

7.4 Interventi con ponteggi metallici

- Scheda P1 – L’Aquila. Palazzo della Camera di Commercio o dei Quattro Cantoni.
- Scheda P2 – L’Aquila. Chiesa di San Silvestro.

SCHEMA INTERVENTO**P1**

Palazzo della Camera di Commercio o dei quattro Cantoni

L'Aquila – corso Vittorio Emanuele

DTS: Marchione.
ROS: Lambresa, Sgroi.
Squadre: VVF Modena, Forlì-Cesena e Massa Carrara,
 SAF Emilia-Romagna e Sicilia.

1. INQUADRAMENTO

L'edificio, detto anche "dei quattro cantoni", è situato lungo corso Vittorio Emanuele alla confluenza con corso Principe Umberto ed è sede della Camera di Commercio dell'Aquila.

Il palazzo, che occupa un intero isolato, si sviluppa su 4 livelli e ha, al suo interno, alcune corti attorno alle quali si articolano vari corpi di fabbrica che trovano sbocco ed espressione nella facciata neoclassica, scandita dal maestoso porticato formato da volte a crociera a tutto sesto.

Le dimensioni dell'edificio sono considerevoli, con una pianta rettangolare di 84 x 56 m e un'altezza di 17 m circa.

Al momento del terremoto il palazzo ospitava anche il Convitto Nazionale.

L'edificio si trova in un punto della città che costituisce snodo nevralgico per transito sugli assi viari antistanti.



Localizzazione del palazzo della Camera di Commercio,
alla confluenza tra corso Vittorio Emanuele e corso Principe Alberto (www.bing.maps)

2. SCENARIO DI DANNO

L'edificio ha riportato un quadro complessivo di dissesto caratterizzato dal lesionamento delle strutture verticali (pannelli murari e colonne) e dal crollo di numerose volte.

Sono risultati prevalenti quadri fessurativi a taglio e lesioni derivanti dall'attivazione di meccanismi di collasso per rotazione fuori piano delle pareti perimetrali e schiacciamento alla base dei pilastri del porticato che si affaccia su corso Vittorio Emanuele.

Particolarmente grave appariva il dissesto in corrispondenza dello spigolo situato tra i corsi Vittorio Emanuele e Principe Umberto, con un distacco verticale ampio decine di centimetri.

In sintesi, i principali dissesti subiti dall'edificio sono consistiti in:

- crollo di numerose volte e di alcune porzioni della copertura;
- lesionamento delle colonne al piano terra;
- lesionamento di numerosi pannelli murari per meccanismi a taglio;
- sconnessione del cornicione e della colonna d'angolo fra corso Vittorio Emanuele e corso Principe Umberto.

Repertorio dei danni	
	Angolata fra corso Vittorio Emanuele e corso Principe Umberto Sconnessione in corrispondenza dello spigolo. La connessione d'angolo è indebolita dalle rientranze eseguite per motivi architettonici.
	Angolata fra corso Vittorio Emanuele e corso Principe Umberto Il distacco fra i due paramenti murari convergenti ha un'ampiezza di diverse decine di centimetri determinando un evidente fuori piombo che definisce una situazione di crollo imminente.
	Volte interne Nell'edificio si è verificato il crollo generalizzato delle volte d'interpiano.

Repertorio dei danni	
	Volte interne Le volte interne sono completamente crollate a seguito degli spostamenti relativi delle pareti di imposta. Le volte che caratterizzano l'edilizia storica aquilana si sono rivelate assai vulnerabili all'azione sismica, in quanto incapaci di assorbire gli spostamenti delle pareti di imposta provocati dal sisma.
	Volte interne Le volte ribassate presenti all'interno dell'edificio sono crollate. Le volte del porticato esterno, lungo gli assi viari, a tutto sesto e di migliori caratteristiche costruttive hanno invece riportato danni più limitati.
	Lesionamento delle colonne Le colonne del porticato, realizzate in elementi in pietra e in laterizio, in qualche caso intercalati da getti di calcestruzzo di rinzafo, presentano significative dislocazioni dei conci, con evidenti effetti di espulsione laterale. La foto evidenzia i primi interventi di cerchiatura nelle parti maggiormente lesionate.

3. STRATEGIE DI INTERVENTO PER LA MESSA IN SICUREZZA

Tenuto conto del quadro di danneggiamento subito dall'edificio e in considerazione della posizione strategica dello stesso dal punto di vista del sistema viario del centro storico, l'obiettivo principale è stato quello di conferire sicurezza al transito di persone e automezzi nello spazio antistante l'edificio. Infatti già nell'immediatezza dell'evento sismico, a presidio dell'edificio sono stati realizzati alcuni interventi di carattere urgente, finalizzati a scongiurare crolli imminenti, consistenti in cerchiatura delle colonne e tirantature delle pareti lesionate.

La strategia di intervento ha mirato a contrastare ulteriori movimenti degli impalcati e a rafforzare lo spigolo dell'edificio gravemente lesionato, contenendo gli spostamenti nei piani delle pareti ortogonali che su di esso convergono.

