

Sisma del 6 Aprile 2009 in Abruzzo e BBCC: il caso della Chiesa di S. Silvestro a L'Aquila

Antonio BORRI - Giovanni CANGI - Mauro CARABONI - Alessandra GIANCARLO - Fabrizio MENGHINI
Laura PROCACCI - Riccardo VETTURINI

Premessa

Su invito del V. Commissario per la tutela dei BBCC in Abruzzo, Ing. Luciano Marchetti, varie Università italiane hanno studiato il comportamento degli edifici storici colpiti dal sisma del 6 Aprile 2009, con il fine di individuare i “come e perché” dei molti danni ai monumenti.

In tale ambito, un gruppo dell'Università di Perugia diretto e coordinato dal Prof. Antonio Borri e composto da allievi e docenti del Master in “Miglioramento sismico, restauro e consolidamento del costruito storico e monumentale” ha potuto esaminare alcuni importanti edifici storici (chiese e palazzi) nel centro storico della città de L'Aquila.

Il caso della chiesa di S. Silvestro, qui presentato, è stato studiato dall'Ing. Mauro Caraboni, dall'Arch. Alessandra Giancarlo e dall'Arch. Laura Procacci, insieme ai docenti del Master: Prof. Antonio Borri, Ing. Giovanni Cangì, Ing. Fabrizio Menghini, Ing. Riccardo Vetturini.

Nota importante

Lo studio del presente caso è stato condotto nelle settimane successive al sisma, “al meglio di quanto possibile”, visti i tempi previsti e la situazione di emergenza delle Istituzioni competenti (Soprintendenze in primo luogo).

Il materiale che è stato possibile reperire è stato, per questi motivi, molto limitato e spesso non verificabile. A quanto sopra occorre poi aggiungere il fatto che, per ovvie ragioni di sicurezza o di accessibilità, non è stato possibile esaminare in modo approfondito i luoghi, né indagare in modo adeguato i vari elementi.

Le analisi e le conclusioni qui presentate vengono pertanto presentate come un contributo sviluppato per quanto di meglio è stato possibile allo stato attuale, con le condizioni suddette; le osservazioni e le considerazioni proposte dovranno essere quindi attentamente verificate da parte dei possibili interessati, quando tempi e possibilità di indagine lo consentiranno.

1. L'ARCHITETTURA RELIGIOSA NELLA STORIA DE L'AQUILA

Nella città de L'Aquila si riscontra una presenza molto elevata di chiese; si contano infatti 66 edifici

di culto. Nella pianta della città del Fonticulano¹ (Figura 1.1) del 1575 vengono elevate circa 119 chiese, mentre quella del 1753 disegnata dal Vandi² (Figura 1.2) ne riporta circa 117.

Centofanti (1992) la definisce come “(...) una immagine singolare quanto significativa della città del cinquecento. Gli elementi reali sono tutti rappresentati, solo dispersi dall'interno di una maglia ortogonale primaria (gli assi di attraversamento e collegamento delle porte) e una maglia secondaria che schematizza la reale morfologia urbana. (...)”



Figura 1.1 - Pianta del Fonticulano, 1575



Figura 1.2 - Pianta del Vandi, 1753

¹ Girolamo Pico Fonticulano nasce a Fontecchio nel 1541. Nella città dell'Aquila gli fu affidato l'incarico di progettare il palazzo di Margherita d'Austria oltre che il riassetto degli edifici di rappresentanza del centro storico. A lui si deve il tracciamento e il rafforzamento degli assi urbani di via Castello-via Garibaldi e via del Corso. Questi interventi a livello urbano segnano infatti una transizione della città da una struttura policentrica organizzati per quartieri a una struttura polarizzata a scala urbana.

² Antonio Francesco Vandi, allievo di Giovan Battista Nolli.

Il cospicuo numero di chiese de L'Aquila si spiega non solo con la vitalità della locale comunità cristiana ma soprattutto analizzando il modo in cui si formano le città. Di norma la costruzione di edifici di culto si rende necessaria per un gruppo di credenti quando una zona viene urbanizzata e vengono costruiti nuovi quartieri. La primitiva città dell'Aquila, anteriore al 1259, passò per un'esperienza simile in quanto si formò per inurbamento spontaneo del colle di Accula, località all'epoca propizia per gli scambi e il commercio.

Diverso fu il caso, quando a seguito della distruzione della prima città, nel 1266 ne venne impostata una seconda seguendo un preciso programma urbanistico: questo prevedeva di riformare il centro urbano con la riunione di tutte "le castella"³ del territorio; ogni castello doveva mandare nella nuova città la popolazione più intraprendente a costruire case e chiese, la cui dimensione dipendeva dal numero di gonfalonieri⁴. Una programmazione politica ed urbanistica concepita in questo modo creò le circostanze per cui ogni castello introdusse nel nuovo centro le proprie strutture amministrative e religiose. Dal punto urbanistico e architettonico ciò comportò che venisse creata una maglia di abitazione attorno alla piazza e alla chiesa, ossia il modello dei castelli medioevali. Le chiese della seconda Aquila sorsero non in funzione delle esigenze di un quartiere ma contestualmente alle abitazioni.

Nel Medioevo a L'Aquila emersero delle competenze quasi inestricabili fra le strutture politiche e religiose, entrambe finalizzate alla salvaguardia delle libertà comunali. Questo connubio fra comunità politica e cristiana fece in modo che gli edifici parrocchiali assumessero contemporaneamente una funzione civica "laica". Infatti le chiese aquilane "intra moenia" fungevano da centri amministrativi per i gonfalonieri dei relativi castelli, integrati nel meccanismo municipale della città.

Le conseguenze sull'assetto architettonico di questa duplice funzione laica-liturgica si rivela all'osservazione dei loro impianti: appare infatti un accentuato conformismo tipologico negli schemi architettonici e un'estrema semplicità negli impianti spaziali. Le chiese parrocchiali - prima delle successive trasformazioni - si mostrano costruite in serie su due sole tipologie in pianta (Figura 1.3): l'aula unica rettangolare, coperta da capriate e l'aula senza navate laterali ma un transetto e abside; eccezioni sono rappresentate proprio a S. Silvestro che ha tre navate (costruzione tarda rispetto alla primitiva) e S. Giusta. La sterilità tipologica potrebbe anche essere attribuita al grande numero di edifici che dovevano essere innalzati; inoltre la semplicità degli spazi significava un minore sforzo finanziario, elemento da non sottovalutare perché inserito nell'economia della costruzione di una nuova città. Ma a ciò non è estranea la circostanza che questi edifici dovevano poter rivestire un carattere secolare - perciò più ordinario e funzionale che non gli ambienti riservati esclusivamente al culto - per via delle assemblee che si dovevano tenere, in genere poco raccolte e composte per uno spazio sacro.

Le chiese parrocchiali, pertanto, onde accogliere

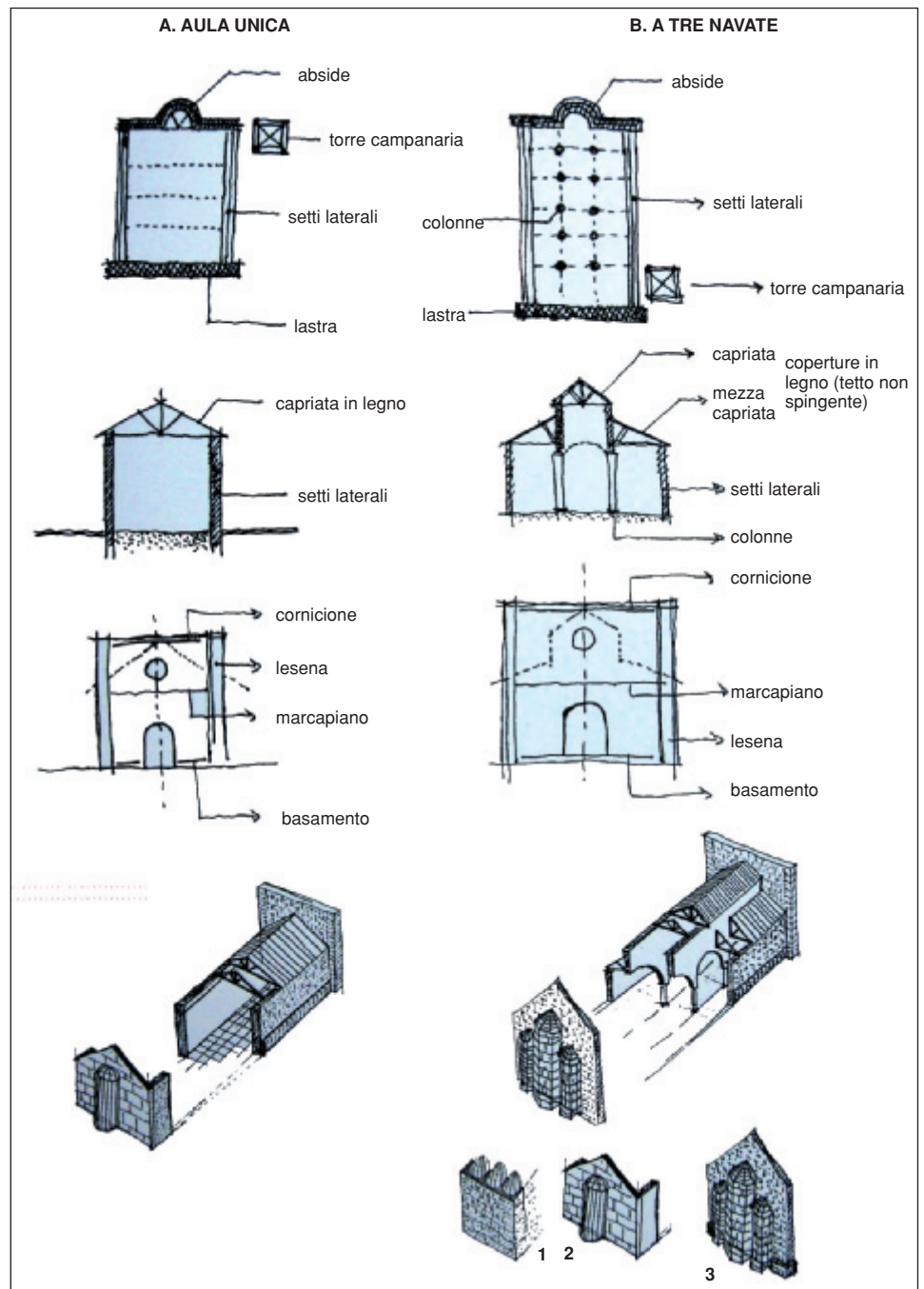


Figura 1.3 - Evoluzione delle chiese (Antonini O. 2004)

i fedeli sia per il culto che per le adunanze civili, dovevano essere semplici, non divise spazialmente da diaframmi colonnari e non movimentate da complesse articolazioni spaziali: vani di quattro pareti capaci di contenere i fedeli-gonfalonieri, con funzionali coperture in legno. Solo ad alcuni edifici più rilevanti si volle dare varietà inserendo un ambiente trasversale e ritirando l'altare dall'aula delle assemblee entro la protezione di un'abside e di un coro.

BIBLIOGRAFIA

ANTONINI, O., 1999, *Architettura religiosa aquilana*, L'Aquila, Edizioni del Gallo Cedrone.
 ANTONINI, O., 2004, *Chiese dell'Aquila: architettura religiosa e struttura urbana*, Pescara, Carsa.

³ "Le castella" termine arcaico per indicare i castelli del territorio.

⁴ Gonfaloniere o Confaloniere, ossia colui che nel Medioevo portava il gonfalone, vessillo con le insegne del territorio che rappresentava. che la nuova Aquila risultasse provvista di un numero elevatissimo di chiese parrocchiali, benché costruite in tempi successivi.

CENTOFANTI, M., 1992, *L'Aquila città di piazze. Spazi urbani e tecniche costruttive*, Pescara, Carsa.

