerazioni fatte per i macroelementi precedenti, le volte sono state considerate spingenti.



Figura 5-28 Meccanismo 16 - Scheda "chiese" di II livello

• M17. Meccanismi di taglio nel presbiterio o nell'abside

I presupposti di questa analisi prevedono che si consideri una muratura uniforme e di buona qualità, inoltre non avendo notizie certe sulla qualità degli architravi nelle aperture sono stata reputate di qualità modesta.

Le aperture nel presbiterio non sono da considerarsi un indicatore di vulnerabilità importante, in quanto non grandi, ma essendo presenti, a favor di sicurezza, sono state considerate nella valutazione.



Figura 5-29 Meccanismo 17 - Scheda "chiese" di II livello

• M18. Volte del presbiterio o dell'abside

Anche per il presbiterio sono state effettuate le stesse considerazioni fatte per i meccanismi M8, M9, M12, ipotizzando uno stile di costruzione simile per tutte le volte.

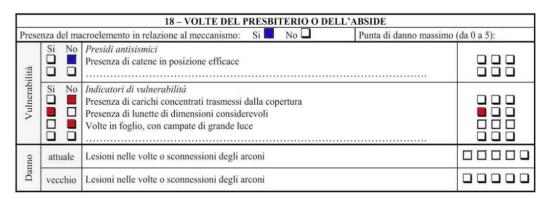


Figura 5-30 Meccanismo 18 - Scheda "chiese" di II livello

• M19, M20, M21. Meccanismi negli elementi di copertura – pareti laterali dell'aula, transetto, abside e presbiterio

Le considerazioni fatte per questi tre meccanismi sono le medesime.

La copertura della Collegiata segue la geometria e le differenze di quota delle navate che costituiscono la pianta. La navata centrale è a doppia falda, quella laterale è un'unica falda inclinata e si trova a una quota minore rispetto alla copertura della navata centrale, mentre quella del presbiterio si divide in quattro spicchi triangolari.

La copertura della navata centrale è costituita da capriate alla piemontese posizionate in corrispondenza dell'inizio e della fine di ogni volta e poggiano sui macroelementi longitudinali. La navata centrale presenta tre volte con una copertura che presenta la

stessa quota che si innalza in corrispondenza dell'arco trionfale, per poi riabbassarsi nelle piccole volte finali.

La copertura è in legno di rovere per tutti i macroelementi (navata centrale, transetto, abside).

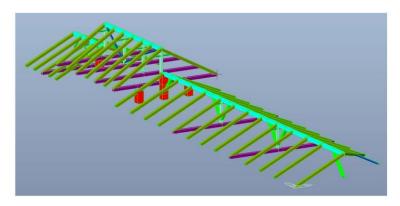


Figura 5-31 Copertura della navata centrale (Cannizzaro 2017/2018)

Dalla figura 5-33 si nota che i componenti in verde chiaro sono le saette che mantengono la capriata nel piano e sono soggetti solo a sforzi di compressione, gli elementi in rosso sono dei piccoli pilastri in muratura che gravano sopra i macroelementi trasversali e sono gli unici punti in cui la copertura scarica insieme alla prima saetta che è ammorsata sulla facciata. La copertura che si trova a una quota maggiore è collegata al resto del tetto tramite due setti in muratura.

Per quanto riguarda le navate laterali, i falsi puntoni sono incastrati nella muratura del macroelemento L2 e appoggiata sulla sommità del macroelemento L1 (fig .5-34)

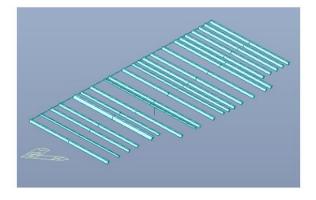


Figura 5-32 Copertura delle navate laterali (Cannizzaro 2017/2018)

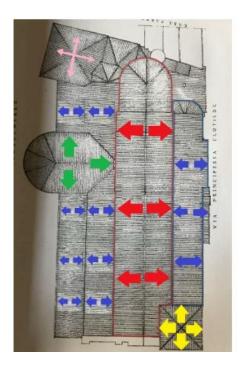


Figura 5-33 Schema di scarico della copertura (Cannizzaro 2017/2018)

Non sono presenti presidi antisismici quali la presenza di cordoli leggeri e di controventi di falda. Però negli studi precedentemente fatti in altri elaborati di tesi, in particolare nella tesi (Cannizzaro 2017/2018), si può leggere come l'introduzione di un cordolo sommitale in acciaio migliori la connessione tra i macroelementi longitudinali e quelli trasversali allo scopo di ottenere un comportamento scatolare della struttura. Inoltre, nello stesso elaborato di tesi, è presente anche una soluzione che introduce controventi nel piano inclinato di falda che consentirebbero di ottenere un elemento globale di copertura più rigido attraverso la connessione dei singoli elementi, incrementando la resistenza riguardo le azioni orizzontali.

Prese	Presenza del macroelemento in relazione al meccanismo: Si No Punta di danno massimo (
Vulnerabilità	Si	No Do	Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, c.a. sottili) Presenza di collegamento puntuale delle travi alla muratura Presenza di controventi di falda (tavolato incrociato o tiranti metallici) Presenza di buone connessioni tra gli elementi di orditura della copertura Indicatori di vulnerabilità Presenza di copertura staticamente spingente Presenza di cordoli rigidi, copertura pesante			
outage attuale vecchio			Lesioni vicine alle teste delle travi lignee, scorrimento delle stesse – Sconnessioni tra i cordoli e muratura – Movimenti significativi del manto – Sconnessioni e movimenti tra gli elementi di orditura principale Lesioni vicine alle teste delle travi lignee, scorrimento delle stesse – Sconnessioni tra i cordoli e muratura – Movimenti significativi del manto – Sconnessioni e movimenti tra gli elementi di orditura principale	00000		

Figura 5-34 Meccanismo 19 – Scheda "chiese" di II livello

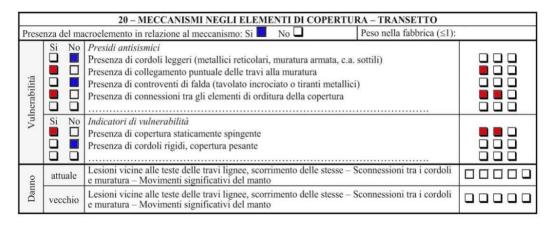


Figura 5-35 Meccanismo 20 – Scheda "chiese" di II livello



Figura 5-36 Meccanismo 21 – Scheda "chiese" di II livello

• M22, M23, M24. Ribaltamento delle cappelle, Meccanismi di taglio nelle pareti delle cappelle, Volte delle cappelle

Le cappelle presenti all'interno della Collegiata sono tre: Cappella di San Filippo Neri situata nella parte sinistra a conclusione del transetto, la Cappella del Corpus Domini affiancata alla prima citata e la cappella che ospita le reliquie del Beato Berdardo di Baden situata nell'abside terminale destro.

Quella attenzionata in questa analisi è la cappella di San Filippo Neri, in quanto essendo sporgente dalla facciata laterale non è stata analizzata nei meccanismi analizzati precedenti.

La cappella è coperta da un tetto composto da due falde che si dividono in sei spicchi triangolari che seguono l'andamento circolare del muro perimetrale che presenta 4 finestre.



Figura 5-37 Cappella di San Filippo Neri (Conti 2017/2018)

			22 - RIBALTAMENTO DELLE O	CAPPELLE			
Prese	Presenza del macroelemento in relazione al meccanismo: Si ■ No □ Peso (≤1): Danno max. (0 a 5)						
Vulnerabilità	Si	No	Presidi antisismici Presenza di efficaci elementi di contrasto (contrafforti, edific Presenza di cerchiatura o incatenamento Ammorsamento di buona qualità tra la parete frontale ed i mi				
luV	Si No Indicatori di vulnerabilità Presenza di forte indebolimento per la presenza di aperture nelle pareti						
out	g attuale		Distacco della parete frontale dalle pareti laterali			00000	
ound vecchio		chio	Distacco della parete frontale dalle pareti laterali			00000	

Figura 5-38 Meccanismo 22 - Scheda "chiese" di II livello



Figura 5-39 Meccanismo 23 – Scheda "chiese" di II livello

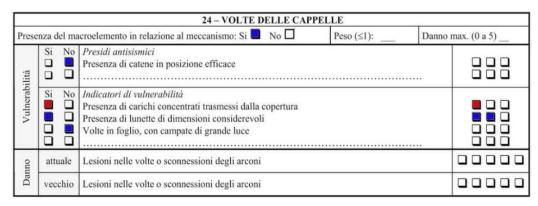


Figura 5-40 Meccanismo 24 – Scheda "chiese" di II livello

• M25. Interazioni in prossimità di irregolarità plano-altimetriche

Per l'analisi di questo macroelemento non abbiamo molte informazioni, né tantomeno la scheda di vulnerabilità e di danno è molto chiara nello specificare alcuni presidi e indicatori.