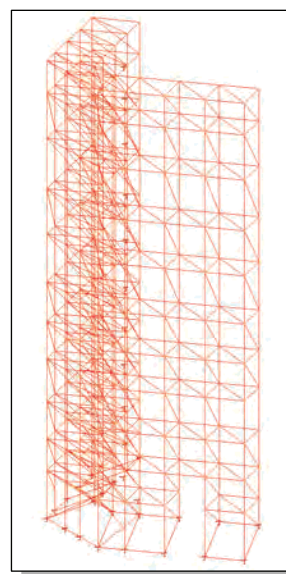
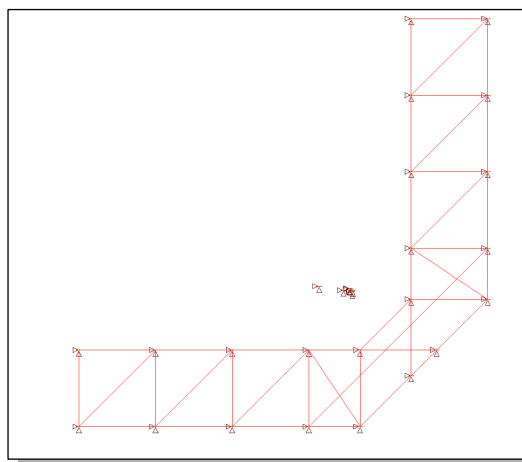
Si è optato per una soluzione in tubolare metallico con sistema a tubi-giunti, al fine di ottenere un'opera provvisoria sufficientemente rigida, nonostante la rilevante altezza dell'edificio presidiato, limitando, per quanto possibile, l'ingombro degli assi viari. Tale tipologia di opera avrebbe consentito anche di tener conto in modo appropriato delle irregolarità geometriche della facciata rappresentate dalle cornici di piano e dal fuori piombo della colonna d'angolo.

Si è prevista quindi l'installazione di un presidio d'angolo, a forma di L, le cui ali si sviluppano lungo le pareti convergenti e da porre a ridosso dello spigolo fortemente lesionato con funzione di rinforzo e di contrasto al ribaltamento.

Nello specifico, l'opera provvisoria da installare era caratterizzata da:

- mensole reticolari che si sviluppavano in altezza, collegate a tutti i livelli per assicurare la loro mutua collaborazione;
- estensione delle due ali dell'opera provvisoria a presidio d'angolo, lungo le due pareti ortogonali convergenti sullo spigolo lesionato per una lunghezza ritenuta utile per ottenere un funzionamento per forma della struttura a maggiore garanzia della stabilità globale dell'opera.

Estratto dello schema di intervento richiesto ai VVF dal MiBAC



Pianta e assonometria dell'opera provvisoria a presidio dell'angolo lesionato (Archivio NCP).

4. ANALISI SCENARIO OPERATIVO E PIANIFICAZIONE INTERVENTO

Dopo la prima fase legata alle esigenze di accessibilità dei mezzi di soccorso nel centro storico, nella quale sono stati posti in atto i primi interventi urgenti di messa in sicurezza, la pianificazione finalizzata alla realizzazione dell'opera provvisoria è stata condizionata dalla necessità di portare a compimento l'intervento provvisorio in tempo utile per gli eventi del G8 nel luglio 2010.

Lo scenario operativo richiedeva il mantenimento della praticabilità delle vie prospicienti l'edificio, in quanto risultavano strategiche per l'accesso al centro storico; per questo motivo la pianificazione ha previsto l'utilizzo, come mezzi di supporto all'intervento, di sole autoscale VVF, opzione che risultava compatibile con le esigenze operative legate alla tecnologia tubi-giunti.

L'impiego di tale tecnologia ha, peraltro, consentito di pianificare l'intervento ricorrendo al trasporto dei materiali e delle attrezzature direttamente da parte dei Vigili del Fuoco, mediante autocarro dotato di gru; ciò anche a garanzia di una migliore gestione delle esigenze operative legate al mantenimento della transitabilità dei mezzi di soccorso e alle criticità del sito.



Pulizia del cantiere dalle macerie
(Archivio NCP).



Allestimento dell'area di deposito dei materiali
(Archivio NCP).

5. REALIZZAZIONE INTERVENTO

A integrazione e completamento degli interventi urgenti realizzati nell'immediato post-sisma, è stata realizzata l'opera provvisoria ad L, con la tecnologia tubi-giunti, secondo le seguenti fasi operative.

Vincolo a terra dei piedritti

I piedritti adiacenti l'edificio, che in caso di spinta sull'opera provvisoria tenderebbero a sollevarsi, sono stati vincolati al suolo mediante un getto di calcestruzzo, entro la quale è annegato un pozzetto con funzione di vincolo del piedritto. Nel pozzetto, che è stato armato e riempito di calcestruzzo, trova alloggiamento il montante, che porta al piede un giunto a perdere che favorisce l'aderenza con il calcestruzzo.

I vincoli dei piedritti compressi sono stati realizzati in semplice appoggio sulla pavimentazione.

Montaggio dell'opera

Il montaggio dell'opera è avvenuto seguendo le specifiche di progetto e le tecniche proprie del sistema tubi-giunti, impiegando autoscale VVF come mezzo di supporto operativo per la movimentazione degli elementi metallici e per la garanzia della sicurezza delle operazioni in quota.