CENTOFANTI, M., MAESTRI D., 1992, *Immagini di un territorio: Abruzzo nella cartografia storica: 1550-1850*, Regione Abruzzo.

2. LA CHIESA DI SAN SILVESTRO

2.1. Inserimento urbanistico

Dal punto di vista urbanistico la chiesa di San Silvestro è collocata in uno spazio aperto (Figura 2.1) che ne denuncia immediatamente la linearità e massività (Figura 2.2).



Figura 2.1 - Piazza S. Silvestro dall'alto



Figura 2.2 - Vista di piazza S. Silvestro

La percezione del prospetto sulla piazza è ritardata a causa del contesto nel quale è inserita, che richiede l'attraversamento dell'ortogonalità sfalsate delle viuzze adiacenti, e sui lati meno "addensati", la necessità del percorso d'intorno. Piazza S. Silvestro è fortemente dominata dalla facciata dell'omonima chiesa, le quinte dei palazzi patrizi non riescono a competere con la sua per dimensioni ma partecipano alla costituzione della scena (Figura 2.3). Tutto ciò è ancora maggior-



Figura 2.3 - Vista di piazza S. Silvestro - il rapporto con palazzo Branconio

mente evidenziato dal fatto che la chiesa è sollevata da una scala di nove gradini che tendono a separarla da ogni condizionamento urbanistico.

La chiesa è in aderenza alla cinta muraria del 1349 che poi prosegue rapidamente a valle; invece tracce delle mura primitive del 1316, che proprio in questo sito viravano con un torrione per poi proseguire sul crinale, si ritrovano in quella che oggi è divenuta la cappella laterale e a testimonianza di ciò un torrione delle mura urbane del 1316 è rimasto incorporato nell'edificio in questione.

2.2. Descrizione architettonica

L'organismo spaziale, che secondo la tradizione è stato costruito nel XIII-XIV secolo dagli abitanti del piccolo castello di Collebrincioni, consiste in uno spazio diviso in tre navate da due file di sette arcate ogivali, che a loro volta appoggiano su colonne a pianta circolare. Queste arcate, rafforzate dalla sequenza delle capriate lignee del tetto, corrono verso l'altare senza interruzione, terminando le traiettorie in tre ambienti absidali a pianta poligonale e coperte da volte a "berceau brisé" che nella semicalotta si irradiano a crociera senza nervature.

Si tratta di un impianto basilicale di cui, fino ad allora a L'Aquila, non vi erano stati esempi. Probabilmente tale impianto non era quello voluto, infatti la presenza di due pilastri polistili al termine delle serie colonnari fa ipotizzare un progetto di espansione della chiesa mediante un transetto ma tutto ciò non fu mai portato a termine.

Indizi strutturali sui pilastri a fascio fanno pensare che l'intero spazio dell'aula dovesse essere voltato, soluzione parzialmente adottata in altri esempi aquilani come Collemaggio e San Domenico. Da un'analisi storico stilistica emerge che la loro sagoma è identica a quelli adottati a Santa Giusta e Santa Maria di Collemaggio; tutto ciò fa ritenere che si sarebbe dovuto procedere con campate coperte con volte a crociera, ma, come a Santa Giusta ragioni tecniche e finanziarie impedirono di eseguire il progetto.

L'altezza delle arcate rispetto alle pareti sovrastanti genera un "moto risucchiante" degli elementi verso l'alto e trasforma le tre navate in uno spazio unico.

L'effetto unitario della spazialità doveva essere maggiormente evidenziato quando la materialità delle superfici e delle stesse colonne veniva vanificata dalla presenza degli affreschi, che visti in numerosi frammenti presenti dovevano ricoprire gran parte della chiesa. Ad oggi della preziosità pittorica dell'aula rimane solo qualche brano, mentre sono stati messi in luce i cicli pittorici sulle volte della tribuna maggiore e sul timpano sopra l'arco trionfale. Tutto questo è messo in risalto dalle fonti di luce che provengono dalle aperture absidali, dal grande rosone in facciata e dalle finestre dei fianchi con grandi strombi interni. Altre fonti di luce, in origine, dovevano essere presenti lungo le pareti emergenti; queste a seguito del ripristino del 1967 non furono messe in evidenza ma a seguito della scossa tellurica del 6 aprile 2009 si può riconoscere bene la loro posizione. Oggi l'ambiente interno è caratterizzato da una penombra che crea una atmosfera meditativa.

Tutto ciò è in contrasto con la chiarezza e la luminosità dell'ampio prospetto, che il poco addensarsi urbanistico, il sollevamento della scalinata, e la tensione verticale della torre campanaria contribuiscono ad esaltare. Gli elementi orizzontali di coronamento di piano realizzati ad arcatelle cieche ogivali equilibrano la spinta ascensionale, mentre i vasti vuoti del portale e del rosone assomigliano a due gemme incastonate nella massività della facciata. La squadrata superficie, definita da lesene angolari e libera da telaio e cornici, insieme alla sua estrema semplicità di quadrato lapideo spartito in due ordini orizzontali, tende a perdere il suo carattere architettonico trasformandosi quasi in un corpo scultoreo, ed è completamente svincolata dalla struttura dell'organismo retrostante. Non è affatto seguito l'andamento della sezione trasversale con il tetto a falde dell'aula e delle navate laterale. Riconquista la sua dimensione architettonica e spaziale a livello urbanistica come quinta di spazio esterno.

2.2.1. Il portale

La vasta incorniciatura del portale maggiore (Figura 2.4) con l'infisso ligneo originale del 1539, riprende gli esempi trecenteschi di Santa Giusta e San Marco. A differenziarli è presente la fascia neutra dell'interno, la quale staccando gli strombi dalle colonne frontali e dall'archivolto esterno, genera un effetto dilatante a tutto l'ingresso rendendolo più vasto e maestoso.

Lo stacco, già evidenziato a livello plastico, è maggiormente evidenziato cromaticamente poiché il rosa della fascia neutra delle colonnine cantonali contrasta con il bianco dei fondi lapidei. Il tema cromatico viene poi ripreso nell'ordine superiore della facciata in due filari di concio rosa, uno isolato come in Santa Giusta – esteso per tutta la larghezza alla quota della raggiera del rosone, l'altro in sommità sotto le arcatelle cieche.

Tale caratteristica denuncia la prima recezione all'Aquila del gusto arabo e siriano legato al cromatismo.



Figura 2.4 - Vista frontale del portale

2.2.2. Il rosone

Il rosone (Figura 2.5) della facciata fa eco al vasto ingresso dell'ordine inferiore. È decorato alla maniera gotica intorno alla mostra mentre il telaio a raggiera, simile ad altri presenti a L'Aquila e probabilmente a questi coevo è un esempio del secondo trecento. Si ritiene che il perno della ruota (il centro del rosone) sia un rifacimento vista la decorazione con ovuli e dentelli della tradizione classica del '500.

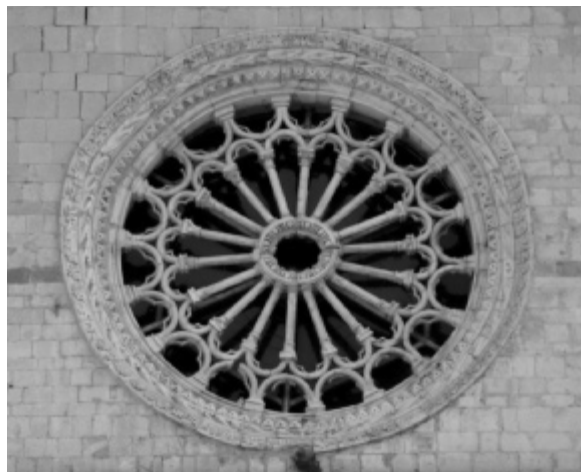


Figura 2.5 - Particolare del rosone

2.2.3. Il campanile

Rispetto alla quadratura della facciata emerge in verticale sulla destra la poderosa torre campanaria (Figura 2.6) con una terminazione in concii

che fu realizzata in tempi relativamente recenti. Svoltando su via San Silvestro (Figura 2.7), la torre mostra il lato orientale definito da due snelle lesene in pietra che si innalzano dalla zoccolatura fino alla quota di coronamento del prospetto. Senza cornici orizzontali che frenino il moto ascensionale, la torre campanaria è adornata con le stesse arcatelle cieche ogivali del fronte che chiudono la snella parete, inoltre risulta forata in asse da due slanciate ed eleganti bifore trilobate sovrapposte. La parete è tessuta utilizzando l'apparecchio aquilano anche se celato dall'intonaco.

All'interno i muri risultano costituiti da una cortina di grossi conci e il lato occidentale di base risulta in aderenza con la prima arcata della navata, la quale non scarica come normalmente accade sullo spigolo della torre, ma bensì direttamente sul muro della facciata interna.



Figura 2.6 - Vista lato sud



Figura 2.7 - Vista lato est

2.2.4. Le facciate laterali

Le facciate laterali della chiesa si vedono rivestite dalla semplice tecnica dell'apparecchio aquilano regolare, anche se diverso sui due lati.

Il fianco occidentale (il lato dove si trova il torrione convertito in cappella) (Figura 2.8) mostra delle riprese di muratura ed è scandito da tre strette e lunghe monofore trilobate; invece il lato orientale è più regolare ed è caratterizzato da grandi finestre bifore ad ogiva, la cui scansione è interrotta solamente dal vano del portale laterale.



Figura 2.8 - Vista del fianco occidentale

2.2.5. La zona presbiteriale

La zona presbiteriale appare un naturale prolungamento delle traiettorie volumetriche longitudinali; in pianta si presenta come un omogeneo blocco architettonico a tre celle la cui base rettangolare sporge dall'involucro in cui si innesta e le absidi si impostano su pianta poligonale. A livello di copertura la parte absidale e le due cappelle laterali si presentano voltate, quasi come una naturale conclusione dell'impianto della chiesa.

Esternamente (Figura 2.9) tale zona presenta un rivestimento in pietra conca che però nello svoltare sulle facciate laterali, si diluisce repentinamente in una tessitura di apparecchio aquilano.



Figura 2.9 - Scorcio esterno

2.2.6. Ipotesi storico-architettonica sull'evoluzione della chiesa

Fino al ripristino del Moretti⁵ del 1967-69, che ha rimesso in luce l'ossatura medievale, e grazie ad una documentazione che attesta l'esecuzione di lavori nella chiesa intorno al 1350, la chiesa di San Silvestro era ritenuta un edificio per intero ricostruito dopo il terremoto del 1349 ad eccezione del portale minore del primo '300. Questa datazione era confermata dai caratteri formali e stilistici del portale principale simili a quelli di Santa Giusta.

Altro elemento che avvalorava questa ipotesi era la presenza delle sezioni circolari dei fusti delle colonne interne nonché dello stile degli affreschi. Nei documenti viene ricordato un San Silvestro del 1265 o del 1269 ma non vi è fatta nessun'altra precisazione. A seguito della messa a nudo delle antiche strutture il Moretti ipotizza una diversa datazione delle parti. Secondo lui la sezione dell'edificio risalente al 1350 è solamente la facciata e la mostra del finestrone circolare. Il corpo centrale, ossia l'arcate ogivali è per lui da assegnare al secondo '200 in quanto giacché varia la sezione degli elementi verticale da ottagonali a rotondi, questi e i grandi piloni a fascio, lo schema e il tipo di materiali oltre che le proporzioni sono simili a Santa Giusta. Le tribune, anche se stilisticamente identiche nell'impianto nel sistema delle volte a quelle di Santa Giusta, sono state probabilmente realizzate dopo il terremoto del 1315.

Per quanto riguarda la datazione del corpo centrale di San Silvestro si ritiene improbabile che sia stato realizzato nella seconda metà del tredicesimo secolo in quanto coincide con il periodo della seconda edificazione della città a seguito del sisma del 1265. Risulta difficile pensare che un borgo non grande come Collebrincioni in un periodo di notevole sforzo finanziario oltre che alla ricostruzione simultanea delle case avesse potuto innalzare una chiesa a tre navate più vasta e complessa di qualunque altra a L'Aquila.