Seguendo le considerazioni fatte per le valutazioni precedenti, e sapendo che la costruzione della Collegiata non è avvenuta solo in un'unica fase costruttiva possiamo ipotizzare i seguenti risultati:

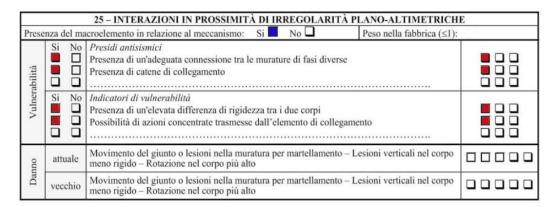


Figura 5-41 Meccanismo 25 – Scheda "chiese" di II livello

• M26. Aggetti (vela, guglie, pinnacoli, statue)

In relazione agli aggetti sono stati presi in considerazione nella valutazione solo i pinnacoli in facciata.

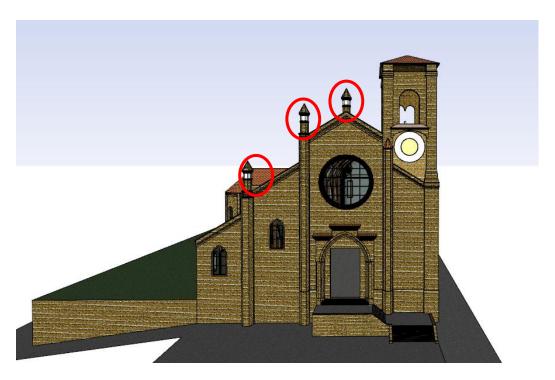


Figura 5-42 Aggetti considerati nella valutazione del meccanismo, modello base preso da (https://3dwarehouse.sketchup.com)

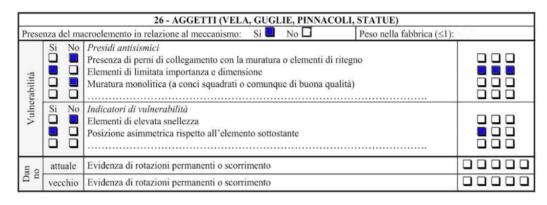


Figura 5-43 Meccanismo 26 – Scheda "chiese" di II livello

- M27, M28. Torre campanaria, cella campanaria
 - Il campanile è addossato alla facciata della chiesa, posizionato all'incrocio tra Via Cotta e Via Principessa Maria Clotilde. Esso è a pianta rettangolare, 4,3 x 3,9 m.
 - Il campanile presenta tre solai. Il primo a un'altezza di 11,09 m da terra, il secondo a 15,14 m e il terzo a 19 m sempre da terra.

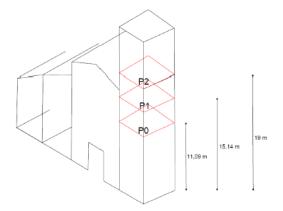


Figura 5-44 Altezze solai (Cannizzaro 2017/2018)

Il primo e il secondo solaio hanno uno schema statico a doppia orditura in cui vi sono cinque travi secondarie di diverse dimensioni che poggiano su una trave principale che non ha entrambe le estremità ben ammorsate alle murature.



Figura 5-45 Solaio piano primo (Cannizzaro 2017/2018)

Il terzo solaio presenta uno schema statico differente, infatti è costituito da quattro travi secondarie che sono la base di appoggio di un sistema di travi verticali e orizzontali che sostengono le campate.



Figura 5-46 Solaio piano terzo (Cannizzaro 2017/2018)

Il sistema di copertura della cella campanaria è formato da quattro catene in legno che poggiano sulla copertura esterna, una catena centrale orientata parallelamente alla facciata principale, quattro diagonali che conferiscono la forma della copertura più due di supporto.



Figura 5-47 Copertura cella campanaria (Cannizzaro 2017/2018)



Figura 5-48 Meccanismo 27 – Scheda "chiese" di II livello

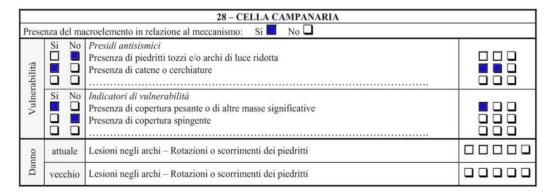


Figura 5-49 Meccanismo 28 - Scheda "chiese" di II livello

Dopo aver compilato la scheda e aver stabilito i vari pesi da dare ai presidi antisismici e indicatori di vulnerabilità è stato calcolato secondo la metodologia descritta nel capitolo 2.4.