Elementi di contrasto

Il contrasto dei movimenti delle parti strutturali presidiate è stato realizzato mediante basette regolabili, in semplice appoggio sulle pareti e sulle colonne. Particolare attenzione è stata prestata nell'interporre elementi di diffusione del carico tra i sistemi di contrasto dell'opera provvisoria e l'edificio, evitando così il più possibile azioni concentrate.

Cerchiatura delle colonne

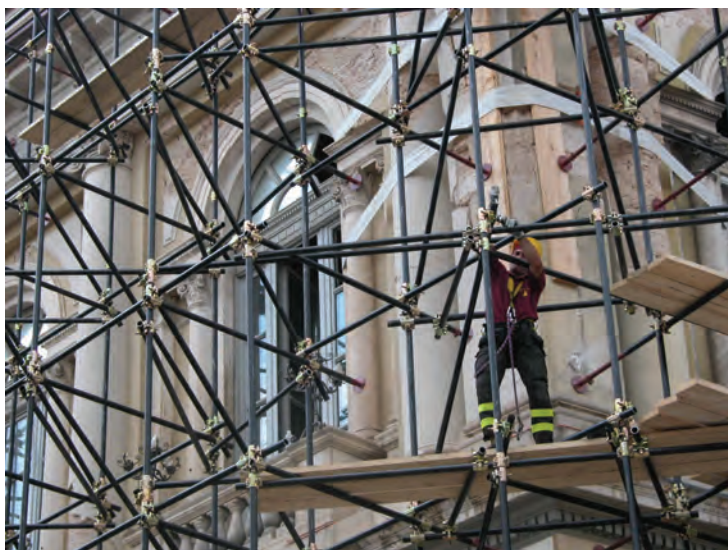
Completando l'intervento urgente già realizzato nel periodo immediatamente successivo al sisma, tutte le colonne dell'edificio sono state cerchiare mediante fasce di poliestere su profili in acciaio, seguendo le specifiche della scheda STOP-CP.

Interventi di completamento

Al fine di garantire idonee condizioni di sicurezza per il passaggio fronte strada è stata realizzata una mantovana di protezione dalla possibile caduta di frammenti.

Fasi realizzative	
	Vincoli al suolo Predisposizione del sistema di ancoraggio al suolo dei piedritti adiacenti l'edificio mediante la realizzazione di un basamento in cemento armato entro il quale è annegato un pozzetto con funzione di vincolo del piedritto.
	Elementi di contrasto Il contrasto sull'edificio è stato realizzato mediante un diffuso sistema di basette regolabili in semplice appoggio sulle pareti e sulle colonne, interponendo morali in legno opportunamente lavorati per la diffusione del carico, evitando così le azioni concentrate in particolare sulle colonne.
	Cerchiatura delle colonne Tutte le colonne dell'edificio sono state cerchiare mediante fasce di poliestere su profili in acciaio, disposte a passo costante. La forma geometrica della colonna ha richiesto l'applicazione di profili verticali di acciaio a protezione degli spigoli e dei punti di maggiore curvatura.

Fasi realizzative



Opere in elevazione

Nella realizzazione della struttura reticolare è necessario che i nodi siano assimilabili ad un punto, ossia che nelle confluenze delle aste i giunti siano il più possibile accostati.



Vista d'insieme

Vista dell'opera provvisoria ad L, installata in corrispondenza dell'angolo lesionato e realizzata in tubi-giunti.



Realizzazione della mantovana

Innestandosi sui montanti, è stata realizzata un'ampia mantovana di protezione dalla possibile caduta di frammenti.

6. TEMPI REALIZZAZIONE, MEZZI, MATERIALI E UOMINI IMPIEGATI

L'intervento è stato portato a termine in 3 settimane consecutive.

È stato impiegato personale dei Comandi di Modena e Forlì-Cesena e squadre SAF dell'Emilia-Romagna e della Sicilia.

I mezzi d'opera utilizzati sono stati:

- autoscale VVF;
- piccola betoniera ad azionamento elettrico.

7. MIGLIORAMENTO E GENERALIZZAZIONE DELLE SOLUZIONI

Senza dubbio la tecnologia tubo-giunto costituisce una soluzione che, per la sua modularità, rapidità e facilità di montaggio, si presta a definire soluzioni standard, potenzialmente implementabili in una pluralità di situazioni nelle quali è necessario realizzare delle opere provvisorie post-sisma.

Ulteriori elementi a favore di questa tecnologia sono:

- la relativa facilità del trasporto del materiale anche in zone che presentano ancora delle criticità sotto il profilo della sicurezza, in quanto le piccole dimensioni e il peso relativamente modesto dei singoli elementi consentono di ricorrere a mezzi poco ingombranti;
- la possibilità di effettuare movimentazione di carico-scarico anche con gru di piccola portata;
- la possibilità di gestire la movimentazione in quota degli elementi mediante l'impiego di autoscale VVF;
- la facilità di smontaggio con recupero completo del materiale per un successivo potenziale riutilizzo.