Concludendo ed analizzando gli elementi che compongono la fabbrica si ritiene maggiormente veritiera l'evoluzione storica abbracciata dallo storico Orlando Antonini. Il San Silvestro duecentesco (Figura 2.10) è da riconoscersi solo in alcuni elementi architettonici come lo strombo allungo delle finestre ritrovato nella facciata interna; questo fa pensare che l'organismo architettonico fosse perpendicolare all'odierno e di dimensioni minori avendo inclusa la zona bassa del campanile. Tutto ciò è confermato dalla cortina nord della torre campanaria che presenta un arco a sesto acuto e una monofora sovrastante. La distruzione della chiesa del 1315, la cinta muraria modificata di percorso e di ampiezza del 1316 permisero una ricostruzione più vasta e importante. Sicuramente il progetto doveva essere più maestoso e oltre ad riutilizzare le strutture del '200 doveva prevedere anche la costruzione di un transetto. Ma dopo il terremoto del 1349 si ridimensionò il tutto e furono costruite la facciata e la zona absidale.

Verso la fine del '500 il vano di base dell'antico torrione addossato alla chiesa venne utilizzato come cappella. Questo vano fu modificato con copertura a cupola su base ottagonale a sua volta impostata sulla pianta quadrata di quattro arcate cieche salvo quella di ingresso.

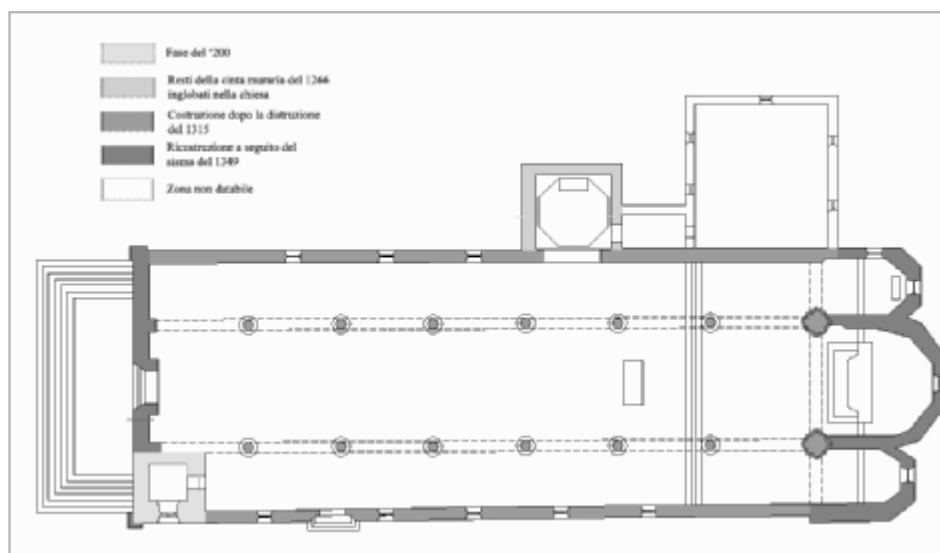


Figura 2.10 - Ipotesi dell'evoluzione costruttiva della Chiesa di S. Silvestro

2.3. Descrizione strutturale

L'edificio si presenta suddiviso in tre navate di cui la larghezza della centrale è in rapporto con le laterali circa 2 a 1. Per una trattazione più semplice delle componenti strutturali della chiesa si procederà suddividendo la fabbrica in tre parti: campanile, chiesa e cappella laterale.

Il campanile è un elemento preesistente, almeno nella parte basamentale. Presenta una sezione muraria considerevole che, anche in relazione alle sue dimensioni (occupa per intero la larghezza della navata laterale) gli conferisce una rigidità notevolmente maggiore rispetto a quella dell'organismo che gli si innesta al fianco. La sezione muraria è di circa 1.50 m.

Dal sopralluogo non è stato possibile appurare se la sezione muraria salga costante oppure se da una certa quota in poi rastremi, come probabilmente avviene.

L'interno della cella campanaria (Figura 2.11) è realizzato con pietre irregolari appena sbazzate a ricorsi non ortogonali con la presenza di molto legante. I cantonali sono resi più regolari dall'introduzione di pietre squadrate.



Figura 2.11 - Vista interna del campanile

⁵ Mario Moretti, architetto e soprintendente ai beni culturali dell'Abruzzo in quel periodo.

Ad un'altezza di circa tre metri dalla quota di calpestio della chiesa è stato realizzato un solaio in putrelle e tavelloni. L'irregolarità di tessiture del campanile si nota anche guardandolo dall'interno della chiesa nella parte in cui esso si è lesionato. Sotto un paramento regolare si cela un riempimento di materiale di varia pezzatura.

La torre campanaria prosegue verso l'alto con due aperture nel lato sud-est per poi culminare nella cella campanaria aperta su tutti e quattro i lati. Dal parziale crollo della chiave di uno degli archi (Figura 2.12) si può notare come sotto l'intonaco l'arco sia realizzato con una cortina di mattoni molto sottili, utilizzati per avere una superficie più regolare nell'atto della stesura dell'intonaco e poi all'interno si trovi sempre un nucleo irregolare.



Figura 2.12 - Cella campanaria

All'esterno il campanile si presenta con i cantonali realizzati in pietra conchia, forse travertino, almeno fino al termine della facciata, poi continua rastremando con una fascia che collega la parte inferiore alla cella campanaria.

La cappella laterale (Figura 2.13), come già spiegato nell'ambito dell'analisi storica è una preesistente torre delle antiche mura della città. Proprio per la sua funzione anche essa ha una consistente sezione muraria. La tessitura è analoga a quella della torre campanaria, con i cantonali realizzati in pietra squadrata con i blocchi di H=50 cm; esternamente i muri sono rivestiti secondo la tecnica aquilana per uno spessore di circa 20 cm.



Figura 2.13 - Cappella laterale

Esternamente si possono notare dei piccoli capochiave, ancoraggi di testa di radicamenti lignei. Questi elementi lignei sono inseriti all'interno della sezione muraria, la loro funzione è quella di aumentare la resistenza a trazione, secondo una tecnica ereditata dal mondo bizantino.

Si possono notare tre file di capo chiavi, due nella parte in cui la pianta esterna della cappella ha sezione quadrata e una nel punto terminale della parte ottagonale, punto in cui si innesta la cupola della volta. La cappella è solo addossata alla chiesa e non vi è ammorsata come si può dedurre dall'analisi storica.

La chiesa (Figura 2.14) si presenta con i muri perimetrali di spessore di circa 90 cm. La navata centrale è delimitata da una serie di arcate a sesto acuto che sorreggono un muro di spessore all'incirca di 80 cm, con una altezza di 5 m. L'altezza della navata principale all'imposta delle capriate che concludono questo spazio è di 15.70 m, quelle laterali, sormontate da semicapriate, sono alte circa 10 m.



Figura 2.14 - Vista interna

All'interno, verso la facciata, sul lato opposto al campanile, si nota la presenza di un tirante metallico ancorato su una putrella all'altezza della prima finestra a partire dalla facciata (Figura 2.15) con capochiave esterno sulla parete laterale, a ridosso della facciata (Figura 2.16). Un altro tirante denuncia la sua presenza grazie al crollo parziale della muratura che lo copre. Anche in questo caso il capochiave esterno si trova sulla parete laterale.



Figura 2.15 - Ancoraggio catena



Figura 2.17 - Particolare dell'abside



Figura 2.16 - Particolare esterno



Figura 2.18 - Particolare del cordolo

Sulla facciata sono presenti molti capochiave metallici di modeste dimensioni che fanno supporre la presenza di radicamenti.

2.3.1. Tessitura muraria

Nella descrizione strutturale si deve considerare la tessitura muraria, nonché la sua descrizione qualitativa e quantitativa, quale elemento fondamentale per una comprensione del complesso oggetto di studio. Nella chiesa di San Silvestro merita una particolare attenzione la descrizione dell'apparecchio aquilano (Figura 2.19).

Sempre rimanendo all'interno della chiesa, si può notare la presenza di un cordolo sommitale (Figura 2.18) in cemento armato, inserito nella facciata che corre lungo tutta la navata principale, gira intorno all'abside. La presenza del cordolo anche sull'abside è evidenziata dall'inserimento di quattro ricorsi di mattoni nella parte sommitale del muro (Figura 2.17), posti a rivestimento esterno.

Si può notare come sia stato inserito un cordolo anche lungo le pareti laterali, cordolo che in questo caso non gira sulle absidi minori, ma si interrompe prima. Lo si può notare dal fatto che in esso, all'esterno, non si notano alterazioni nel paramento.



Figura 2.19 - Particolare lato ovest



Figura 2.20 - Particolare lato est

CARATTERISTICHE DELLA MURATURA	S. Silvestro	S.M. di Collemaggio	S. Giusta	S.M. Paganica
Spessore della muratura (cm)	95	100	95	150
Rivestimento esterno (cm)	15	20	18	18
Nucleo murario (cm)	65	60	59	114
Rivestimento interno (cm)	15	20	18	18
Numero conci	89	57	69	63
Dimensione (cm) [numero conci]	(8x8x15)[16] (10x10x15)[69] (15x10x15)[4]	(13x10x10)[34] (6x5x5)[16] (18x13x20)[5] (22x15x20)[2]	(10x10x15)[30] (18x10x15)[28] (16x11x15)[11]	(9,5x9,5x15)[27] (12x9,5x15)[24] (19,4x1,5x15)[12]
Numero di ricorsi orizzontali	10	9	9	10
Numero di ricorsi verticali	84	55	75	73
Spessore dei giunti (cm)	1,5	4	1,5	1,5
morfologia dei giunti	Concava e piana	Concava e piana	Concava e piana	Concava e piana
Sollecitazione statica: valore min (MPa)	19,70	27,90	25,00	35,00
Sollecitazione statica: valore max (MPa)	24,60	36,10	29,90	43,90
CARATTERISTICHE DEI MATERIALI				
Paramento esterno				
Volume totale dei conci (mc)	0,13	0,08	0,18	0,18
Volume totale di malta (mc)	0,04	0,008	0,044	0,047
Peso del paramento (kg)	410	240,43	432	430
Nucleo Murario				
Volume totale (mc)	0,65	0,60	0,59	1,14
Peso minimo del nucleo (kg)	1040	960	944	1824
Peso massimo del nucleo (kg)	1495	1380	1296	2306

Figura 2.21 - Tabella riassuntiva

Il Gavini descrive così questa muratura:

“(…) una specie di cortina che spesso rimaneva scoperta dall’intonaco e perciò si eseguiva con maggiore o minore cura, secondo la rapidità con la quale s’innalzava queste muraglie e il materiale impiegato. Si disponevano agli spigoli come cantonali pietre concie di dimensioni varie con le code più o meno lunghe perché si legassero con la muratura ordinaria, che formava cortina e filari ineguali di piccole pietre soltanto disgrossate. Questo apparecchio che chiameremo aquilano, misto di pietrame e pietra concia, qualche cosa che sta fra l’opera ad incerto e filari regolari, si prestava tanto a rimanere scoperto, quanto ad essere intonacato (…)” (Gavini, 1980).

In genere i conci sono a sezione quadrata di dimensioni che variano tra 10x10x20 cm e 10x20x20 cm ottenuti dalla lavorazione delle pietre calcaree. Questa tessitura caratterizza i paramenti esterni, che nella chiesa oggetto di studio, sono lasciati a vista sia nel caso delle facciate laterali ed intonacati per quanto riguarda il campanile. Il nucleo interno di tali murature, che presentano spessori non inferiori agli 80cm, si presuppone sia costituito da conci e scaglie di pietra di varia pezzatura legati con malta aerea. Questa tecnica ricorda l’opus vittatum, oltre che opus quadratum di epoca romana sia per la dimensione degli elementi, sia per la loro disposizione.