1 Ribaltamento della facciata 2 Meccanismi nella sommità della facciata 3 Mecanismi nel piano della faccita 4 Protiro-Nartace 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0		MECCANISMI DI COLLASSO	ρk	Vk,i	Vk,p	ρk(vk,i-vk,p)	pericolosità alta
3 Mecanismi nel piano della faccita 0.5 2 1 0.5 1	1	Ribaltamento della facciata	1	2	2	0	0
4 Protiro-Nartace	2	Meccanismi nella sommità della facciata	1	2	1	1	1
S Risposta trasversale dell'aula 6 Meccanismi di taglio nelle pareti laterali 7 Risposta longitudinale del colonnato 1 1 3 0 3 3 3 8 Volte della navata centrale 1 1 0 0 1 1 9 Volte delle navata laterali 9 Volte delle navata laterali 1 0 0.75 1 0 0.75 1 10 Ribaltamento delle pareti di estremità del transetto 0 0 0 0 0 11 Meccanismi di taglio nelle pareti di transetto 0 0 0 0 0 0 12 Volte nel transetto 0 0 0 0 0 0 13 Archi trionfali 1 0 2 -2 -2 -2 14 Cupola-Tamburo/Tiburio 0 0 0 0 0 15 Lanterna 0 0 0 0 0 16 Ribaltamento dell'abside 0.75 1 1 0 0.75 1 18 Volte del presbiterio o nell'abside 0.75 1 1 0 0.75 1 19 Meccanismi in di taglio nel presbiterio o nell'abside 0.75 1 0 0.75 1 19 Meccanismi negli elementi di copertura- pareti laterali 0 0 0.75 1 10 Meccanismi negli elementi di copertura-abside e presbiterio 0.5 2 2 0 0 0 12 Meccanismi negli elementi di copertura-abside e presbiterio 0.5 2 2 0 0 0 12 Meccanismi dell' abgilo nelle pareti delle cappelle 0.25 1 1 0 0 26 Aggetti 0.25 1 3 -0.5 -2 27 Torre campanaria 1 3 1 2 2 20 0 0 22 Ribaltamento delle cappelle 0.25 1 3 -0.5 -2 27 Torre campanaria 1 3 1 2 -0.5 -1 28 Cella campanaria 1 3 1 2 -0.5 -1 15.5 Σρκ(νε,i-νε,p) 15.5 Σρκ(νε,i-νε,p)	3	Mecanismi nel piano della faccita	0.5	2	1	0.5	1
6 Meccanismi di taglio nelle pareti laterali 1 2 2 0 0 0 7 Risposta longitudinale del colonnato 1 3 0 3 3 3 8 Volte della navata centrale 1 1 1 0 1 1 1 9 Volte della navata centrale 0.75 1 0 0.75 1 10 Ribaltamento delle pareti di estremità del transetto 0 0 0 0 11 Meccanismi di taglio nelle pareti di transetto 0 0 0 0 0 12 Volte nel transetto 0 0 0 0 0 0 13 Archi trionfali 1 0 2 -2 -2 -2 14 Cupola-Tamburo/Tiburio 0 0 0 0 0 15 Lanterna 0 0 0 0 0 16 Ribaltamento dell'abside 0.75 1 1 0 0.75 1 17 Meccanismi di taglio nel presbiterio o nell'abside 0.75 1 1 0 0.75 1 18 Volte del presbiterio o dell'abside 0.75 1 0 0.75 1 19 Meccanismi negli elementi di copertura- pareti laterali 0.5 2 2 0 0 0 20 Meccanismi negli elementi di copertura- transetto 0.5 2 2 0 0 0 21 Meccanismi negli elementi di copertura- transetto 0.5 2 2 0 0 0 22 Ribaltamento delle cappele 0.25 1 1 0 0.75 -1 23 Meccanismi negli elementi di copertura- transetto 0.5 2 2 0 0 0 24 Reccanismi negli elementi di copertura- transetto 0.5 2 2 0 0 0 25 Ribaltamento delle cappele 0.25 1 1 0 0.25 -1 24 Volte delle cappelle 0.25 1 2 -0.25 -1 25 Interazioni in prossimità di irregolarità plano-altimetriche 1 2 2 0 0 0 26 Aggetti 0.25 1 3 0.05 -2 27 Torre campanaria 1 3 1 2 2 28 Cella campanaria 0.5 1 2 -0.5 -1 28 Cella campanaria 0.5 1 2 -0.5 -1	4	Protiro-Nartace	0			0	0
Risposta longitudinale del colonnato Ribaltamento delle pareti di estremità del transetto Ribaltamento delle apreti di transetto Ribaltamento dell'abside Ribaltamento delle copertura-pareti laterali Ribaltamento delle cappelle Ribaltamento dell'abside Ribalta	5	Risposta trasversale dell'aula	1	3	1	2	2
8 Volte della navata centrale	6	Meccanismi di taglio nelle pareti laterali	1	2	2	0	0
9 Volte delle navate laterali 0.75 1 0 0.75 1 10 Ribaltamento delle pareti di estremità del transetto 0 0 0 0 11 Meccanismi di taglio nelle pareti di transetto 0 0 0 0 12 Volte nel transetto 0 0 0 0 0 13 Archi trionfali 1 0 2 -2 -2 -2 14 Cupola-Tamburo/Tiburio 0 0 0 0 15 Lanterna 0 0 0 0 0 16 Ribaltamento dell'abside 0.75 1 1 0 0 0 17 Meccanismi di taglio nel presbiterio o nell'abside 0.5 1 2 -0.5 -1 18 Volte del presbiterio o dell'abside 0.75 1 0 0.75 1 19 Meccanismi negli elementi di copertura- pareti laterali 0.5 2 2 0 0 0 20 Meccanismi negli elementi di copertura-transetto 0.5 2 2 0 0 0 21 Meccanismi negli elementi di copertura-baside e presbiterio 0.5 2 2 0 0 0 22 Ribaltamento delle cappele 0.25 1 1 0 0 0 23 Meccanismi negli elementi di copertura-baside e presbiterio 0.5 2 2 0 0 0 24 Neccanismi negli elementi di copertura-baside e presbiterio 0.5 2 2 0 0 0 25 Ribaltamento delle cappele 0.25 1 1 0 0 0 26 Ribaltamento delle cappelle 0.5 2 0 1 2 27 Torre campanaria 1 1 3 1 2 2 28 Cella campanaria 1 3 1 2 2 28 Cella campanaria 5 1.5 5 $\frac{\Sigma p_k}{\Sigma p_k(\nu_{ki}-\nu_{kp})}$	7	Risposta longitudinale del colonnato	1	3	0	3	3
10 Ribaltamento delle pareti di estremità del transetto 11 Meccanismi di taglio nelle pareti di transetto 12 Volte nel transetto 13 Archi trionfali 14 0 2 -2 -2 -2 14 Cupola-Tamburo/Tiburio 15 Lanterna 16 Ribaltamento dell'abside 17 Meccanismmi di taglio nel presbiterio o nell'abside 18 Volte del presbiterio o dell'abside 19 Meccanismi negli elementi di copertura- pareti laterali 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	8	Volte della navata centrale	1	1	0	1	1
11 Meccanismi di taglio nelle pareti di transetto 0 0 0 12 Volte nel transetto 0 0 0 13 Archi trionfali 1 0 2 -2 -2 14 Cupola-Tamburo/Tiburio 0 0 0 0 15 Lanterna 0 0 0 0 16 Ribaltamento dell'abside 0.75 1 1 0 0 17 Meccanismi di taglio nel presbiterio o nell'abside 0.5 1 2 -0.5 -1 18 Volte del presbiterio o dell'abside 0.75 1 0 0.75 1 19 Meccanismi negli elementi di copertura- pareti laterali 0.5 2 2 0 0 20 Meccanismi negli elementi di copertura- transetto 0.5 2 2 0 0 21 Meccanismi negli elementi di copertura- abside e presbiterio 0.5 2 2 0 0 22 Ribaltamento delle cappelle 0.25 1 1 0 0 23 Mecca	9	Volte delle navate laterali	0.75	1	0	0.75	1
12 Volte nel transetto 0 0 0 0 13 Archi trionfali 1 0 2 -2 -2 14 Cupola-Tamburo/Tiburio 0 0 0 0 15 Lanterna 0 0 0 0 16 Ribaltamento dell'abside 0.75 1 1 0 0 17 Meccanismi di taglio nel presbiterio o nell'abside 0.5 1 2 -0.5 -1 18 Volte del presbiterio o dell'abside 0.75 1 0 0.75 1 19 Meccanismi negli elementi di copertura- pareti laterali 0.5 2 2 0 0 20 Meccanismi negli elementi di copertura- pareti laterali 0.5 2 2 0 0 21 Meccanismi negli elementi di copertura- transetto 0.5 2 2 0 0 21 Meccanismi negli elementi di copertura- abside e presbiterio 0.5 2 2 0 0 22 Ribaltamento delle cappelle 0.25 1 1 0 <	10	Ribaltamento delle pareti di estremità del transetto	0			0	0
13 Archi trionfali 1 0 2 -2 -2 14 Cupola-Tamburo/Tiburio 0 0 0 0 15 Lanterna 0 0 0 0 16 Ribaltamento dell'abside 0.75 1 1 0 0 17 Meccanismmi di taglio nel presbiterio o nell'abside 0.5 1 2 -0.5 -1 18 Volte del presbiterio o dell'abside 0.75 1 0 0.75 1 19 Meccanismi negli elementi di copertura- pareti laterali 0.5 2 2 0 0 20 Meccanismi negli elementi di copertura-transetto 0.5 2 2 0 0 21 Meccanismmi negli elementi di copertura-abside e presbiterio 0.5 2 2 0 0 22 Ribaltamento delle cappele 0.25 1 1 0 0 23 Meccanismi di taglio nelle pareti delle cappelle 0.25 1 2 -0.25 -1 24 Volte delle cappelle 0.5 2 0 1 2 25 Interazioni in prossimità di irregolarità plano-altimetriche 1 2 2	11	Meccanismi di taglio nelle pareti di transetto	0			0	0
14 Cupola-Tamburo/Tiburio 0 0 0 15 Lanterna 0 0 0 16 Ribaltamento dell'abside 0.75 1 1 0 0 17 Meccanismmi di taglio nel presbiterio o nell'abside 0.5 1 2 -0.5 -1 18 Volte del presbiterio o dell'abside 0.75 1 0 0.75 1 19 Meccanismi negli elementi di copertura- pareti laterali 0.5 2 2 0 0 20 Meccanismi negli elementi di copertura-transetto 0.5 2 2 0 0 21 Meccanismmi negli elementi di copertura-abside e presbiterio 0.5 2 2 0 0 22 Ribaltamento delle cappele 0.25 1 1 0 0 23 Meccanismi di taglio nelle pareti delle cappelle 0.25 1 2 -0.25 -1 24 Volte delle cappelle 0.5 2 0 1 2 25 Interazioni in prossimità di irregolarità plano-altimetriche 1 2 2 0 0 26 Aggetti 0.5 1 2 -0.5 -1 <td>12</td> <td>Volte nel transetto</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td>0</td>	12	Volte nel transetto	0			0	0
15 Lanterna 0 0 0 0 16 Ribaltamento dell'abside 0.75 1 1 0 0 17 Meccanismmi di taglio nel presbiterio o nell'abside 0.5 1 2 -0.5 -1 18 Volte del presbiterio o dell'abside 0.75 1 0 0.75 1 19 Meccanismi negli elementi di copertura- pareti laterali 0.5 2 2 0 0 20 Meccanismi negli elementi di copertura-transetto 0.5 2 2 0 0 21 Meccanismi negli elementi di copertura-abside e presbiterio 0.5 2 2 0 0 22 Ribaltamento delle cappele 0.25 1 1 0 0 23 Meccanismi di taglio nelle pareti delle cappelle 0.25 1 2 -0.25 -1 24 Volte delle cappelle 0.5 2 0 1 2 25 Interazioni in prossimità di irregolarità plano-altimetriche 1 2 2 0 0 26 Aggetti 0.5 1 3 -0.5 -2 27 Torre campanaria 1 3 1 <td>13</td> <td>Archi trionfali</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>2</td> <td>-2</td> <td>-2</td>	13	Archi trionfali	1	0	2	-2	-2
16 Ribaltamento dell'abside 0.75 1 1 0 0 0 1 1 Meccanismmi di taglio nel presbiterio o nell'abside 0.5 1 2 -0.5 -1 1 1 0 0.75 1 1 1 0 0.75 1 1 1 0 0.75 1 1 1 0 0.75 1 1 1 0 0.75 1 1 1 0 0.75 1 1 1 0 0.75 1 1 1 0 0.75 1 1 1 0 0.75 1 1 1 0 0.75 1 1 1 0 0.75 1 1 1 0 0.75 1 1 1 0 0.75 1 1 1 0 0.75 1 1 0 0.75 1 1 0 0.75 1 1 0 0 0.75 1 1 0 0 0.75 1 1 0 0 0.75 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	14	Cupola-Tamburo/Tiburio	0			0	0
17 Meccanismmi di taglio nel presbiterio o nell'abside 0.5 1 2 -0.5 -1 18 Volte del presbiterio o dell'abside 0.75 1 0 0.75 1 1 0 0.75 1 1 19 Meccanismi negli elementi di copertura- pareti laterali 0.5 2 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	15	Lanterna	0			0	0
18 Volte del presbiterio o dell'abside 0.75 1 0 0.75 1 19 Meccanismi negli elementi di copertura- pareti laterali 0.5 2 2 0 0 20 Meccanismi negli elementi di copertura-transetto 0.5 2 2 0 0 21 Meccanismi negli elementi di copertura-abside e presbiterio 0.5 2 2 0 0 22 Ribaltamento delle cappele 0.25 1 1 0 0 23 Meccanismi di taglio nelle pareti delle cappelle 0.25 1 2 -0.25 -1 24 Volte delle cappelle 0.5 2 0 1 2 25 Interazioni in prossimità di irregolarità plano-altimetriche 1 2 2 0 0 26 Aggetti 0.25 1 3 -0.5 -2 27 Torre campanaria 1 3 1 2 2 28 Cella campanaria 0.5 1 2 -0.5 -1 $\Sigma \rho k$ $\Sigma \rho k(Vk,i-Vk,\rho)$ $\Sigma k(Vk,i-Vk,\rho)$	16	Ribaltamento dell'abside	0.75	1	1	0	0
19 Meccanismi negli elementi di copertura- pareti laterali 0.5 2 2 0 0 0 20 Meccanismi negli elementi di copertura-transetto 0.5 2 2 0 0 0 21 Meccanismmi negli elementi di copertura-abside e presbiterio 0.5 2 2 0 0 0 22 Ribaltamento delle cappele 0.25 1 1 0 0 0 23 Meccanismi di taglio nelle pareti delle cappelle 0.25 1 2 -0.25 -1 24 Volte delle cappelle 0.5 2 0 1 2 25 Interazioni in prossimità di irregolarità plano-altimetriche 1 2 2 0 0 0 26 Aggetti 0.25 1 3 -0.5 -2 27 Torre campanaria 1 3 1 2 2 28 Cella campanaria 0.5 1 2 -0.5 -1	17	Meccanismmi di taglio nel presbiterio o nell'abside	0.5	1	2	-0.5	-1
20 Meccanismi negli elementi di copertura-transetto 0.5 2 2 0 0 0 21 Meccanismmi negli elementi di copertura-abside e presbiterio 0.5 2 2 0 0 0 22 Ribaltamento delle cappele 0.25 1 1 0 0 0 23 Meccanismi di taglio nelle pareti delle cappelle 0.25 1 2 -0.25 -1 24 Volte delle cappelle 0.5 2 0 1 2 25 Interazioni in prossimità di irregolarità plano-altimetriche 1 2 2 0 0 0 26 Aggetti 0.25 1 3 -0.5 -2 27 Torre campanaria 1 3 1 2 2 28 Cella campanaria 0.5 1 2 -0.5 -1 $\Sigma \rho k$ $\Sigma \rho k(V k, i - V k, \rho)$ $\Sigma \rho k(V k, i - V k, \rho)$	18	Volte del presbiterio o dell'abside	0.75	1	0	0.75	1
21 Meccanismmi negli elementi di copertura-abside e presbiterio 0.5 2 2 0 0 22 Ribaltamento delle cappele 0.25 1 1 0 0 23 Meccanismi di taglio nelle pareti delle cappelle 0.25 1 2 -0.25 -1 24 Volte delle cappelle 0.5 2 0 1 2 25 Interazioni in prossimità di irregolarità plano-altimetriche 1 2 2 0 0 26 Aggetti 0.25 1 3 -0.5 -2 27 Torre campanaria 1 3 1 2 2 28 Cella campanaria 0.5 1 2 -0.5 -1 $\Sigma \rho k$ $\Sigma \rho k$ 15.5 $\Sigma \rho k$ $\Sigma \rho k$ 8.25	19	Meccanismi negli elementi di copertura- pareti laterali	0.5	2	2	0	0
22 Ribaltamento delle cappele 0.25 1 1 0 0 23 Meccanismi di taglio nelle pareti delle cappelle 0.25 1 2 -0.25 -1 24 Volte delle cappelle 0.5 2 0 1 2 25 Interazioni in prossimità di irregolarità plano-altimetriche 1 2 2 0 0 26 Aggetti 0.25 1 3 -0.5 -2 27 Torre campanaria 1 3 1 2 2 28 Cella campanaria 0.5 1 2 -0.5 -1 $\Sigma \rho k$ $\Sigma \rho k$ 15.5 $\Sigma \rho k (V k, i - V k, \rho)$ 8.25	20	Meccanismi negli elementi di copertura-transetto	0.5	2	2	0	0
23 Meccanismi di taglio nelle pareti delle cappelle 0.25 1 2 -0.25 -1 24 Volte delle cappelle 0.5 2 0 1 2 25 Interazioni in prossimità di irregolarità plano-altimetriche 1 2 2 0 0 26 Aggetti 0.25 1 3 -0.5 -2 27 Torre campanaria 1 3 1 2 2 28 Cella campanaria 0.5 1 2 -0.5 -1 $\Sigma \rho k$ $\Sigma \rho k (V k, i - V k, \rho)$ 15.5	21	Meccanismmi negli elementi di copertura-abside e presbiterio	0.5	2	2	0	0
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	22	Ribaltamento delle cappele	0.25	1	1	0	0
25 Interazioni in prossimità di irregolarità plano-altimetriche 1 2 2 0 0 26 Aggetti 0.25 1 3 -0.5 -2 27 Torre campanaria 1 3 1 2 2 28 Cella campanaria 0.5 1 2 -0.5 -1	23	Meccanismi di taglio nelle pareti delle cappelle	0.25	1	2	-0.25	-1
26 Aggetti 0.25 1 3 -0.5 -2 27 Torre campanaria 1 3 1 2 2 28 Cella campanaria 0.5 1 2 -0.5 -1	24	Volte delle cappelle	0.5	2	0	1	2
27 Torre campanaria 1 3 1 2 2 28 Cella campanaria 0.5 1 2 -0.5 -1 Σρκ 15.5 Σρκ(νκ,i-νκ,ρ) 8.25	25	Interazioni in prossimità di irregolarità plano-altimetriche	1	2	2	0	0
28 Cella campanaria 0.5 1 2 -0.5 -1 Σρκ 15.5 Σρκ(νκ,i-νκ,ρ) 8.25	26	Aggetti	0.25	1	3	-0.5	-2
Σρk 15.5 Σρk(νκ,i-νκ,ρ) 8.25	27	Torre campanaria	1	3	1	2	2
Σρκ(νκ,i-νk,p) 8.25	28	Cella campanaria	0.5	1	2	-0.5	-1
		Σρκ				15.5	
$i_{V=1}/6(\Sigma p_k(v_{k,i}-v_{k,p}))/(\Sigma p_k)+1/2$ 0.5887		$\Sigma \rho k(v_{k,i}-v_{k,p})$				8.25	
		$i_{V}=1/6(\Sigma \rho k(Vk,i-Vk,p))/(\Sigma \rho k)+1/2$				0.5887	