L'impiego di tale tecnologia in casi particolari, come quello riportato in questa scheda, richiede, tuttavia, una progettazione *ad hoc* rivolta soprattutto a verificare la stabilità complessiva dell'opera.

È in ogni caso possibile procedere con una standardizzazione delle opere in ponteggi metallici per scenari e schemi di riferimento in analogia a quanto fatto per le opere provvisorie in legno.

SCHEMA INTERVENTO

P2



Chiesa di San Silvestro

L'Aquila – piazza San Silvestro

DTS: Ambrosio, Anecchini, Bozzo, Gamberi, Gentile, Giovino, Lucidi, Panella, Marchione, Martoni, Monzoni, Pozzi, Turco.

ROS: Agostinone, Aliberti, Bennardo, Bonfiglio, Ceolin, De Marco, Ferreri, Grande, La Macchia, La Veglia, La Mendola, Leone, Loppi, Mallus, Manoni, Miconi, Onnis, Pasqua, Rossi, Zampa.

Squadre: VVF Forlì-Cesena, Massa, Pescara, Rieti, Viterbo. SAF Emilia-Romagna, Sardegna, Sicilia.

1. INQUADRAMENTO

La piazza San Silvestro, appena ai margini del centro storico dell'Aquila, è dominata dall'omonima chiesa, la cui facciata si erge al culmine di una scalinata di nove gradini.

L'organismo architettonico della chiesa, costruita tra il XIII e il XIV secolo, è suddiviso in tre navate da due file di sette arcate ogivali che si appoggiano su colonne a pianta circolare e che terminano nei tre ambienti absidali a pianta poligonale.

La chiesa, di impostazione gotica, è caratterizzata da arcate ogivali snelle e finestrature esili. La facciata rettangolare è caratterizzata da un ampio rosone a raggiera.

La torre campanaria sventa sul lato destro della facciata; altre emergenze architettoniche sono la cappella laterale, la preesistente torre dell'antica cinta muraria della città ed il sistema delle tre absidi.

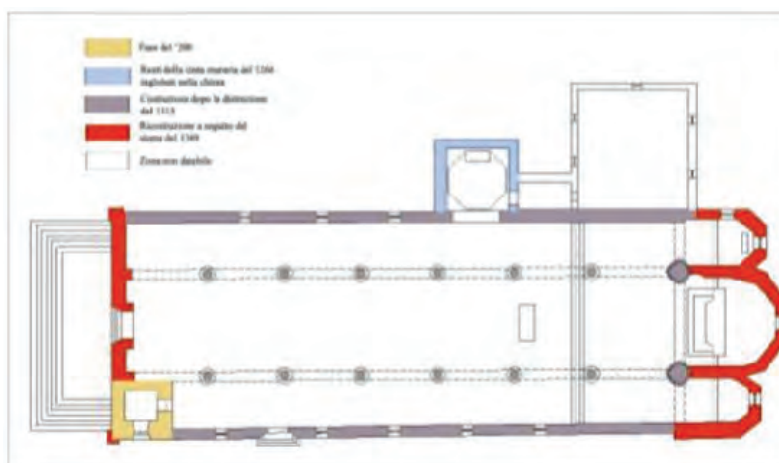
Dati metrici principali:

pianta rettangolare 20 x 48 m

altezza massima facciata 19.2 m

altezza massima interna 17.6 m

altezza campanile: 32 m



Pianta della chiesa di San Silvestro in L'Aquila (Archivio NCP).

2. SCENARIO DI DANNO

L'evento sismico del 6 aprile 2009 ha inferto profonde ferite all'edificio, evidenziandone numerose vulnerabilità senza tuttavia determinarne il crollo.

Il rilievo dei danni effettuato dai tecnici del MiBAC ha evidenziato il quadro di dissesto di seguito descritto.

Sistema facciata-campanile

Nella chiesa di San Silvestro facciata e campanile sono strutturalmente integrati; l'analisi dei danni ha evidenziato lesioni determinate dal comportamento fuori piano della facciata, non adeguatamente trattenuto dalle pareti laterali della chiesa e dal sistema delle arcate ogivali, che ha interessato anche il campanile.

Porzione superiore sinistra della facciata

Il quadro fessurativo ha evidenziato un ulteriore cinematismo interno alla facciata, la cui parte sommitale sinistra, che emerge per più di 8 metri dai piani delle falde, ha manifestato anche l'innescio di un ribaltamento in senso opposto al fuori piano di facciata. In tale movimento la porzione triangolare del timpano, emergente al di sopra delle coperture, non ha trovato il contrasto offerto dalle strutture delle navate. L'azione sismica ha quindi mobilitato la sua rotazione, lesionandola lungo una linea di cerniera inclinata secondo la linea di falda.

Campanile

Il quadro fessurativo del campanile è legato all'interazione dinamica tra l'oscillazione propria e il comportamento della facciata, e si è caratterizzato anche per fenomeni di martellamento.

Le lesioni subite erano riconducibili anche ad un moto torsionale dovuto all'asimmetria in pianta delle strutture murarie del campanile, essendo due di esse più rigide delle altre in quanto integrate alle murature perimetrali della chiesa.

Il quadro fessurativo ha interessato anche la parte interna in corrispondenza delle navate adiacenti il campanile.