Questa tessitura è caratteristica non solo della chiesa di San Silvestro, ma di moltissime costruzioni aquilane dal XIII secolo in poi.

Fondamentale per la valutazione qualitativa e quantitativa delle caratteristiche murarie risulta la caratterizzazione delle malte. A tale scopo si cita uno studio (Corpora H., Quaresima R., 2009) che ha preso a campione vari edifici, fra cui quello di San Silvestro, ed attraverso il rilievo geometrico e la restituzione grafica ha dedotto alcuni parametri meccanici della muratura, tra cui il peso del nucleo murario. Da tale studio si desume che i conci in percentuale maggiore sono quelli di dimensione 10x10x15 e il rapporto fra il loro volume e quello della malta è pari al 30%. I giunti di statura dei conci presentano una morfologia concava e piana, che sembra ottenuta mediante l’impiego di uno strumento a testa piatta. I valori della sollecitazione statica della muratura risultano piuttosto elevati se riferiti a questa tipologia di malte a base di calce. (Figura 2.21)

2.4. Vulnerabilità sismica

2.4.1. Definizione di vulnerabilità sismica

Allo scopo di rendere autocontenuto il presente testo si ricorda qui che la vulnerabilità sismica consiste nella valutazione della propensione di persone, beni o attività a subire danni al verificarsi dell’evento sismico. Essa misura da una parte la perdita o la riduzione di efficienza, dall’altra la capacità residua a svolgere e assicurare le funzioni che il sistema territoriale nel complesso normalmente esplica a regime. Nell’ottica di un’analisi della vulnerabilità si pone il problema di individuare non solo i singoli elementi che possono collassare sotto l’impatto del sisma, ma di individuare e quantificare gli effetti che il loro collasso determina sul funzionamento del sistema territoriale. Le componenti che concorrono alla definizione del concetto di vulnerabilità possono essere distinte in:

- vulnerabilità diretta: definita in rapporto alla propensione del singolo elemento fisico semplice o complesso a subire collasso (ad esempio la vulnerabilità di un edificio, di un viadotto, o di un insediamento);

- vulnerabilità indotta: definita in rapporto agli effetti di crisi dell’organizzazione del territorio generati dal collasso di uno degli elementi fisici (ad esempio la crisi del sistema di trasporto indotta dall’ostruzione di una strada);

– vulnerabilità differita: definita in rapporto agli effetti che si manifestano nelle fasi successive all'evento e alla prima emergenza e tali da modificare il comportamento delle popolazioni insediate (ad esempio il disagio della popolazione conseguente alla riduzione della base occupazionale per il collasso di stabilimenti industriali).

2.4.2. Vulnerabilità sismica nelle chiese

La metodologia utilizzata dalle Linee Guida BBCC (2006)⁶ considera 28 possibili meccanismi di danno attivabili in una chiesa, associati ai diversi macroelementi; la loro definizione è poi collegata alla tipologia, morfologia e dimensione e materiali con li compongono. Nella chiesa di San Silvestro si possono individuare come macroelementi: il campanile, la facciata, l'aula, la cappella laterale, l'abside. Le vulnerabilità presenti sono soprattutto legate alla presenza dell'alto campanile non ammorsato al resto della fabbrica, e alla facciata molto alta, snella e parzialmente vincolata al corpo di fabbrica. Considerando questi macroelementi, i possibili meccanismi di danno attivabili da un evento sismico sono:

- ribaltamento della facciata;
- meccanismi nelle sommità della facciata;
- meccanismi nel piano della facciata;
- risposta trasversale dell'aula;
- ribaltamento dell'abside;
- meccanismi di taglio nell'abside;
- rottura delle pareti a taglio;
- risposta longitudinale del colonnato;
- elementi di copertura;
- torre campanaria;
- cella campanaria.

Per completezza si evidenzia che un ulteriore fattore di vulnerabilità presente nel caso in esame risulta essere l'apparecchiatura muraria. Nella maggior parte del complesso edilizio, tranne che nelle absidi, si riscontra la presenza del cosiddetto "apparecchio aquilano"⁷, costituito da piccoli conci a vista disposti in ricorsi orizzontali a giunti sfalsati, con malta a base di calce e rena. Come riportato nel lavoro precedentemente citato, le murature sono costituite da tre paramenti con un nucleo interno di qualità meccanica scadente..

Di seguito si riportano gli schemi esemplificativi (Figura 2.) tratti dalle Linee Guida sopra citate, Appendice C, che meglio esemplificano quali sono le vulnerabilità di un organismo spaziale di una chiesa come quella di San Silvestro.

2.4.3. Vulnerabilità di San Silvestro

Analizzando l'impianto della chiesa di San Silvestro, le sue parti strutturali e le tecniche che sono state utilizzate per la costruzione, emergono quelle che sono le sue vulnerabilità.

Per quanto riguarda la facciata, essendo questo un elemento snello, non totalmente ammorsa-

to al resto della fabbrica, la sua principale criticità, nel momento in cui viene applicata un'azione sismica, (assimilabile ad un'azione orizzontale) è il suo ribaltamento. Nel caso specifico, visto lo scarso ammorsamento, l'atto del ruotare non comporta alcun coinvolgimento delle pareti ortogonali.

La parte superiore della facciata, emergendo dalla copertura, risulta totalmente libera e il suo comportamento quindi è assimilabile a quello di una mensola. Questo può generare dei meccanismi quali la rotazione fuori dal piano della zona sinistra libera.

Continuando l'analisi, un altro elemento sensibile è la cappella laterale, ossia l'ex torrione duecentesco. Infatti questo, essendo un corpo aggiunto, potrebbe subire dei ribaltamenti; questo tipo di meccanismo è tanto più probabile quanto minore è l'ammorsamento fra le parti. Come aggravante si hanno le diverse tipologie di copertura, la navata coperta con mezze capriate lignee, mentre invece la cappella è coperta con una volta che si raccorda con le murature perimetrali mediante pennacchi.

Dello stesso meccanismo di ribaltamento possono soffrire le absidi in quanto, come si può notare dall'evoluzione storica, sono state costruite in epoca diversa sull'aula. Questo è molto evidente per le riprese della muratura con tipologie diverse. Le absidi poligonali possono inoltre subire il ribaltamento che, vista la loro geometria, può riguardare i cunei che si formano dalla base e vanno a prendere le aperture.

Un ulteriore elemento di criticità è rappresentato dalla divisione dell'aula in tre navate, in quanto sopra il colonnato vi è una porzione di muratura piena molto estesa (dalla chiave dell'arco all'imposta della copertura ci sono circa 5m). Quindi questa risulta una parete snella che scarica su elementi puntiformi mediante archi ogivali: questo tipo di struttura sollecitata da un'azione sismica può generare uno sfilamento delle teste delle capriate, ossia degli elementi di copertura.

L'ultimo macroelemento significativo è il campanile. Quest'ultimo risulta essere molto alto e non ammorsato alle murature contigue. Essendo affiancato alla parete principale da un lato e alla facciata secondaria dall'altro, risulta confinato fino ad una certa altezza. Nonostante questo presenta la possibilità di ribaltare oltre che a quella di ruotare (e quindi essere soggetto a torsione). Anche la cella campanaria, per la sua funzione, può essere soggetta a meccanismi fra cui la torsione (aggravata dalla presenza delle campane) e il collasso degli archi delle finestre.

Una vulnerabilità alla quale è soggetto tutto l'impianto è la presenza dell'apparecchio aquilano: questo infatti essendo una tecnica costruttiva che utilizzava piccoli elementi lapidei appena sbazzati, fa presupporre la presenza di murature a sacco. È quindi possibile che i due paramenti che vanno a costituire il sacco si comportino separatamente andando in crisi per instabilità.

⁶ Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni – Luglio 2006

⁷ Apparecchio aquilano: è stato così definito da Carlo Ignazio Gavini.

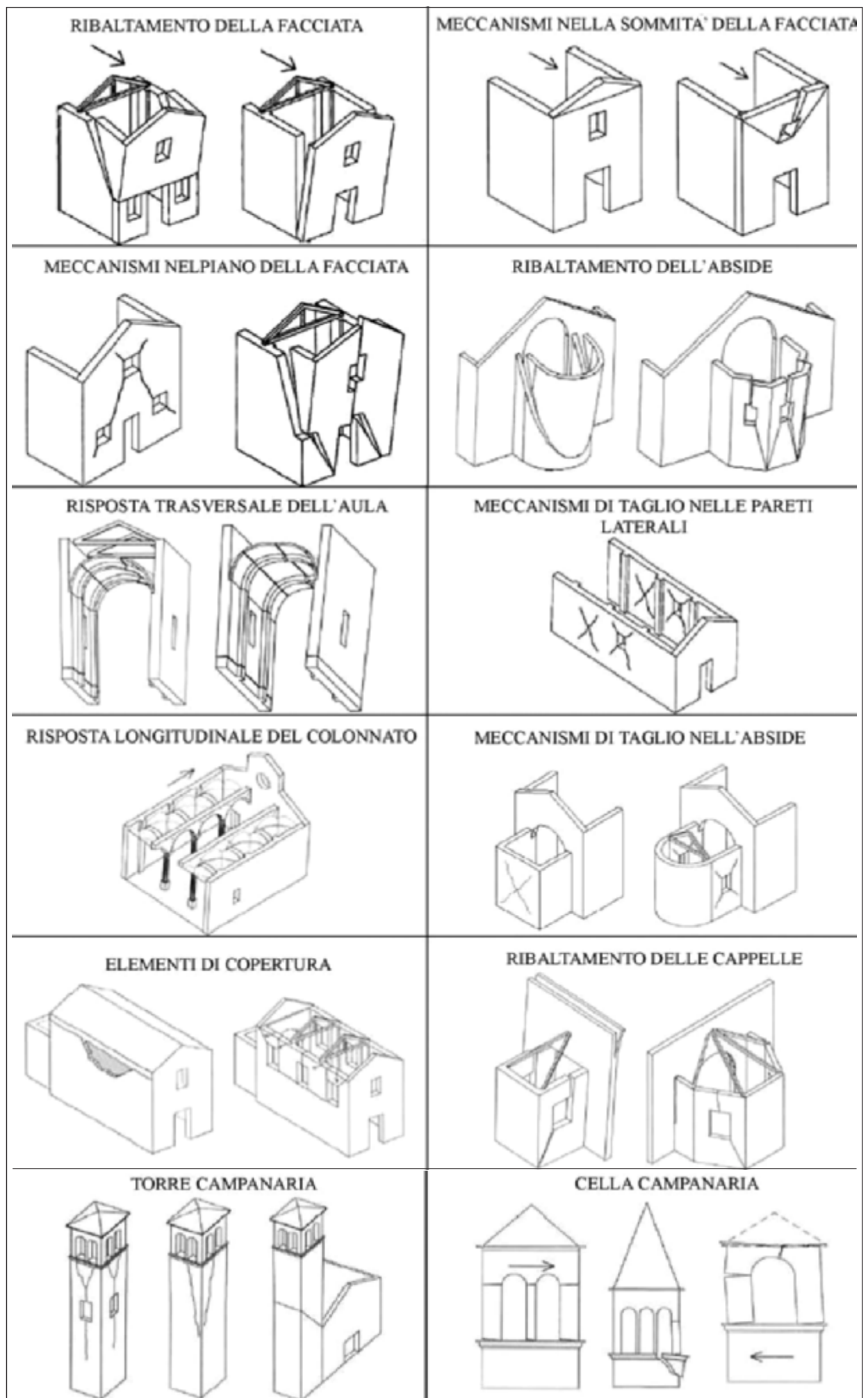


Figura 2.22 - Abaco delle vulnerabilità

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., (2006), *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni*, Roma, Gangemi Editore
- ANTONINI, O., 1999, *Architettura religiosa aquilana*, L'Aquila, Edizioni del Gallo Cedrone.
- ANTONINI, O., 2004, *Chiese dell'Aquila: architettura religiosa e struttura urbana*, Pescara, Carsa.
- CENTOFANTI, M., 1992, *L'Aquila città di piazze. Spazi urbani e tecniche costruttive*, Pescara, Carsa.
- CENTOFANTI, M., MAESTRI D., 1992, *Immagini di un territorio: Abruzzo nella cartografia storica: 1550-1850*, Regione Abruzzo.
- CORPORA H., QUARESIMA R., 2009, *L'apparecchio murario aquilano – caratteristiche costruttive e materiali*, in Recupero e conservazione, Editore De Lettera
- GAVINI, I.C., 1980, *L'architettura in Abruzzo*, Pescara, Costantini
- GURRIERI, F., (a cura di), 1999, *Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione post-sismica degli edifici*, Roma, DEI

3. EVENTO SISMICO DEL 6 APRILE 2009⁸

Il 6 Aprile 2009 (Figura 3.1) alle ore 03:33 la zona de l'Aquila è stata colpita da un forte sisma. La magnitudo della scossa principale è stata valutata sia come magnitudo Richter (MI)⁹ 5.8 che come magnitudo momento (Mw)¹⁰ 6.3

La sequenza sismica continua la sua evoluzione (Figura 3.2), con moltissime repliche anche con intensità rilevanti. Tre eventi di MI>5 sono avvenuti il 6 aprile (MI=5.8), il 7 aprile (MI=5.3) e il 9 aprile (MI=5.1). I terremoti di MI compresa tra M=3.5 e 5 sono stati in totale 31; oltre a queste sono state registrate circa 20.000 scosse.