Figura 5-50 Sintesi dei risultati ottenuti applicando la scheda chiese di II livello relativa alla Chiesa Collegiata S. Maria della Scala

In blu sono evidenziati i meccanismi che si attivano.

L'indice di vulnerabilità ottenuto è pari a 0,5887.

5.3 Confronto risultati ottenuti

È opportuno ricordare che questa valutazione è stata effettuato traendo informazioni da qualsiasi fonte necessaria e utile alla compilazione della scheda e il lavoro non si è basato solamente sull'uso della scheda CEI-A come nei capitoli precedenti.

Nonostante la soggettività dell'analisi derivante dalla differente formazione culturale di chi compila la scheda, il risultato ivi ottenuto è conforme a quanto ci si aspettava.

Essendo l'indice di vulnerabilità variabile da 0 (non vulnerabile) e 1 (altamente vulnerabile), il risultato ottenuto si mantiene in un valore poco superiore alla media che permette di confermare le valutazioni fatte nelle analisi dei capitoli precedenti e cioè che la Chiesa in esame risulta essere un caso più attenzionabile rispetto alle altre chiese di Moncalieri, in quanto ha un impianto più complesso, ma non è altamente vulnerabile dal punto di vista sismico, ragion per cui nonostante interventi necessari e utili al consolidamento strutturale, la chiesa nel corso degli anni e dei sismi subiti non ha subito gravi danni .

Inoltre, è opportuno segnalare i meccanismi ai quali è associata una vulnerabilità particolarmente influente, in quanto la differenza tra $(v_{ki}-v_{kp})$ risulta uguale o maggiore di due (Direttiva del Presidente del Consiglio 9 febbraio 2011 " Allineamento delle Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle nuove Norme tecniche per le costruzioni" .). Questi risultano essere:

- M5. Risposta trasversale dell'aula
- M25. Volte nelle cappelle
- M27. Torre campanaria

I meccanismi M5 e M27 sono risultati più influenti anche negli elaborati di tesi (Cannizzaro 2017/2018), (Conti 2017/2018) che hanno utilizzato un approccio secondo l'"OPCM 3431", in particolare seguendo l'allegato 11.C "Analisi dei meccanismi locali di collasso in edifici esistenti in muratura".