Absidi

Il sistema delle absidi è stato interessato da un lesionamento sulle pareti perimetrali e sulle volte riconducibile ad un principio di ribaltamento verso l'esterno.

Arcate ogivali

Le prime due arcate ogivali hanno evidenziato un quadro fessurativo connesso con la rotazione fuori piano della facciata, mentre le ultime due hanno riportato rilevanti lesioni legate alla rotazione delle strutture absidali, costituenti anch'esse una spalla delle arcate.

Un grave dissesto locale ha riguardato la vela muraria sovrastante l'ultima arcata ogivale destra, caratterizzata da una disgregazione parziale della muratura, che ha messo a repentaglio la stabilità delle capriate che si innestano su di essa.

Colonne

Le colonne che sorreggono le arcate ogivali hanno mostrato vistose evidenze di schiacciamento alla base.

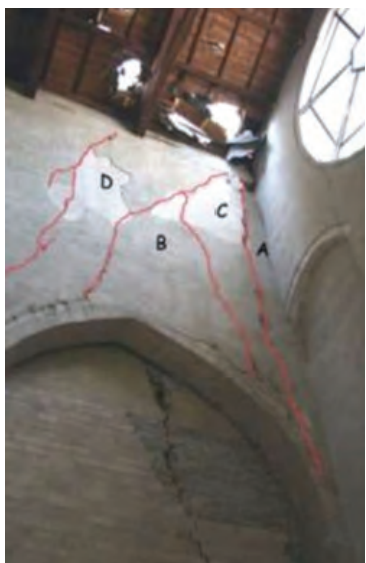
Cappella laterale

La cappella laterale, parzialmente integrata nella parete di navata, ha riportato un grave danneggiamento che ha interessato in particolare la copertura a volta che si raccorda alle murature perimetrali mediante pennacchi in parte crollati.

Coperture

Si è riscontrata la perdita di integrità delle coperture a causa del movimento delle pareti di testata e degli svergolamenti delle vele sovrastanti gli archi ogivali. Il dissesto è stato più grave in corrispondenza della facciata dove si sono verificati lo sfilamento di tutti gli arcarecci di testata ed il crollo della porzione di copertura adiacente al campanile.

Nota: un compiuto esame dei meccanismi di danneggiamento è contenuto nel documento “Caso di Studio: Chiesa in San Silvestro nel centro storico de L’Aquila” redatto dal gruppo di lavoro coordinato dal prof. Borri dell’Università di Perugia, che ha costituito utile premessa agli interventi provvisori e al quale si rimanda per ulteriori approfondimenti. Da tale documento sono tratte alcune delle immagini e delle rappresentazioni grafiche riportate nella presente sezione.

Repertorio dei danni	
	Complesso facciata-campanile La facciata e il campanile mostrano articolati lesionamenti derivanti dalla rotazione verso l'esterno, dai cinematismi della parte del campanile emergente e della porzione sinistra della facciata al di sopra del corpo delle navate.
	Prima arcata ogivale sinistra Stato di dissesto connesso alla rotazione della facciata e allentamento dell'arco ogivale sinistro. La porzione indicata in figura con la lettera A è traslata orizzontalmente insieme alla facciata, determinando l'abbassamento della vela muraria (B) e la lesione lungo la congiunzione con l'imposta (C). Sullo sfondo si nota l'effetto di sfilamento degli arcarecci di testata.
	Prima arcata ogivale destra Il quadro dei lesionamenti è complicato dall'interazione con il campanile, che ha spinto la vela muraria sovrastante l'arcata dislocandola fuori dal proprio piano.

Repertorio dei danni	
	Prima arcata ogivale destra Il cordolo in cemento armato che corre al di sopra delle arcate, collegando le capriate di copertura alle vele murarie, ha subito dislocazione fuori dal proprio piano, denunciando il debole ammorsamento con la facciata. Ne è derivato il crollo di parte della copertura.
	Ribaltamento della porzione sommitale sinistra della facciata La porzione di facciata, indicata in figura con la lettera A, si è comportata come una mensola impostata lungo la linea di cerniera obliqua, evidenziata dalla lesione ubicata in corrispondenza della zona di contrasto offerto dalle pareti longitudinali e dalle strutture di copertura. La parte cerchiata evidenzia la regione interessata dalle lesioni determinate dall'interazione dinamica tra campanile e facciata.
	Campanile Le lesioni a 45° che interessano la parete perimetrale ortogonale alla facciata sono legate al cinematismo che ha caratterizzato la risposta sismica del campanile.

Repertorio dei danni	
	Campanile Il cinematisimo di oscillazione della parte alta del campanile ha comportato anche lo schiacciamento, per compressione, dell'angolata in primo piano nella foto.
	Colonne Tutte le colonne che sorreggono le arcate ogivali mostrano, alla base, vistosi segni di schiacciamento caratterizzate da espulsione di parte del materiale.
	Cappella laterale Evidenza di dissesti presenti nei muri perimetrali in corrispondenza della cappella laterale, ricavata in corrispondenza di una torre dell'antica cinta muraria preesistente alla chiesa.