La distribuzione in pianta delle repliche evidenzia molto bene l'area interessata dalla sequenza sismica che si estende per oltre 30 km in direzione prevalente NO-SE, parallelamente all'asse della catena appenninica. La replica più forte, registrata alle 19:47 del 7 aprile, ha interessato il settore più meridionale dell'area, in prossimità dei centri di San Martino d'Ocre, Fossa, San Felice d'Ocre, dove erano state localizzate piccole scosse nella stessa giornata. L'evento del 9 aprile di MI=5.1 è localizzato invece più a nord, lungo una struttura di più limitata estensione, sempre parallela alla catena appenninica.

I terremoti della sequenza sono avvenuti principalmente nella crosta superiore, entro 10-12 km di profondità. I dati che sono stati raccolti concordano nell'identificare la struttura responsabile della scossa principale come una faglia con movimento diretto che si estende per circa 15 km in direzione NO-SE ed immersione SO e la cui estensione in superficie si localizza in corrispondenza della faglia di Paganica.

Il danneggiamento nella zona dell'epicentro è determinato, oltre che dalla magnitudo anche dalla direzione di propagazione della rottura e dalla geologia dei terreni. In particolare, i danni maggiori si osservano nella direzione verso cui si propaga la faglia e vengono amplificati nelle aree dove in superficie affiorano sedimenti "soffici", quali depositi alluvionali, terreni di riporto, ecc.

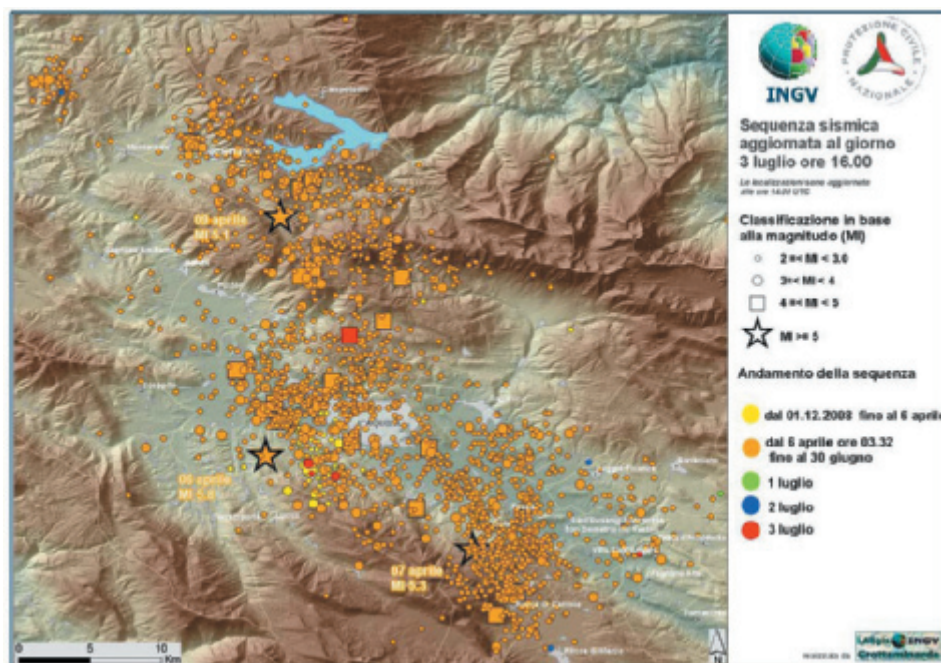


Figura 3.1 - Mappa della sequenza sismica



Figura 3.2 - Andamento della sequenza del 6 aprile 2009

3. A distanza di tre mesi circa dalla scossa principale, l'INGV registra scosse di magnitudo (MI) pari a 4.5 il 22 giugno 2009 e 4.1 il 3 luglio 2009. Queste risultano sempre localizzate nell'area interessata dall'evento sismico principale. Tali eventi sismici rientrano nella naturale evoluzione della sequenza sismica attiva da diversi mesi (lo sciamo sismico è attivo dal gennaio 2009).

4. INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO PRE-SISMA

Gli interventi di consolidamento effettuati nella chiesa sono di due tipi, uno per cercare di ottenere un comportamento scatolare della fabbrica e l'altro di ritegno della facciata.

⁸ Dati ricavati dal sito dell'INGV

⁹ Nella definizione data da Richter, la magnitudo *ML* di qualsiasi terremoto è data dal logaritmo in base dieci del massimo spostamento della traccia in un sismografo a torsione calibrato in maniera standard, se l'evento si fosse verificato a una distanza epicentrale di 100 km.

¹⁰ La scala di magnitudo del momento sismico è utilizzata dai sismologi per misurare le dimensioni dei terremoti in termini di energia scatenata.

Il primo presidio, ossia l'inserimento di un cordolo in cemento armato, ha messo in luce solo parzialmente, a causa di due fattori:

- il non essere correttamente collegato con la muratura sottostante, ma chiamato a lavorare per sola aderenza;
- il fatto di non essere collegato con la facciata e quindi di non chiudere la scatola muraria.

Dall'immagine in Figura 4.1 si nota come la parte di muratura sottostante al cordolo, non legata ad esso, si sia comportata in modo diverso. L'effetto del sisma su questo sistema mette in luce come l'inserimento di un elemento non vincolato, con comportamento e rigidità diversa dall'esistente ne limiti l'efficacia.



Figura 4.1 - Particolare del cordolo in c.a.

La catena metallica, come ritegno della facciata, ha funzionato correttamente. Nel muro ortogonale alla facciata (Figura 4.2) si è aperta una lesione, ma la catena ha contribuito a non far ribaltare la facciata sino al crollo. Il tirante sotto sisma si è snervato e nel punto di ancoraggio realizzato con una putrella inserita nel muro ha comportato la formazione di una biella compressa, evidenziando la parte di muratura che ha subito la sollecitazione di trazione esercitata dalla facciata sulla catena e di conseguenza sulla muratura. (Figura 4.2) Il presidio, nonostante abbia funzionato correttamente, è stato realizzato in una maniera che sembra precaria, forse in risposta ad un movimento della facciata che già si era riscontrato in passato.



Figura 4.2 - Lesione di distacco della facciata. Si noti la presenza di una catena (quella di fig. 4.4) che ha trattenuto il movimento

Entrambi gli interventi risalgono agli anni '60-'69.

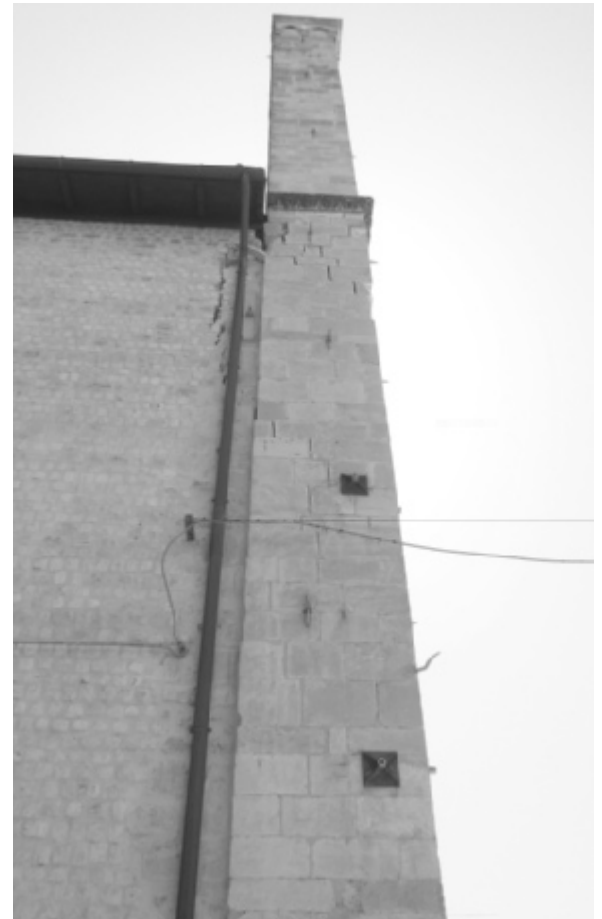


Figura 4.3 - Lesione nello spessore della facciata



Figura 4.4 - Il tiro della catena genera, all'ancoraggio, una biella compressa

5. CINEMATISMI ATTIVATI DAL SISMA

5.1. Rilievo dei principali dissesti

5.1.1. Struttura dell'edificio

Come detto, la chiesa di S. Silvestro è caratterizzata da un'imponente facciata, resa asimmetrica dalla torre campanaria presente sulla destra.

L'impianto è a tre navate, delimitate da pareti longitudinali sostenute da arcate ogivali che vanno dalla facciata alle colonne degli archi trionfali.

La parte absidale è caratterizzata da una planimetria poligonale, assimilabile a tre semi-ottagoni, di cui quello centrale dell'abside risulta essere circa il doppio sia in pianta che in altezza dei due laterali delle cappelle.

Lateralmente, lungo il lato di sinistra, sono addossati alla chiesa una cappella, eretta sulla preesistente base del torrione delle mura, e l'edificio della canonica.

La copertura dell'intero impianto è a struttura lineare, costituita da capriate disposte lungo la navata centrale, da mezze capriate lungo le due navate laterali, dall'orditura primaria, secondaria e dal tavolato. Sono inoltre presenti quattro volte a padiglione, le tre della zona absidale e quella della cappella laterale.

5.1.2. Vulnerabilità e principali meccanismi di danno attesi e osservati

Come precedentemente accennato, le vulnerabilità attese in questo tipo di costruzioni sono spesso legate alla scarsa efficacia dei vincoli tra i vari elementi strutturali. In primo luogo il ritegno della facciata al ribaltamento fuori dal piano, così come quello delle lunghe pareti longitudinali, il ribaltamento dei cunei di muratura nelle zone di testata dovuto alle azioni nel piano e l'inadeguatezza della torre campanaria a resistere alle ingenti forze sismiche orizzontali dovute alla propria inerzia.

In effetti, l'analisi del quadro fessurativo ha evidenziato i dissesti sopra menzionati.

Si è verificato un ulteriore meccanismo di danno legato al martellamento della parete longitudinale della navata contro il campanile.

Nelle figure che seguono sono descritte le lesioni relative ai principali meccanismi di danno mobilitati (Figure 5.1 e 5.2).