5.4 Considerazioni

Risulta necessario, a seguito dell'applicazione dell'LV1 per mezzo della scheda "chiese" di II livello, fare delle considerazioni in merito a questa.

Ciò che influenza l'analisi sopra effettuata è la soggettività delle informazioni raccolte che risulta inevitabile quando si ha che fare con tecnici di diversa formazione.

Questo viene complicato dalla richiesta di alcune informazioni molto specifiche riguardanti i presidi di alcuni macroelementi, che la maggior parte delle volte vengono ipotizzati, in quanto servirebbero interventi molto puntuali e invasivi per venire a conoscenza di determinate informazioni (vedi per esempio la richiesta del buon ammorsamento tra le pareti).

Ne consegue che la scheda, come è possibile vedere dall'analisi effettuata, ha molte informazioni incerte, ragion per cui ci sono molte sezioni colorate in rosso che non sono attribuibili a un'analisi speditiva di tipo LV1 ma ad analisi molto più dettagliate che porterebbero ad indagini molto più specifiche.

Un altro aspetto su cui è ricaduta l'attenzione e rilevabile anche in letteratura (Lagomarsino, Cattari, et al. 2018), è quello relativo al peso degli elementi. Infatti, il peso è attribuito a priori senza mettere in conto che un macroelemento possa presentarsi più volte all'interno di una chiesa. Un esempio potrebbe essere la presenza di cappelle, di geometria e caratteristiche diverse. La scheda permette di descriverne un comportamento generale, in quanto la sezione relativa alle cappelle è unica e il peso dato ad esse è unico indipendentemente dalla presenza di una o più di esse.

Sarebbe più corretto poter descriverle singolarmente e attribuire un peso a posteriori a seconda della ripetitività del macroelemento.

Infine, sono stati valutati alcuni svantaggi legati alla mancanza di flessibilità della scheda. Infatti, l'aver impostato un numero fisso di meccanismi a priori, non permette di riconoscere una varietà di possibili macroelementi ritrovabili nelle configurazioni architettoniche delle chiese internazionali (fuori Italia).

Si potrebbe quindi implementare la scheda con delle sezioni bianche compilabili a seconda della presenza di più meccanismi rispetto ai 28.

5.5 Ipotesi di ampliamento dati scheda CEI-A

A conclusione dell'LV1 applicata alla Collegiata di Santa Maria della Scala, si sono resi noti quali sono i dati necessari e più significativi che sarebbe utile reperire, qualora possibile, all'interno della scheda CEI-A, così da poter rendere facile la raccolta informazioni e magari utilizzare questa come fonte principale e attendibile per le valutazioni dei beni ecclesiastici.

Questo potrebbe essere utile non solo per analisi pre-sisma, ma rivedere determinate sezioni della scheda, potrebbe essere utile anche in fase di censimento post sisma per la compilazione delle schede di danno.

Si precisa che le considerazioni di seguito esposte sono di carattere puramente indicativo al fine di rendere più utile questo strumento per analisi più accurate su tutti i beni censiti.

La considerazione principale che ne scaturisce dallo studio attento della scheda CEI-A, deriva da una mancata standardizzazione e obbligatorietà di tutti i campi che lasciano libero lo schedatore di analizzare determinati fattori/elementi del manufatto anziché altri, in quanto non è vincolato a seguire una scaletta preimpostata dettata dalla scheda stessa.

In risposta a questa problematica, si è pensato di stabilire che tutti i campi siano obbligatoriamente compilabili dallo schedatore, che quindi dovrà seguire un iter dettato dalla

scheda che gli consente di censire tutti gli elementi e dati richiesti da questa. Qualora il campo richiesto non fosse possibile compilarlo, lo schedatore deve scrivere il motivo per cui determinate informazioni sono mancanti. In questo modo il lettore è a conoscenza di quali sono i vincoli e aspetti su cui fare ulteriori ricerche più approfondite.

Questo modus operandi permette di ricavare valutazioni e informazioni il meno personali e il più complete possibili.

A seguito di questa considerazione preliminare, le valutazioni effettuate sono le seguenti:

- Inserimento di un campo relativo alla fruizione della chiesa, suddivisa in
 - ORDINARIA: se la Chiesa è aperta tutti i giorni;
 - FESTIVA: se la Chiesa è aperta solo il sabato e domenica;
 - FERIALE: se la Chiesa è aperta solo in occorrenza della festa del suo Patrono;
- La sezione relative alle *Notizie storiche* deve contenere in tutte le schede i seguenti campi: data di costruzione, data e descrizione di tutti gli interventi di manutenzione, recupero, restauro, ristrutturazione, altro;
- Inserimento di una sezione dal nome ipotizzato DATI GEOMETRICI E MISURAZIONI
 che contenga, qualora possibile, una pianta, un prospetto, possibilmente quotati, o nel
 caso riferimenti a dimensioni e grandezze degli elementi più importanti del bene
 ecclesiastico (fig.5-51);
- La sezione Descrizione è stata rivista secondo quanto precisato nelle considerazioni iniziali e quindi è stata organizzata in modo tale che dopo una descrizione generica del bene, lo schedatore descriva tutti i campi inseriti (qualora presenti).
 In particolare, sono stati inseriti 11 campi relativi a i più importanti macroelementi caratterizzanti una chiesa, che come già precisato, permetterebbero, qualora descritti correttamente, una più semplice e accurata compilazione delle schede di danno (fig.5-51):

culto 15	5/5/2019 p.3		co - Ufficio Nazionale per i Beni culturali Ecclesiastici e l'edilizia d
	di Torino - Inventario dei beni cultu ometrici - misurazioni	ırali immobili	
Piante			
Prospett Riferime	ı nti a dimensioni/grandezze		
Descriz	zione		
DEC	Descrizione generica		
DEPN	Facciata	DEPD	Principale
	FOTO		Laterali Aggetti Altro
DEPN	Protiro/Nartace FOTO	DEPD	
DEPN	Aula centrale /Navate llaterali	DEPD	Pianta Colonnato Volte/soffito
	FOTO		Altro
EPN	Transetto	DEPD	Pianta Volte/soffito
	FOTO		Altro
EPN	Archi trionfali	DEPD	
	FOTO		
DEPN	Cupola/Tamburo-Tiburio	DEPD	
	FOTO		
DEPN	Lanterna	DEPD	
	FOTO		
DEPN	Abside	DEPD	Pianta Pareti laterali
	FOTO		Volte/soffito Altro
DEPN	Copertura	DEPD	Aula centrale/nav.laterali
	FOTO		Transetto Abside Altro
EPN	Cappelle	DEPD	Pianta Pareti laterali
	FOTO		Volte/soffito Altro
DEPN	Torre campanaria/ cella campanaria	DEPD	
	FOTO		

Figura 5-51 Fac-simile scheda CEI-A implementata di nuovi campi

Prendendo in considerazione per esempio la facciata, lo schedatore di questa dovrà descrivere quella principale e laterali con particolare attenzione alla presenza di aggetti su di esse.

Inoltre, la scheda prevede che per ogni macroelemento descritto ci sia la foto relativa a quanto descritto che deve essere visibile e chiara da parte di chi la consulta.

• La sezione *Impianti e funzionalità* dovrebbe essere accessibile da tutti (ad esclusione di dati sensibili), in quanto allo stato attuale è consultabile solo dagli utenti loggati al portale.

5.6 Rielaborazione analisi OpenQuake

A conclusione del lavoro svolto, si è voluta ripetere l'analisi svolta con la piattaforma OpenQuake descritta nel capitolo 4, soltanto per la chiesa Collegiata di Santa Maria della Scala. Questo perché l'implementazione dei dati ha permesso di dettagliare meglio la tassonomia ad essa associata.

In figura 5-52 vengono evidenziati in blu i campi dove la tassonomia subisce delle modifiche rispetto a quella calcolata nell'analisi precedente. In particolare, sono state aggiunte notizie più certe riguardanti l'altezza e l'anno di costruzione, e riguardanti la copertura e la pavimentazione.