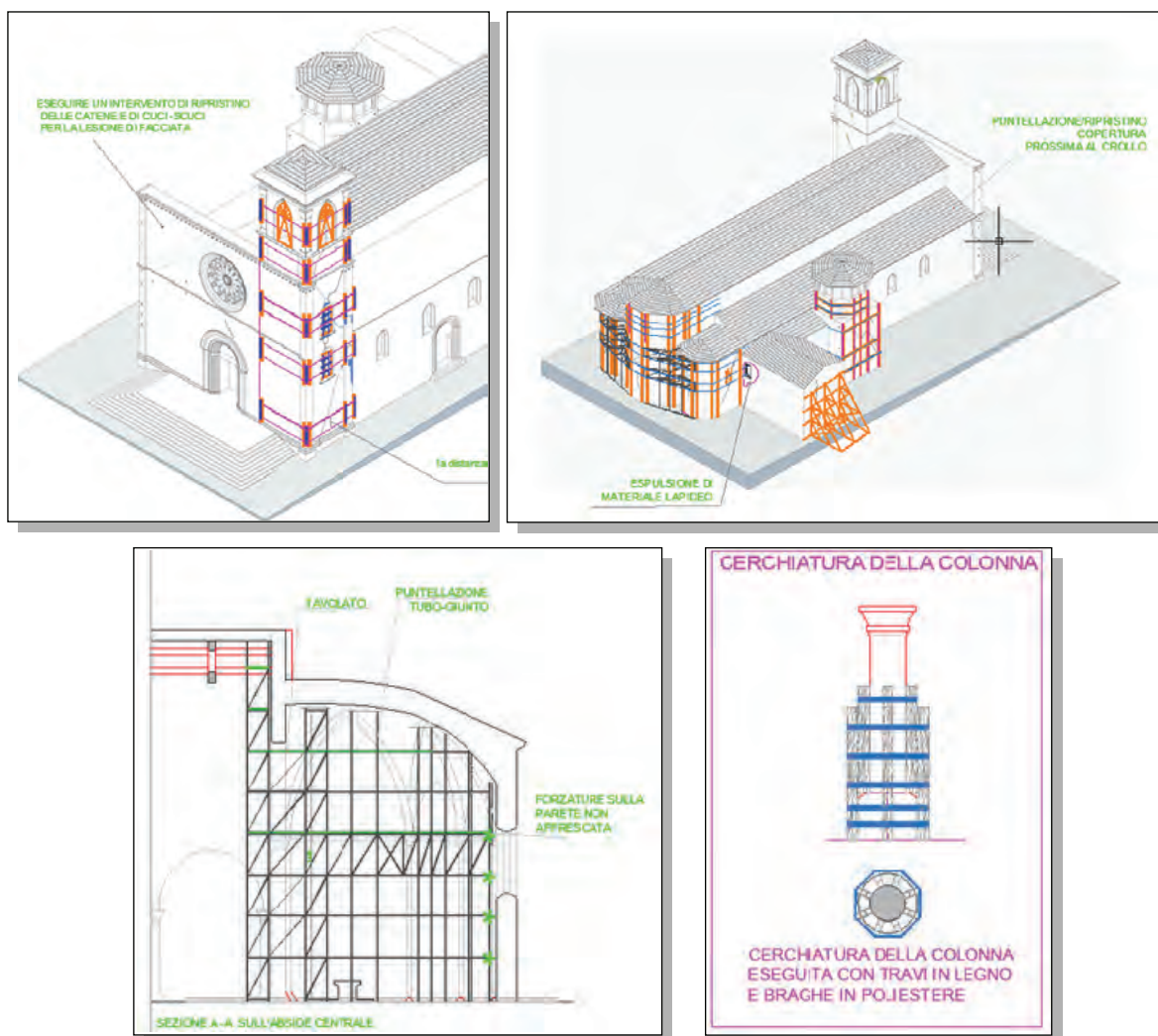
Repertorio dei danni	
	Pennacchi della cappella laterale I pennacchi che sorreggono la volta della cappella laterale presentano crolli e sgretolamenti. Particolarmente colpiti risultano i pennacchi che si raccordano con la parete perimetrale della chiesa.
	Absidi Il sistema delle absidi ha subito un principio di ribaltamento verso l'esterno (indicato in figura dalla freccia) che ha comportato il lesionamento delle pareti ed il danneggiamento delle volte.

3. STRATEGIE DI INTERVENTO PER LA MESSA IN SICUREZZA

Tenendo conto dello specifico quadro di danneggiamento subito dall'edificio, i tecnici MiBAC di concerto con quelli del NCP hanno definito una prima strategia di intervento per la messa in sicurezza comprendente:

- cerchiaggio del campanile;
- cerchiaggio dei pilastri;
- puntellamento dei primi due archi all'ingresso;
- puntellamento interno delle absidi e della cappella laterale;
- riparazione delle coperture;
- cinturazione delle absidi e della cappella laterale.