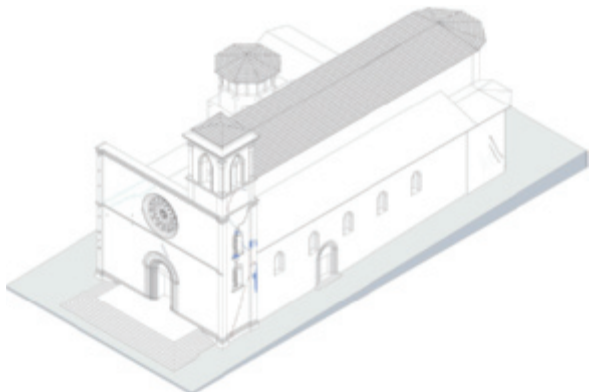


Figura 5.1 - Assonometria del rilievo del quadro fessurativo

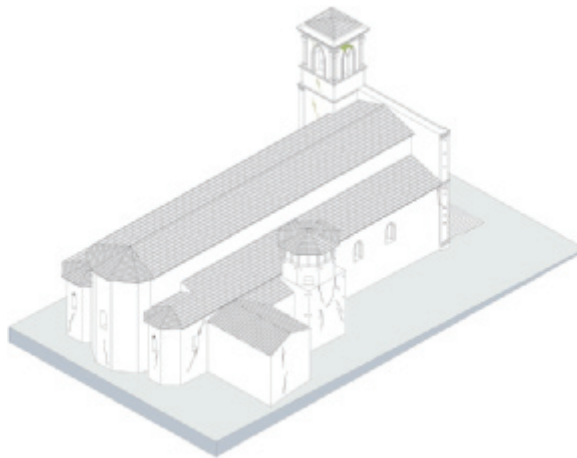


Figura 5.2 - Assonometria del rilievo del quadro fessurativo

5.1. Analisi dei principali cinematismi mobilitati

5.2.1. Rotazione della facciata e della torre campanaria

Le sollecitazioni sismiche che hanno colpito l'insieme facciata-campanile in maniera pressoché ortogonalmente alla facciata stessa, hanno indotto una rotazione verso l'esterno (Figure 5.3, 4, 5, 6).

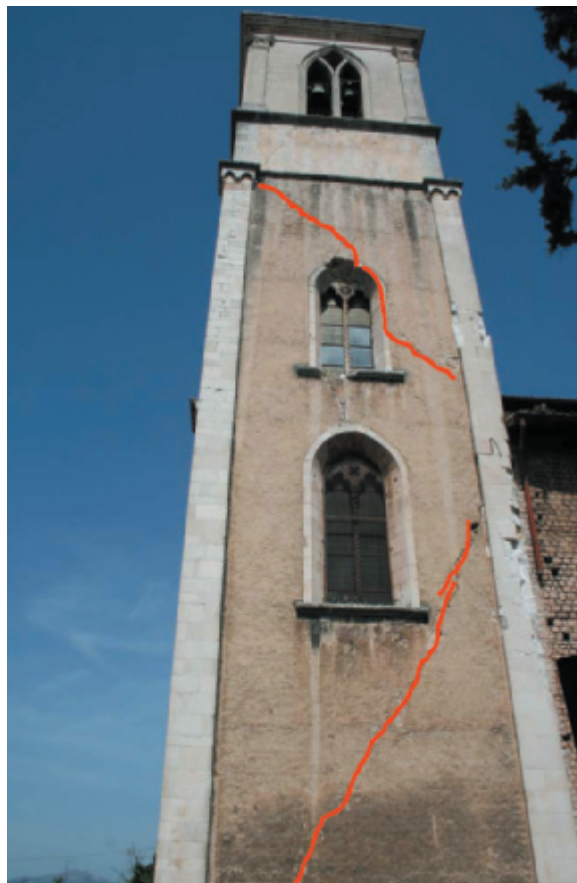


Figura 5.3 - Le lesioni diagonali evidenziate su questa facciata del campanile indicano l'innesco della rotazione verso l'esterno, prima, verso l'interno, poi, della torre campanaria. L'inclinazione e l'andamento dell'ampiezza definiscono le cerniere e il verso delle due rotazioni. A quella superiore, relativa al ribaltamento verso la chiesa, va associato lo schiacciamento della parasta e l'allentamento dell'arco della bifora con relativo crollo dei conci in chiave. Vista la carenza di vincoli efficaci (riscontrata nel sopralluogo dell'interno della chiesa) è possibile affermare che i ribaltamenti non sono evoluti sino al crollo grazie all'ingente massa del campanile, che, se da un lato è stata l'elemento che ha mobilitato i due meccanismi di danno, dall'altro è stata anche stabilizzante di se stesso.



Figg 5.4 (sopra) e Figura 5.5 (sotto) - Le due lesioni pressoché parallele tra loro, associate a quella della bifora nella foto in basso (di direzione concorde) nonché al dissesto di tutti i conci di chiave delle aperture, inducono ad ipotizzare una sollecitazione torsionale sul campanile, indotta anche dalla presenza del piano irrigidente della facciata in posizione fortemente eccentrica. L'espulsione di materiale, evidente nella foto, potrebbe essere dovuta al martellamento della struttura di sostegno delle campane.



Figura 5.6 - Fotopiani della facciata principale e del campanile con evidenziate le lesioni

Il cinematismo non è evoluto sino al collasso verosimilmente grazie alla presenza delle catene e dei radiciamenti che hanno vincolato la facciata lungo il lato opposto al campanile e all'ingente massa della stessa torre campanaria.



Figg. 5.7 (sopra) e 5.8 (sotto) - Distacco della facciata per ribaltamento verso l'esterno dovuto alle azioni sismiche ortogonali al piano (*meccanismo di primo modo*). È evidente il distacco della copertura e lo sfilamento dell'orditura principale.



Figura 5.9 - La porzione A si comporta come una mensola e si lesiona lungo la linea congiungente le sommità delle pareti ortogonali retrostanti (quelle della navata di sinistra) che costituiscono un controventamento rispetto alle azioni ortogonali alla facciata. Le lesioni indicate con una freccia sono invece legate ai cinematismi del campanile

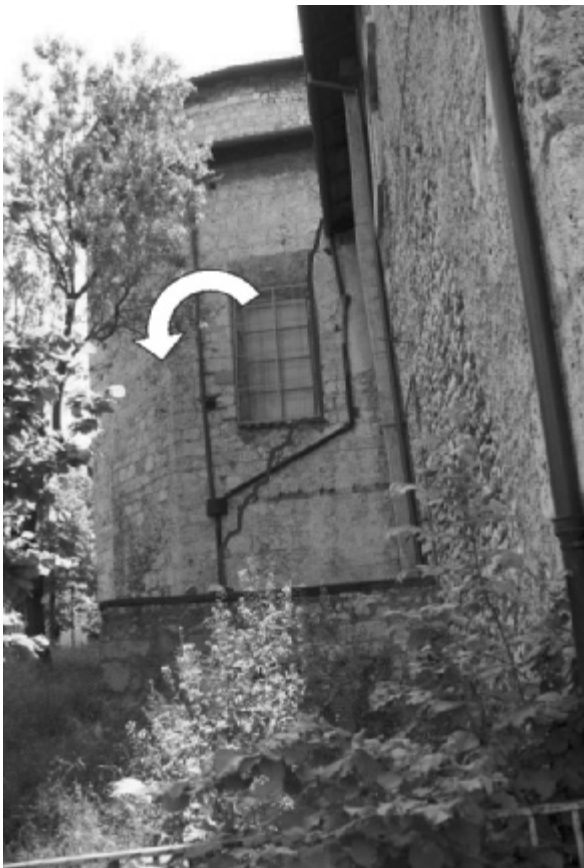


Figura 5.10 - Distacco del cuneo nella zona absidale. Le azioni nel piano possono generare il distacco, sino anche all'espulsione, di cunei di muratura nelle zone di testata del fabbricato. La direzione e l'andamento dell'ampiezza della lesione, crescente verso l'alto, indica il punto di cerniera e il verso della rotazione. L'angolo alla base del cuneo, in genere, si presenta tanto più piccolo quanto più scarsa è la qualità muraria o, come in questo caso, può essere influenzato dalla presenza di una apertura.



Figg. 5.11 (sopra) e 5.12 (sotto) - Distacco del cuneo nella zona absidale.



Figura 5.13 - Quadro fessurativo esterno del sistema facciata-campanile



Figura 5.14 - Meccanismo di rotazione della facciata e del campanile verso l'esterno

Osservando il quadro fessurativo all'interno della chiesa, ci si accorge che la rotazione del sistema facciata-campanile ha coinvolto anche la parete interna della torre campanaria (Figura 5.15), comportando danni alla parete longitudinale della chiesa piuttosto limitati, dato che questi elementi non sono tra di loro ammorzati.

Questo tipo di cinematismo ha coinvolto anche le pareti longitudinali che delimitano le navate (Figura 5.16 e Figura 5.17). In particolare è riconoscibile il distacco verticale di una porzione delle pareti che ha seguito il ribaltamento della facciata, la formazione di una cerniera negli archi con apertura verso l'intradosso ed una serie di lesioni nella muratura direttamente sorretta dalle arcate.

Valutando attentamente la direzione e la variazione dell'ampiezza delle lesioni, è possibile ricostruire il cinematismo mobilitato.



Figura 5.15 - Lesione sulla parete interna del campanile



Figura 5.16 - Parete longitudinale lato destro



Figura 5.17 - Parete longitudinale lato sinistro

La prima analisi riguarda la parete longitudinale della navata sul lato sinistro.

L'interpretazione del quadro fessurativo (Figura 5.18 e Figura 5.19) suggerisce il seguente cinematico: la facciata (blocco A) ruotando verso l'esterno, provoca il distacco di una porzione di muratura della parete ad essa trasversale, distacco quasi verticale, sintomo evidente della scarsa ammortatura fra parete e facciata. Questo movimento (l'allontanamento dell'imposta di sinistra) ha provocato l'apertura dell'arco e quindi lo "scarico" della porzione B di muratura che gravava su di esso.

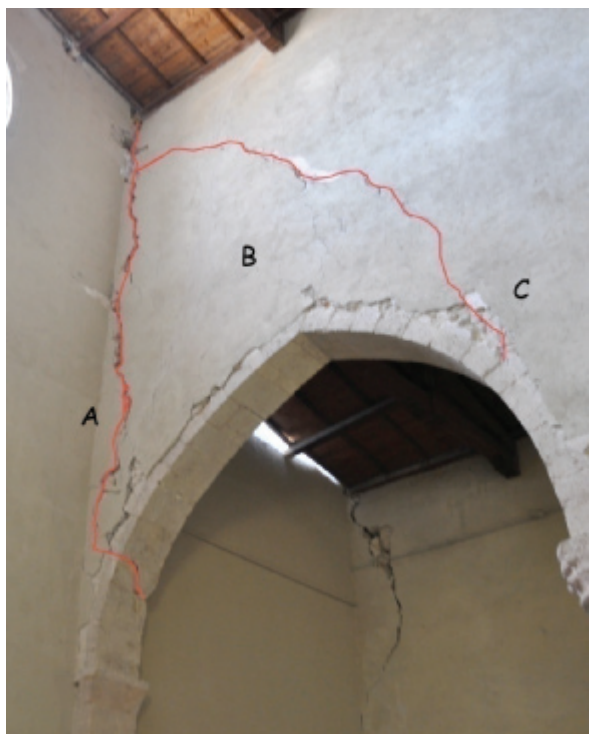


Figura 5.18 - Parete longitudinale lato sinistro con le lesioni evidenziate.