VECCHIA TASSONOMIA

MUR/HEX:1+HBEX:0+HFAPP:14/YBET:1201,1600/ASS+ASS1/BP1/PLFR/IRRE/EWMA/RSH2

NUOVA TASSONOMIA

M99+SP99/HEX:1+HBEX:0+HFEX:16.16/YEX:1336/ASS+ASS1/BP1/PLFR/IRRE/EWMA/RSH2+RMT1+RWO+RWO2+RTDP/FM

ID	DIREZIONE	MATERIALE	RESISTENZA AL CARICO LATERALE	ALTEZZA	DATA DI COSTRUZIONE	OCCUPAZIONE
SMS	non specificata	con rinforno sconosciuto proprietà del	resistenza al carico laterale sconosciuto	numero di piani:esatto numero di piani:1 altezza dal piano terra: altezza approssimata: 16.16m	1336	assemblea: raduno religioso
tax		M99+SP99		HEX:1+HBEX:0+HFEX:16.16	YEX:1336	ASS+ASS1

BP1	PLFR	IRRE	EWMA	RSH2+RMT1+RWO+RWO2+RTDP	FM
edificio addossato su un lato	rettangolare	tipo di irregolarità: regolare	muratura	inclinato con estremità a timpano,ricoperto di mattonelle in argilla o cemento e struttura portante in legno	pietra
POSIZIONE DELL'EDIFICIO	FORMA DELL'EDIFICIO IN PIANTA	IRREGOLARITA' STRUTTURALE	MURI ESTERNI	ТЕТТО	PAVIMENTO

Figura 5-52 Dettaglio tassonomia

L'analisi è stata ripetuta nel medesimo modo, applicando gli stessi scenari di rottura, in quanto ci si voleva accertare su quanto e come i risultati potessero cambiare rispetto all'analisi precedente.

Gli scenari di rottura applicati sono (Guidoboni, et al. 2018):

- Val Pellice 1808 (55 km da Moncalieri), magnitudo 5.7, ipocentro a 25 km di profondità;
- Imperia 1887 (126 km da Moncalieri), magnitudo 6.3, ipocentro a 15 km di profondità;

Di seguito vengono mostrati i risultati della prova:

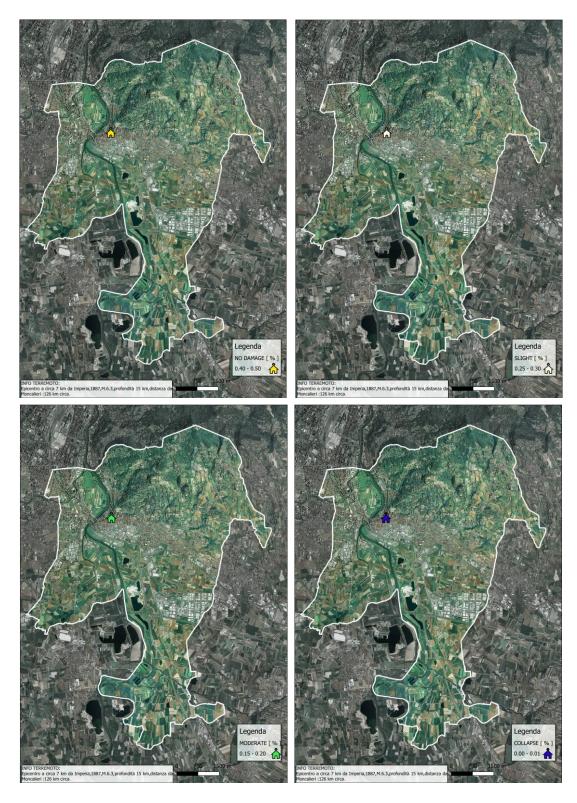


Figura 5-53 Distribuzione del danno considerando il terremoto del 1887 con epicentro a circa 7 km da Imperia

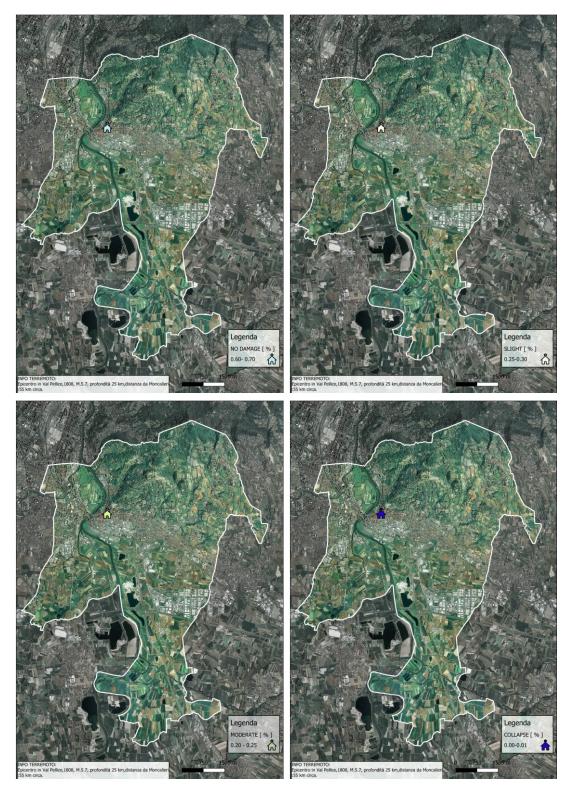


Figura 5-54 Distribuzione del danno considerando il terremoto del 1808 con epicentro in Val Pellice

Come ci si aspettava, dettagliando la tassonomia la probabilità di danno aumentano, in quanto
vengono forniti al programma più informazioni che rendono la Chiesa più vulnerabile.

Quindi le probabilità di "non danno" sono più basse, mentre le probabilità di danno lieve e moderato sono più alte. Le probabilità di collasso rimangono sempre quanto più vicine allo 0 %.

TERREMOTO VAL PELLICE								
CHIESA						DANNO		
CHILSA	STRUTTURALE	-	NO DAMAGE [%]	SLIGHT [%]	MODERATE [%]	COLLAPSE [%]		
Parrocchia di Santa Maria della Scala e	16	ANALISI CAP.4	0.70-0.80	0.20-0.25	0.15-0.20	0.00-0.01		
Sant'Egidio	10	NUOVA ANALISI	0.60-0.70	0.25-0.30	0.20-0.25	0.00-0.01		

TERREMOTO VAL IMPERIA							
CHIESA	INDICE DI COMPLESSITA'	ANALISI	DANNO				
CHIESA	STRUTTURALE	-	NO DAMAGE [%]	SLIGHT [%]	MODERATE [%]	COLLAPSE [%]	
Parrocchia di Santa Maria della Scala e	16	ANALISI CAP.4	0.50-0.60	0.20-0.25	0.10-0.15	0.00-0.01	
Sant'Egidio	10	NUOVA ANALISI	0.45-0.50	0.25-0.30	0.15-0.20	0.00-0.01	

Naturalmente i risultati ottenuti non variano di molto in quanto effettivamente la Chiesa per questi scenari di rottura non ha subito danni, ma in un'ottica di prevenzione le percentuali di danno ottenute sono molto significative. Inoltre, quello che si voleva sottolineare è come l'implementazione e la raccolta di più informazioni affini e migliori l'analisi.

Conclusioni

Le analisi svolte nel lavoro di tesi sono strumenti efficaci e utili a prevenire il rischio sismico inerente ai beni culturali ecclesiastici, al fine di promuovere la conservazione e rigenerazione del patrimonio.

Scopo complessivo dell'elaborato è proporre, non solo a tutta la comunità ecclesiastica ma agli enti locali, un metodo standardizzato che consenta una valutazione speditiva del calcolo della vulnerabilità del patrimonio religioso. Infatti, i temi e le ricerche affrontate hanno permesso di porre in evidenza quanto lavoro debbano ancora svolgere gli enti sopracitati, anche rispetto alla semplice divulgazione di informazioni necessarie e rilevanti allo svolgimento delle analisi condotte.

Il raggiungimento di tale obiettivo è inoltre strettamente legato all'importanza di creare un quadro decisionale in grado di stabilire un ordine di priorità legato ai manufatti più vulnerabili sotto il punto di vista sismico, che permetta così una pianificazione degli interventi su scala territoriale.

Come si evince dall'elaborato di tesi, le analisi svolte nel capitolo 3 e 4 sono state effettuate solo con l'ausilio dei dati reperiti nella scheda di censimento chiese CEI-A. Ciò ha costituito un limite evidente, dal momento che la presenza di dati attualmente mancanti e omessi su questa scheda avrebbe sicuramente permesso output più accurati e precisi.

A validare questa teoria è il capitolo 5.6 in cui l'analisi di danno operata attraverso il software OpenQuake è stata riproposta per la sola chiesa Collegiata di Santa Maria della Scala e Sant'Egidio: i dati utilizzati per la stessa sono stati implementati con altre iniziative di ricerca, puntualmente citate. Esse hanno permesso di creare una tassonomia più dettagliata grazie alla quale si è giunti a file output più precisi e completi, non realizzabili con i soli dati reperiti nelle schede di censimento CEI-A.

In secondo luogo, si è voluto procedere con una validazione del metodo al fine di garantire che tali analisi, al netto di un certo grado di incertezza, portino a risultati concreti: in questo caso tutte e tre le analisi presentano file di output quanto più confrontabili e accettabili possibile tra di loro. Infatti, si è notato che:

- Nella maggior parte dei casi, le chiese con un elevato indice di complessità strutturale nella prima analisi, nella seconda analisi hanno una propensione maggiore al danno;
- i casi isolati con un indice di complessità strutturale elevato ma con una propensione al danno inferiore alle aspettative avevano una scheda CEI-A compilata parzialmente. Si

è dedotto che la loro tassonomia non è completa e che l'analisi potrebbe reputarsi non del tutto precisa;

 il calcolo dell'indice di vulnerabilità attraverso un'analisi LV1 per la sola Collegiata di Santa Maria Della Scala, eseguita nella terza analisi, convalida le due analisi precedenti: infatti l'indice supera leggermente la media e ciò implica che la chiesa sia, sì più attenzionabile, ma non esposta a gravi rischi. Questo è confermato anche dalle percentuali di danno ricavabili dalla seconda analisi.