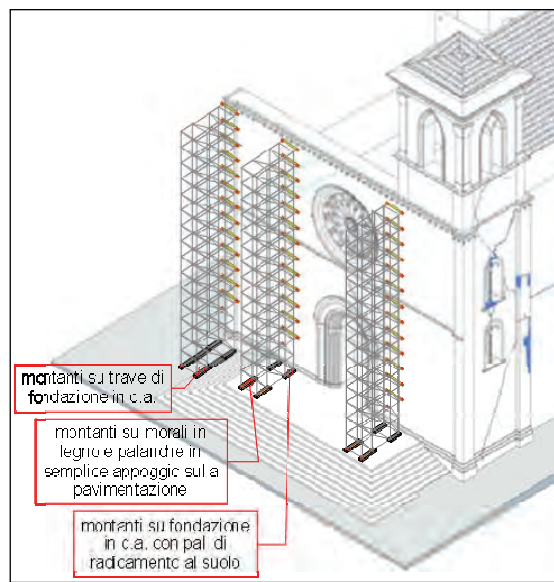
Estratto dell'intervento richiesto ai VVF dal MiBAC



Schemi di intervento richiesti ai VVF dal MiBAC (Archivio NCP).

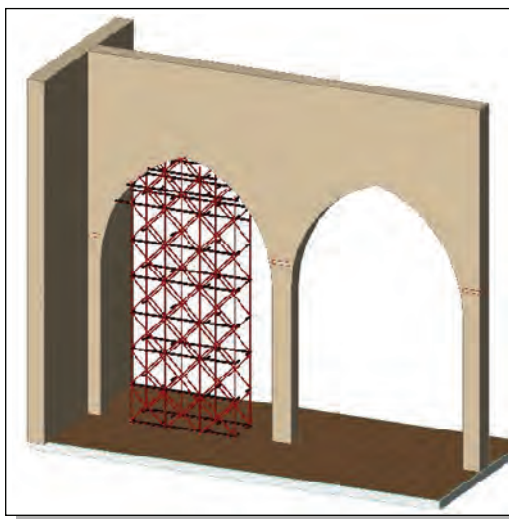
In sede di attuazione, tenuto conto degli aggravamenti indotti dalle repliche sismiche, si è ritenuto di completare gli interventi inizialmente previsti con le seguenti misure:

- *stabilizzazione della facciata*. È stato previsto di intervenire, per contrastare il ribaltamento della facciata, realizzando tre torri di ritegno da posizionare sulla gradinata di accesso alla chiesa, in corrispondenza delle pilastrate interne e della parete laterale sinistra;



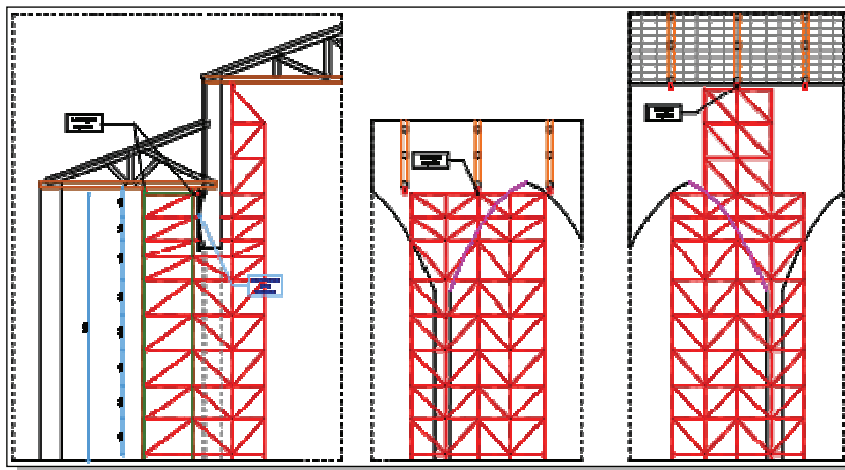
Schema delle torri di stabilizzazione della facciata (Archivio NCP).

- *puntellamento delle prime due arcate ogivali*. Da realizzarsi mediante strutture a tubi-giunti con funzione anche di irrigidimento nella direzione longitudinale per limitare gli spostamenti delle colonne in pietra;



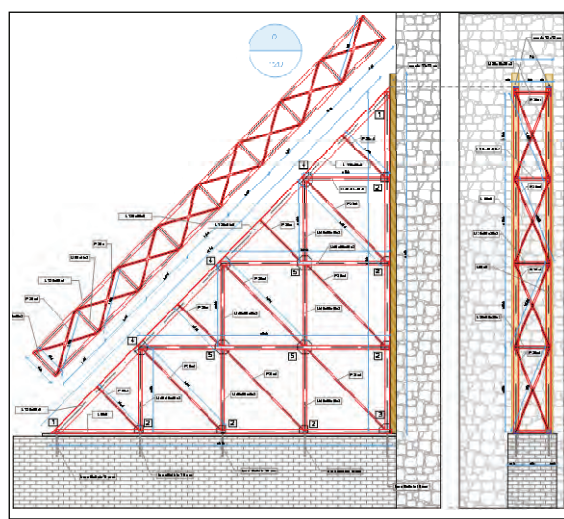
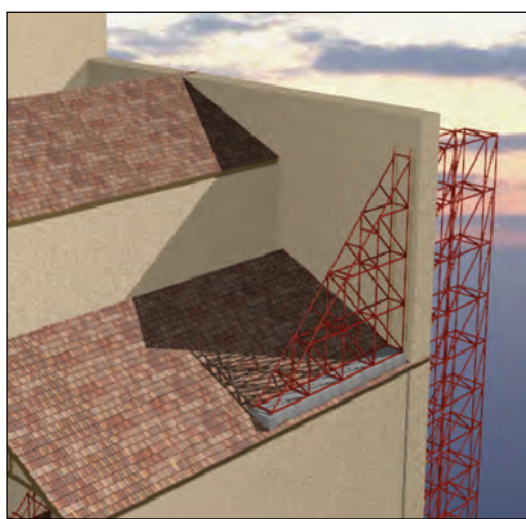
Schema del puntellamento delle prime due arcate ogivali (Archivio NCP).