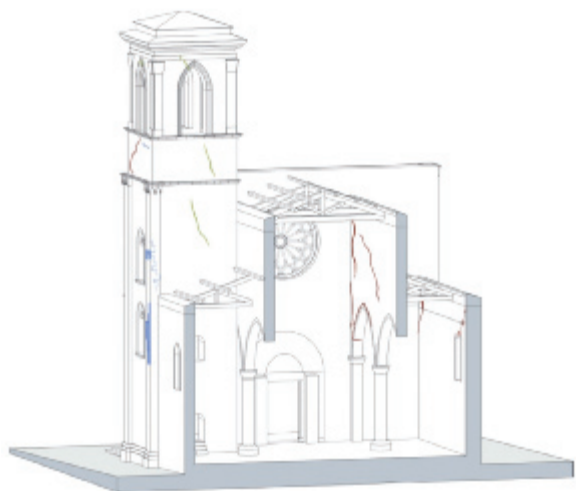
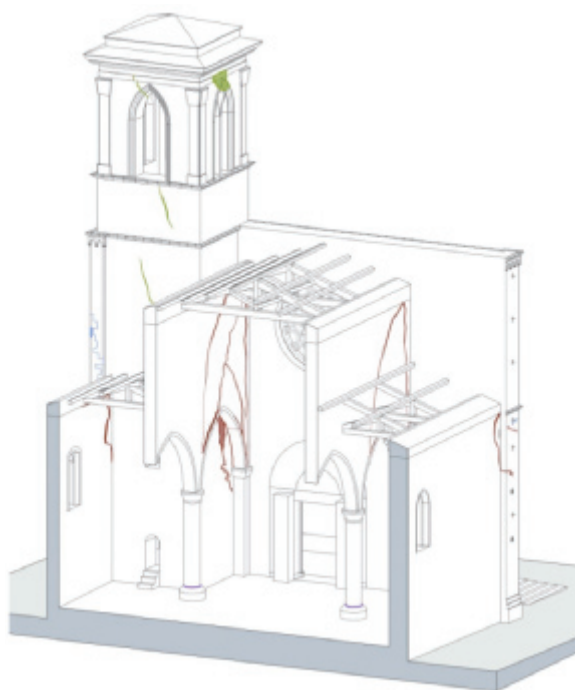


Figura 5.19 - Quadro fessurativo – parete sinistra

Nella parete gemella, ossia quella longitudinale destra, il quadro fessurativo presenta analogie ma anche varie differenze, dovute quest'ultime alla presenza del campanile, con il quale la parete si è trovata ad interagire (Figg. 5.20-5.23).



5.20 - Rilievo del quadro fessurativo - parete destra



5.21 - Modello geometrico ai macroelementi

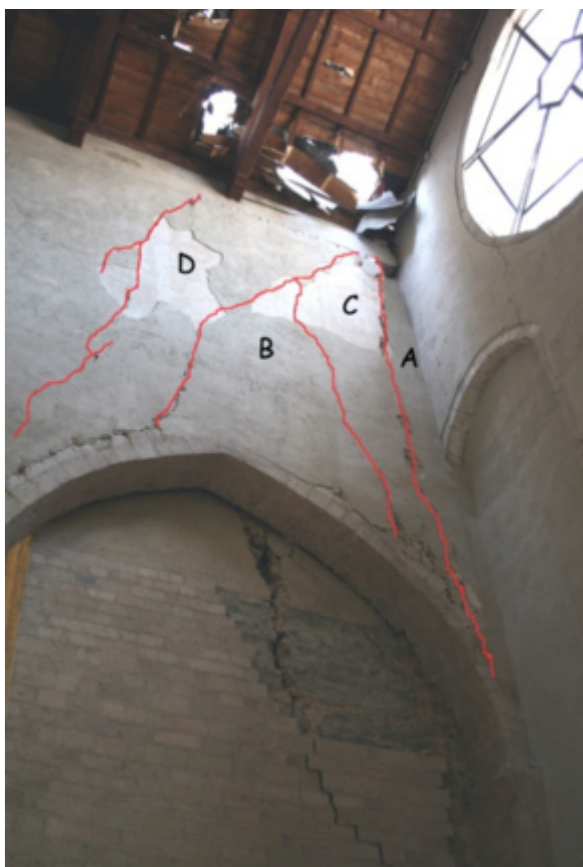


Fig. 5.22 - Parete longitudinale lato destro con le lesioni evidenziate



Figura 5.23 - Spostamento fuori del piano della parte terminale del cordolo sommitale e della parte terminale della parete.

La parete longitudinale destra non è collegata al campanile ma risulta solo accostata; questo ha comportato, insieme alle lesioni dovute alla rotazione della facciata, del tutto simili a quelle della parete di sinistra, anche un cinematismo associabile al martellamento della parete sul campanile.

Dall'analisi dei dissesti della parete longitudinale adiacente al campanile (Figura 5.22) risulta evidente il dislocamento fuori dal piano della pa-

rete dell'estremità del cordolo sommitale e della parete stessa, con un distacco di ampiezza rilevante (Figura 5.23). Il dissesto presenta quindi differenze rispetto a quello della parete di sinistra (Figura 5.18), soprattutto per gli spostamenti verso l'interno della navata.

L'osservazione della parete del campanile visibile nella Figura 5.24 non mostra alcuna lesione significativa e questo non è compatibile con una rotazione della torre verso la navata. È evidente quindi che sia stata la parete, investita dall'azione sismica ortogonale al proprio piano, a martellare il campanile e che tale martellamento ha provocato il danneggiamento rilevato.



Figura 5.24 - Distacco tra campanile e parete longitudinale (in origine accostati)

Ampliando inoltre l'osservazione del quadro fessurativo al resto dell'impianto, si riscontra lo scorrimento delle capriate lignee rispetto alle pareti longitudinali, segno evidente che tutte hanno subito gli effetti delle azioni ortogonali.

Considerando la parete di sinistra non vincolata alla facciata (come effettivamente è) le azioni dinamiche ortogonali ad essa portano a spostamenti schematizzabili come in figura 5.25. Nel caso della parete di destra tale modalità di spostamento è impedita dalla presenza del campanile sul quale, in particolare, va a "martellare" la parte sommitale della parete.

La situazione è quella schematizzata nelle figure 5.25-5.27, dalla quali si può capire che il cordolo sommitale, nella sua parte finale verso la facciata, viene spostato verso l'interno della chiesa, in un moto che per la parte terminale della parete diventa di flessione-torsione. L'effetto finale delle ripetute oscillazioni della parete e del martellamento sul campanile è quello del dislocamento di fig. 5.23, dove alle lesioni dovute alla rotazione della facciata si aggiungono quelle dovute alla flessione-torsione.

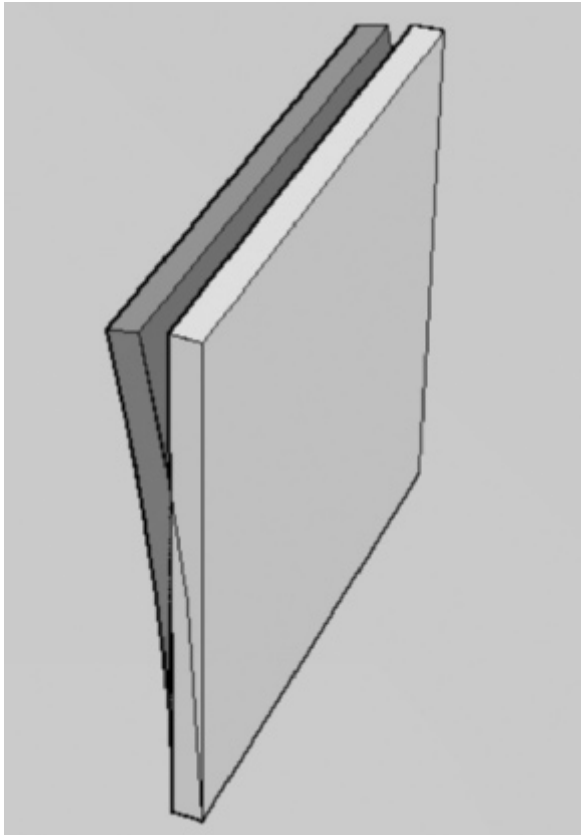


Figura 5.25 - Spostamenti della parete di sinistra per le azioni ortogonali al piano

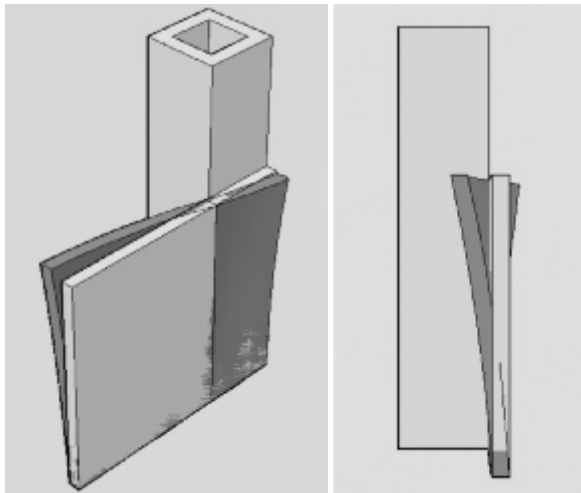


Figura 5.26 - Spostamenti che subisce la parete di destra. La presenza del campanile induce sulla parete sollecitazioni di flessione-torsione.

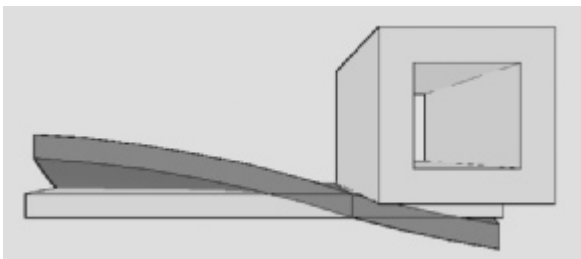


Figura 5.27 - Deformazione della parete (e del cordolo soprastante) a seguito della flessione fuori dal piano e della torsione

5.2.2. Ribaltamento del campanile verso la chiesa

Oltre al ribaltamento verso l'esterno, la torre campanaria presenta anche lesioni riconducibili alla rotazione verso la chiesa. L'evidenza di ciò nasce come sempre dall'esame critico del quadro di dissesto.

Le lesioni che tagliano diagonalmente il campanile, di ampiezza crescente verso l'alto, l'evidente distacco e deformazione tipica dell'instabilità a carico di punta della parasta in zona compressa (non adeguatamente ammortata alla muratura) e l'espulsione di materiale in corrispondenza degli spigoli, non lasciano dubbi in proposito. Il quadro è completato dal crollo di alcuni conci dell'arco di una delle bifore del campanile, compatibile con l'allentamento dell'arco stesso dovuto al cinematiso ipotizzato (Figura 5.28).



Figura 5.28 - Cinematismo di rotazione del campanile verso l'interno

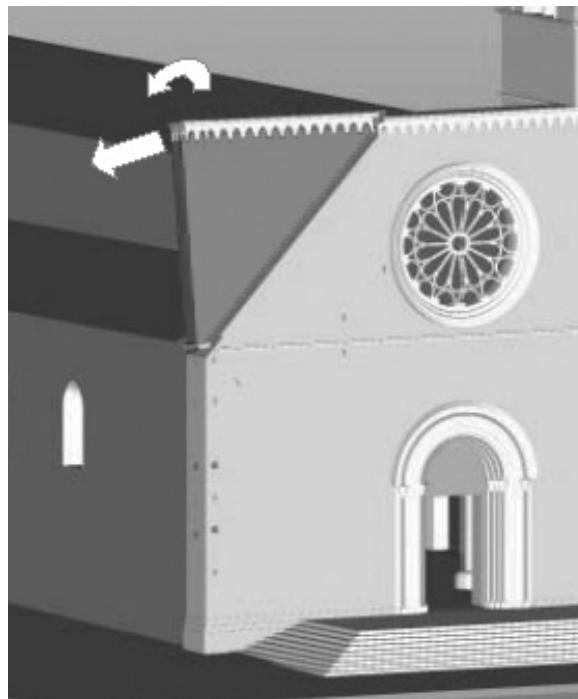


Figura 5.29 - Cinematismo di rotazione verso l'interno di una porzione della facciata.