Per concludere, a seguito degli studi realizzati nella presente tesi, è possibile affermare che per poter effettuare corrette analisi di vulnerabilità tutte le diocesi dovrebbero fornire informazioni quanto più dettagliate e integrate possibile, in quanto, ad oggi, la sola scheda di censimento risulta insufficiente. Infatti, ricerche più approfondite hanno sottolineato come molti dati sarebbero reperibili facilmente da altri documenti come tesi universitarie o uffici di sovraintendenza.

L'integrazione dei dati e l'uso di tecnologie informatiche consentirebbero di fornire e condividere una rete di informazioni relative ai beni culturali ecclesiastici di una determinata area.

Inoltre, sarebbe necessario implementare tutte queste informazioni su supporti informativi geografici che permetterebbero una lettura immediata di tutte le informazioni relative a un bene. Tutto ciò porterebbe ad una replicabilità del metodo svolto per il comune di Moncalieri, in quanto un qualsiasi tecnico incaricato potrebbe facilmente ottenere e leggere i dati per condurre analisi di vulnerabilità di beni ecclesiastici su larga scala in qualsiasi area.

Infatti, queste analisi effettuate possono risultare utili agli enti comunali, regionali e alle diocesi stesse, per stimare la pericolosità e la vulnerabilità sismica, al fine di creare un sistema pronto a rispondere a qualsiasi evento sismico.

Infine, è opportuno specificare che questo lavoro di tesi potrebbe essere sviluppato ulteriormente attraverso:

- La ripetizione delle prime due analisi su scala territoriale, integrando i dati da più database disponibili e procedendo al confronto con le analisi in questa tesi effettuate;
- La ripetizione delle analisi, non utilizzando più come dati di input per il software OpenQuake curve di fragilità relative a beni monumentali-chiese di natura generica (in quanto in letteratura non sono ancora state specificate curve più dettagliate per le varie tipologie di chiese rispetto a materiali, n. navate, etc..) ma curve specifiche per ogni categoria di chiesa, e il successivo confronto con l'analisi in questa tesi effettuata;

- La valutazione e distinzione delle perdite strutturali, non strutturali e relative ai contenuti del bene;
- La valutazione dello studio delle perdite economiche causate da una serie di eventi sismici relativi a un periodo di indagine definito attraverso il *Stocastic Event Based Probabilistic Seismic Analysis* e lo *Scenario Risk Assessment*, inerente a un singolo evento sismico per un determinato numero di beni.
- La valutazione delle metodologie di miglioramento sismico e relativi interventi da porre in atto sui siti risultati più vulnerabili a seguito delle analisi su larga scala effettuate

- 136 -

Bibliografia

- Arcidiocesi di L'Aquila. CATTEDRALE DI SAN MASSIMO [Cod. m 1]. L'Aquila, 2010.
- ADB. «S. MARIA REGINA MUNDI.» 2 Maggio 2009. http://www.mariareginamundi.org/archivio/0809/terremoto.html.
- Ambraseys, N, e J Bommer. «On the attenuation of ground accelerations in Europe.» Earthquake Engineering, 10th World Conference, 1992.
- Arcidiocesi dell'Aquila. «Ricostruzione dell'Aquila, adotta un monumento da restaurare .» Recuperare e condividere. s.d. http://www.culturaebeni.it/monumenti-adottare/lista-monumenti/7-chiesa-santa-giusta.html.
- Atamturktur, S, F.M Hemez, e J.A Laman. «Uncertainty quantification in model verification and validation as applied to large scale historic masonry monuments.» *Engineering Structures*, 2012.
- Becchis, M. Appunti per la storia di Moncalieri. Moncalieri (Biblioteca civica Arduino), 1950.
- Bertolotto, C. «Moncalieri medievale:una forma urbana sui percorsi della strada di Francia.» 247-261. Torino, s.d.
- Bragato, P.L. «Assessing Regional and Site-Dependent Variability of Ground Motions.» Bulletin of the Seismological Society of America, 2009: 2950–2960.
- Brandi, Cesare. Teoria del restauro. Torino: Giulio Einaurdi editore, 1963.
- Brovelli, E. «Chiese in Umbria.Il rilievo del danno e della vulnerabilità sismica.» In *Recupero&Conservazione*, di E Brovelli, 24-35. 1998.
- Cannizzaro, A. Miglioramento sismico della Chiesa Collegiata di Moncalieri. 2017/2018.
- Carbonara, Giuseppe. «Il terremoto nel centro Italia : Ricostruzione e identità dei luoghi.» Recupero&Conservazione magazine, 148, 2018.
- Caruso, S. «Biancavilla, riapre la basilica chiusa dopo il sisma. Prete: "Per fondi da enti avremmo atteso 5 anni".» *Meridionews, Edizione Catania*. 12 Gennaio 2020. https://catania.meridionews.it/articolo/84618/biancavilla-riapre-la-basilica-chiusa-dopo-il-sisma-prete-per-fondi-da-enti-avremmo-atteso-5-anni/.
- Casapulla, Claudia. «La valutazione della sicurezza sismica delle chiese a scala territoriale.» s.d.
- Cassio, C, e M.L. Pistoi. *Moncalieri tra ieri e oggi:dalla fabbrica alla casa*. Torino: Celid, 1997.
- CEI. Censimento dei beni architettonici (progetto CEI-A). s.d. https://www.beweb.chiesacattolica.it/inventari/.
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, G.U. n.47 del 26/2/2009 suppl. ord. n.27. .

- Civerra, Claudio, Alberto Lemme, e Giandomenico Cifani. *Strumenti per il rilievo del danno e della vulnerabilità sismica dei beni culturali*. Sisma Molise 2002, 2007.
- Comune di Ferrara. «A Santa Maria della Consolazione partito il restauro che restituirà la chiesa al pubblico e al culto .» *Cronaca Comune*. 16 Settembre 2019. https://www.cronacacomune.it/notizie/37125/chiesa-di-santa-maria-della-consolazione-a-ferrara.html.
- Conti, S. Edifici storici a pianta basilicale: analisi con modelli meccanici e valutazione degli effettia lungo termine. Torino, 2017/2018.
- Cuniberti, N. Luci e ombre su Moncalieri. Moncalieri: Famia Muncaliereisa, 1977.
- D.M. 14/1/2008, pubblicato nella Gazzetta ufficiale no. 29. del 4 febbraio 2008.
- Da Porto, Francesca, Bruno Silva, Caterina Costa, e Claudio Modena. «Macro-Scale Analysis of Damage to Churches afterEarthquake in Abruzzo (Italy) on April 6, 2009.» *Journal of Earthquake Engineering*, 2012.
- De Beaumont, G.F, L Boniscontri, M Boniscontri, e C Tinivelli. *Cronaca di Testona e di Moncalieri*. Moncalieri, 1817.
- De Matteis, G, E Criber, e G Brando. «Damage Probability Matrices for Three-Nave Masonry Churches in Abruzzi after the 2009 L'Aquila Earthquake.» *International Journal of Architectural Heritage*, 2016: 120-145.
- De Matteis, G, e M Zizi. «Seismic damage prediction of mansory churches by a PGA-based approach.» *International journal of architectural heritage*, 2019.
- De Matteis, G, G Brando, G Cianchino, V Corlito, e E Criber. «The MaChro form: a new automatic tool for the survey and seismic vulnerability assessment of churches.» *ANIDIS*. Pistoia, 2017.
- De Matteis, Gianfranco, Giuseppe Brando, e Valentina Corlito. «Predictive model for seismic vulnerability assessment of churches based on the 2009 L'Aquila earthquake.» *Bullettin of earthquake engineering*, 2019.
- De Simone, R. «Ex chiesa di S. Maria in Gradi a Viterbo.» *MiBACT*. s.d. http://www.beniculturali.it/mibac/export/MiBAC/sito-MiBAC/Contenuti/MibacUnif/Comunicati/visualizza asset.html 214922853.html.
- Deliberazione della Giunta Regionale 15 febbraio 2019, n. 17-8404. «OPCM 3519/2016. DGR 19 gennaio 2010 n. 65-7656. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Piemonte.» s.d.
- DGR n. 65-7656 del 21 maggio 2014. «Individuazione dell'ufficio tecnico regionale ai sensi del D.P.R. 6 giugno 2001...rischio sismico approvate con D.G.R. 12 dicembre 2011, n. 4-3084.» s.d.

- Dipartiemento della protezione civile. «SCHEDA PER IL RILIEVO DEL DANNO AI BENI CULTURALI CHIESE.» s.d.
- Direttiva del Presidente del Consiglio 9 febbraio 2011 " Allineamento delle Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle nuove Norme tecniche per le costruzioni". .
- Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 9 febbraio 2011 per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni. pubblicata nella G.U. n° 24 del 29/01/2008 suppl. ord. n° 25.
- DM 4 Febbraio 1982. «Aggiornamento delle zone sismiche della regione Piemonte.» s.d.
- Doglioni, Francesco, Alberto Moretti, e Vincenzo Petrini. *Le chiese e il terremoto*. Trieste: Edizioni LINT, 1994.
- Ferrini, M, e A Moretti. «Istruzioni tecniche per l'interpretazione ed il rilievo per macroelementi del danno e dela vulnerabilità sismica delle chiese.» Decreto n.4666/5, Regione Toscana, 2004.
- Gazzetta di Mantova. « Mantova, salvata Santa Barbara Foto Suzzara, staccata la cupola .» *Gazzetta di Mantova* . 2 Giugno 2012.
 https://gazzettadimantova.gelocal.it/mantova/cronaca/2012/06/29/news/salvato-il-campanile-di-santa-barbara-il-progetto-pilota-di-sovrintendenza-e-vigili-del-fuoco-1.5335995.
- «Gazzetta ufficiale della Reubblica italiana, G.U.n.116,2001.» s.d.
- «Gazzetta Ufficiale n.105 dell'8 maggio 2003, Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003.» s.d.
- Giustizia, F. Le vicende architettoniche della grande chiesa capoquarto per i danni subìti dai terremoti dell'Aquila. L'Aquila, 17 Giugno 2010.
- Grunthal, G, e J. Schwarz. «Future orientated concepts of seismic load description for earthquake engineering.» *Bautechnik*, ottobre 1998: 737-752.
- Il messaggero. «Norcia: le foto. Il campanile.» *Il messaggero.* s.d. https://www.ilmessaggero.it/umbria/norcia_colpita_dal_terremoto-1926882.html.
- Lagomarsino, S. «On the vulnerability assessment of monumental buildings.» *Bull Eaarthquake Eng*, 2006: 445-463.
- Lagomarsino, S, e S Giovanizzi. «Macroseismic and mechanical models for thevulnerability and damage assessment of current buildings.» *Bull Earthquake Eng*, 2006: 415-443.
- Lagomarsino, S, e S Podestà. «Damage and vulnerability assessment of churches after the 2002 Molise, Italy, earthquake.» Luglio 2004.

- —. «Seismic vulnerability of ancient churches:II.Statistical analysis of surveyed data and methods for risk analysis.» *Earthquake spectrra*, maggio 2004: 395-412.
- Lagomarsino, S, S Cattari, D Ottonelli, e S Giovanizzi. «Earthquake damage assessment of masonry churches:proposal for rapid and detailed forms and derivation of empirical vulnerability curves.» *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2018.
- Marocco, M. Casa parrocchiale della Collegiata di Santa Maria della Scala Moncalieri. Moncalieri, 2002.
- MIBACT, Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo. *MIBACT*. s.d. https://www.beniculturali.it/mibac/export/MiBAC/sito-MiBAC/Menu-Utility/Immagine/index.html 646950133.html.
- Milandri, M. La valutazione del rischio sismico dei centri storici: il caso studio di Moncalieri. 2018/2019.
- Modena, C, F Casarin, F Da Porto, M Munari, e E Simonato. «Cultural Heritage Buildings and the Abruzzo Earthquake: Performance and Post-Earthquake Actions.» 7th International Conference SAHC 2010, At Shanghai, China. 2010.
- Montanari, T. Terremoto L'Aquila: Eni restaura Collemaggio. Esiste una questione morale? L'Aquila, 6 Settembre 2014.
- Moro, Laura. Linee Guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale. Gangemi Editore, 2006.
- Norme tecniche per le costruzioni . 14/01/2008.
- «NTC 2018.» s.d.
- Occhiena, E. La Chiesa Collegiata di Santa Maria della Scala a Moncalieri. Moncalieri (Archivio Arcivescovile Torino): Allemandi, 1991.
- Pagani, M, G Monelli, A Weatherill, e J Garcia. *The OpenQuake-Engine book:Hazard*. GEM Foundation, 2014.
- Pagani, M, H Crowley, V Silva, D Monelli, e R Pinho. «Development of the OpenQuake engine, the Global Earthquake model's open source software for seismic risk assessment.» *Nat Hazards*, 12 Marzo 2013.
- Pagani, M, V Silva, A Rao, M Simionato, e R Gee. *The openquake-engine user instruction manual*. GEM Foundation, 2018.
- Papa, S, e G Di Pasquale. «Manuale per la compilazione della scheda per il rilievo del danno ai beni culturali, Chiese MODELLO A DC.» s.d.
- Penna, Andrea, et al. «Damage to churches in the 2016 central Italy earthquakes.» *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2019.
- Petris, A. Terremoto L'Aquila: riscoperta la facciata della chiesetta Paganica. L'Aquila, 18 Maggio 2017.

- Peyrot, A, e G Sineo. *Moncalieri nei secoli. Notizie storiche e iconografiche*. Torino (Archivio della Biblioteca Civica Arduino, Moncalieri: Famia Muncaliereisa, 1969.
- Podestà, S. «Il rilievo della vulnerabilià e del danno sismico alle chiese.» s.d.
- Presidente del Consiglio dei Ministri. «Misure per il ripristino con miglioramento sismico e la ricostruzione di immobili ad uso abitativo gravemente danneggiati o distrutti dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 agosto 2016.» *Ordinanza n. 19 del 7 aprile* 2017. 2017.
- PVT. «In tempo reale.» *Il recupero dei monumenti di Carpi dopo il sisma*. 31 Luglio 2012. http://www.palazzodeipio.it/intemporeale/?cat=4.
- Redazione Estense. «Crolla parte del tetto nella chiesa di San Domenico: danni ingenti.» Estense. 4 Maggio 2018. https://www.estense.com/?p=691790.
- Redazione Newsicilia . «Terremoto del 26 dicembre: rimosse le guglie della chiesa di Santa Venerina .» *Newsicilia*. 15 Febbraio 2019. https://newsicilia.it/cronaca/terremoto-del-26-dicembre-rimosse-le-guglie-della-chiesa-di-santa-venerina-foto-e-video/393043.
- Redazione Piceno oggi. «Chiesa del Santuario dell'Ambro, il 13 marzo presentazione del progetto a Montefortino.» *Piceno oggi.* 9 Marzo 2018. https://www.picenooggi.it/2018/03/09/53311/chiesa-del-santuario-dellambro-13-marzo-presentazione-del-progetto-montefortino/.
- Redazione Radio C1 inBlu & l'appennino camerte. «Terremoto, San Martino "cade da cavallo".» Radio C1 inBlu & l'appennino camerte. 10 Novembre 2016. http://www.appenninocamerte.info/notizie-cronaca/item/4345-terremoto-san-martino-cade-da-cavallo.
- Riproduzione riservata . *Il sisma non risparmia San Francesco, crolli alla chiesa dove pregava.* 8 Novembre 2016.
- Saloustros, Savvas, Luca Pelà, Francesca.R Contraffatto, Pere Roca, e Ioannis Petromichelakis. «Analytical Derivation of Seismic Fragility Curves for Historical Masonry Structures Based on Stochastic Analysis of Uncertain Material Parameters.» *International Journal of Architectural Heritage*, 22 Luglio 2019.
- Sibilla, A. «I Monti Sibillini, il Natale e il terremoto.» *Blastingnews*. 19 Dicembre 2016. https://it.blastingnews.com/opinioni/2016/12/i-monti-sibillini-il-natale-e-il-terremoto-001338369.amp.html.
- Silva, V, H Crowley, e M Colombi. «Fragility function manager tool.» In *SYNER-G:Typology* definition and fragility functions for physical elements at seismic risk, di K Crowley, A Kaynia e M Pitilakis, 385-402. Springer, 2014.
- Soprintendenza di Torino, Archivio.Pia Davico . «" Rilievo della struttura di copertura, documentazione fotografica ", allegato alla lettera n.8885,28/6/200.» s.d.

- Sorrentino, Luigi, Laura Liberatore, Luis D. Decanini, e Domenico Liberatore. «The performance of churches in the 2012 Emilia earthquakes.» *Bull Earthquake Eng*, 2014.
- Stone, H. «Exposure and Vulnerability for seismic risk evaluations.» 2017.
- Studio Masiello strutture. «Chiesa di Santa Gemma | L'Aquila.» *Studio Masiello strutture*. 2010. http://www.smstrutture.it/portfolio_page/saint-gemmas-church/.
- Tondelli, Marco, Maria Rota, Andrea Penna, e Guido Magenes. «Evaluation of Uncertainties in the Seismic Assessment of Existing Masonry Buildings.» *Journal of Earthquake Engineering*, 2012.
- UNI EN 1998-1. Eurocodice 8 ,Progettazione delle strutture per la resistenza sismica . Marzo 2005.