5.2.3. Ribaltamento di una porzione della facciata

Sempre rimanendo nell'ambito dei meccanismi di danno di primo modo, si riscontra il ribaltamento di una porzione della facciata.

La vulnerabilità di questo elemento strutturale nei confronti delle azioni ortogonali al piano è tale che, oltre al ribaltamento verso l'esterno di tutto l'insieme facciata-campanile, l'azione sismica ha mobilitato anche la rotazione verso l'interno di una sua porzione. Questa infatti trova come unico impedimento le pareti delle navate, che, tra l'altro, costituiscono un controventamento monolatero, impedendo il solo ribaltamento verso l'interno.

È proprio lungo la retta ideale che passa per le sommità delle pareti longitudinali della chiesa, che si è formata la cerniera cilindrica intorno cui si è innescata la rotazione della parte in oggetto.

Il ribaltamento dello spigolo della facciata è uno dei cinematismi attesi per questo tipo di elemento strutturale e può essere rivolto sia verso l'interno che verso l'esterno. In questo caso l'evidenza del verso prevalente della rotazione è data dall'osservazione della dislocazione dei conci del rivestimento in corrispondenza dell'angolo della facciata stessa (Figura 5.30).



Figura 5.30 - Particolare della cerniera

5.2.4. Ribaltamento dell'abside e delle cappelle laterali

La combinazione delle azioni sismiche nel piano e di quelle ortogonali, hanno mobilitato il ribaltamento verso l'esterno dell'abside (pur in presenza di un cordolo sommitale) e delle cappelle laterali.

Analogamente a quanto accade per gli edifici a schiera, nelle porzioni di testata non adeguatamente vincolate, può avvenire il distacco di cunei di muratura, con angoli alla base tanto più piccoli quanto minore è la qualità muraria.

Tale distacco risulta inoltre influenzato dalla presenza di aperture. Nel nostro caso, la particolare forma della zona absidale, a sezione planimetrica ottagonale, ha agevolato il distacco dei cunei che hanno risentito anche dell'azione ortogonale agente sulle facciate del retrospetto (Figura 5.31).

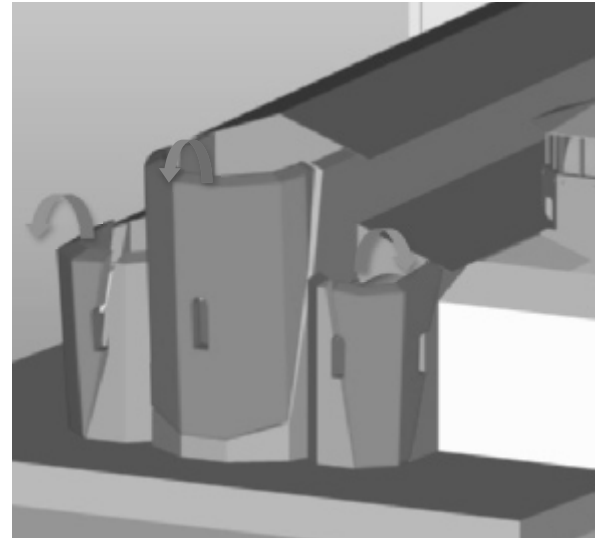


Figura 5.31 - Cinematismi di rotazione dell'abside e delle cappelle laterali

In particolare, il quadro fessurativo evidenzia delle lesioni di ampiezza crescente verso l'alto, che individuano i cunei di distacco e i relativi sensi di rotazione.

La simmetria strutturale dell'abside concorda con la simmetria della porzione muraria distaccata, mentre le cappelle laterali, risentendo del vincolo della parete evidentemente ben ammassata, sono caratterizzate dal distacco di cunei d'angolo, espulsi, anche se non sino al collasso, in direzione diagonale rispetto all'impianto. Si nota inoltre che, nella cappella laterale di destra in figura 5.10 è presente una finestra laterale, verosimilmente realizzata successivamente all'edificazione, per dare luce alla cappella in seguito alla realizzazione dell'altare che ha di fatto oscurato la finestra originaria. Questa, indebolendo la parete, ha agevolato il distacco della porzione di testata, infatti le lesioni risultano di ampiezza maggiore, avendo richiesto una minor energia per la loro formazione.

Il cinematismo appena descritto risulta essere la causa primaria del quadro fessurativo riscontrato a carico delle volte dell'abside e delle due cappelle laterali.

6. CONCLUSIONI ED IPOTESI DI INTERVENTO

6.1. Criteri di scelta degli interventi di consolidamento

Come detto precedentemente, l'analisi dei principali meccanismi di danno mobilitati ha il compito di determinare le vulnerabilità principali, al fine di eliminarle nella fase di progettazione degli interventi di consolidamento.

In questo caso si è riscontrato come i principali quadri di danno siano dovuti ad una vulnerabilità elevata del campanile alle azioni orizzontali, alla interazione tra campanile e facciata della chiesa e tra campanile e pareti delle navate della chiesa stessa, e alla carenza di alcuni collegamenti (in particolare tra cordolo e facciata).

Si ritiene opportuno sottolineare comunque che la struttura, grazie alla leggerezza della copertura e al sistema cordolo-capriate (collegamento tra i vari elementi della "scatola muraria") si è comportata in modo tutto sommato accettabile.

Il cordolo in c.a. ha presentato delle problematiche solo in prossimità del campanile, (per l'interazione con esso) e questo sistema ha funzionato in modo positivo grazie alle modeste dimensioni del cordolo e alla presenza di una copertura leggera quale quella lignea.

Alla luce di quanto detto, prescindendo in questa sede dall'individuazione delle tecniche e delle tecnologie di intervento che potrebbero essere utilizzate, si propongono dei criteri di scelta degli interventi di recupero.

L'intervento di consolidamento dovrà sicuramente prevedere l'eliminazione delle criticità riscontrate; ci si riferisce in modo particolare alla carenza di vincoli efficaci nei riguardi del ribaltamento del sistema facciata-campanile e delle pareti longitudinali soggette alle azioni ortogonali al piano. Per migliorare il comportamento del sistema sismoresistente, si dovrà provvedere alla realizzazione delle ammorsature tra i vari elementi strutturali, attualmente carenti, alla predisposizione di elementi che rendano bilateri i vincoli che attualmente sono solo monolateri e al consolidamento della torre campanaria in modo da renderla meno vulnerabile alle azioni orizzontali.

Particolare attenzione andrà posta nella trattazione dei radiciamenti lignei presenti all'interno della muratura. La loro concezione di per sé non errata, deve fare i conti con lo stato di conservazione del legno, che inevitabilmente si presenta degradato e non più idoneo ad assolvere il compito per il quale era stato concepito. Il consolidamento di questi storici presidi, inglobati nel tessuto murario, richiederà una particolare attenzione, sia dal punto di vista storico-culturale, che da quello tecnico-operativo.

Per quanto riguarda gli interventi sulla struttura muraria, intesi in senso stretto, si deve tener presente che l'*apparecchio* aquilano, con la sua pezzatura piccola e appena sbazzata, si presenta piuttosto vulnerabile alle azioni sismiche.

Per migliorarne il comportamento sotto sisma va ricercata una metodologia per connettere con diatoni i vari paramenti, nonché di incrementarne la resistenza a taglio, ad esempio con l'introduzione di materiali resistenti a trazione sfruttando la dimensione dei giunti di malta (che si presterebbe bene all'applicazione del sistema "reticolatus").

BIBLIOGRAFIA

AA.VV., (2006), *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni*, Roma, Gangemi Editore

CANGI, G., 2005, *Manuale del recupero strutturale e antisismico*, Roma, DEI.

GURRIERI, F., (a cura di), 1999, *Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione post-sismica degli edifici*, Roma, DEI

MARIANI, M., 2006, *Trattato sul consolidamento e restauro degli edifici in muratura*, Roma, DEI.

Antonio BORRI, Ordinario di Scienza delle Costruzioni nell'Università di Perugia; Presidente del Centro Studi Mastrodicasa; Direttore del Master in "Miglioramento sismico, restauro e consolidamento del costruito storico e monumentale"; V. Presidente AICO, membro di comitati direttivi e/o scientifici di varie Associazioni (tra cui: Ass. It. Ingegneria Forense, Ass. Naz. Ingegneria Sismica, Fondazione Guglielmo Giordano). Socio "da onorem" ATE. Delegato regionale ASSIRCCO.

Giovanni CANGI, ingegnere civile edile, laureato a Bologna nel 1984.

È autore del *Manuale del Recupero Strutturale e Antisismico* (DEI, Tipografia del Genio Civile di Roma) e ha partecipato alla redazione di manuali specialistici nel settore del recupero edilizio conservativo: il *Manuale del Recupero di Città di Castello* (1992); i *Manuali del Recupero del centro storico di Palermo* (1997) e del *Comune di Roma - II Ed.* (1997); il *Codice di Pratica per la sicurezza e la conservazione del centro storico di Palermo* (1998); il *Manuale per la Riabilitazione e la Ricostruzione post-sismica degli edifici* (Regione Umbria 1999).

Mauro CARABONI, laureato in ingegneria civile indirizzo strutture nel 2004 presso la Facoltà di Ingegneria di Perugia.

Consegue nel luglio 2009 il Master in "Miglioramento sismico, restauro e consolidamento del costruito storico e monumentale".

Lavora presso l'impresa di costruzioni Ediltecnica S.p.A. di Foligno, specializzata in ristrutturazioni, in qualità di responsabile dell'ufficio tecnico. Svolge inoltre attività di libero professionista.

Alessandra GIANCARLO, laureata in Architettura nel 2007 presso l'Università di Roma Tre.

A settembre del 2007 frequenta la 1ª edizione della Summer School in Cultural Heritage presso la facoltà di Ingegneria dell'Università di Roma Tor Vergata.

Ha conseguito nel luglio 2009 il diploma di Master in "Miglioramento sismico, restauro e consolidamento del costruito storico e monumentale" presso il Centro studi di Foligno - Università di Perugia.

Dal 2004 collabora con uno studio di architettura, occupandosi di progettazione esecutiva, contabilità dei lavori, interventi di consolidamento statico.

Fabrizio MENGHINI, laureato in Ingegneria Civile Edile nel 1992 presso la Facoltà di Ingegneria della Università degli Studi di Ancona.

Iscritto all'Albo dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Perugia. Direttore tecnico della Servizi di Ingegneria s.r.l. con sede a Foligno.

Si occupa prevalentemente degli aspetti strutturali nell'ambito degli interventi di restauro, di nuove opere civili e infrastrutturali.

Laura PROCACCI, laureata in Architettura presso la Facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze, con indirizzo "Progettazione e riabilitazione strutturale" con votazione 110/110 e lode. Ha conseguito nel luglio 2009 il diploma di Master Universitario di II livello in "Miglioramento sismico, restauro e consolidamento del costruito storico e monumentale" Università degli Studi di Perugia. Attualmente collabora con lo studio Associato Pierrequadro Progettazioni in Roma.

Riccardo VETTURINI, laureato in Ingegneria Civile presso la Facoltà di Ingegneria di Perugia nel 1991. Libero professionista dal 1992 si occupa prevalentemente di interventi di recupero e restauro strutturale di edifici monumentali. Tra le opere di maggior interesse: i lavori di Restauro della Fontana Maggiore a PG, il Recupero di San Francesco al Prato, la Cisterna dell'Alessi, il campanile di S. Pietro e alla sede del Tribunale ed Uffici Giudiziari in Perugia; in Assisi il Monastero di S. Giuseppe, un tratto delle mura Urbiche, il Palazzo del Monte Frumentario. Nel 2000 vince il 1º premio (ex-equo) Sisto Mastrodicasa. Nel 2007 riceve menzione speciale per il consolidamento e restauro del campanile dell'abbazia di San Pietro a Perugia.