- *puntellamento ultimo arco ogivale destro*. Lo scopo dell'intervento era di far fronte al grave dissesto che interessava l'imposta di una delle capriate laterali mediante la realizzazione di una struttura tubi-giunti. Tale struttura doveva:
 - riportare a terra il carico della capriata laterale surrogando l'azione di vincolo svolto dalla vela muraria danneggiata;
 - esercitare un'azione di confinamento della vela stessa per impedirne il crollo;
 - riportare a terra i carichi di una capriata della navata centrale, la cui imposta insiste su una muratura affetta da una grave lesione.



Schema del puntellamento ultimo arco ogivale destro (Archivio NCP).

- *stabilizzazione della porzione superiore sinistra della facciata*. Per contrastare la rotazione verso la chiesa della porzione della facciata che emerge per oltre 8 metri dal piano delle falde, sulla parete perimetrale ortogonale alla facciata è stata prevista l'installazione di una mensola in carpenteria metallica, realizzata fuori opera.



Schema della stabilizzazione della porzione superiore sinistra della facciata (Archivio NCP).

4. ANALISI SCENARIO OPERATIVO E PIANIFICAZIONE INTERVENTO

La complessità dello scenario operativo è stata accentuata dall'aggravamento dello stato fessurativo conseguente l'evento sismico del 12 luglio 2009, che ha provocato anche la caduta di frammenti.

L'intervento, avviato nel mese di luglio 2009, è stato ripreso nel mese di gennaio 2010, con nuove soluzioni progettuali, la cui attuazione doveva tener conto dei lavori già avviati.

La frequente caduta di frammenti ha richiesto alcune bonifiche mirate e il monitoraggio delle principali lesioni attraverso il posizionamento di alcuni fessurimetri.

Gli interventi per la messa in sicurezza sono stati ripianificati come segue:

- sospensione del puntellamento dell'abside sinistro;
- prosecuzione del consolidamento della cappella laterale;
- avvio del cerchiaggio del campanile;
- stabilizzazione della facciata;
- cerchiatura delle colonne;
- puntellamento degli archi ogivali;
- cinturazione delle absidi.

Per eseguire le opere in altezza si è fatto ricorso ad un'autogru privata, posizionata nella piazza in zona sicura rispetto al potenziale crollo della facciata.

Per limitare l'esposizione degli operatori al rischio di crolli, si è previsto di preassemblare a terra le torri di facciata per spezzoni, e l'utilizzo dell'autogrù per il sollevamento e la posa in opera.

Per il cerchiaggio del campanile si è prevista la foratura delle spesse pareti perimetrali, mediante adatta carotatrice.

Per consolidare la volta interna della cappella laterale si è optato per l'utilizzo di malta fibrorinforzata bicomponente armata con rete di fibra di vetro.

5. REALIZZAZIONE INTERVENTO

La realizzazione dell'intervento ha seguito gli schemi progettuali e le fasi di intervento pre-pianificate come di seguito indicato.

Cerchiatura del Campanile

L'intervento di cerchiatura, preceduto dalla sbadacchiatura delle bifore, si è dimostrato particolarmente impegnativo sia per le forature da eseguire sulle spesse pareti perimetrali al fine di consentire il passaggio dei cavi, sia per le interferenze di carattere geometrico con la traiettoria dei cavi stessi, che hanno reso necessario ridefinire la posizione delle linee di cerchiaggio inizialmente previste.

Torri di facciata

Le tre torri di facciata, realizzate mediante strutture in tubi-giunti, costituiscono altrettante mensole reticolari incastrate al piede. Per realizzare la condizione di vincolo alla base, i piedritti adiacenti alla facciata sono stati ancorati al suolo mediante piccoli pali trivellati. Ciò ha richiesto la foratura di elementi di pavimentazione per la costruzione dei pali ed il confezionamento di piccole travi in cemento armato di collegamento tra le testate dei pali e la base dei piedritti. Tra la trave e la pavimentazione è stato interposto un foglio di plastica al fine di facilitare, in fase di restauro definitivo, la rimozione dell'opera provvisoria.

Il contrasto dei movimenti dell'edificio è stato attuato mediante basette regolabili in semplice appoggio sulla parete attraverso tavole di legno.

La forzatura delle basette di contrasto ha consentito di stabilizzare gli archi ogivali mediante il sostegno della loro spalla e di ridurre le lesioni di distacco della facciata.

Mensola di ritegno della porzione superiore sinistra della facciata

La mensola, costituita da profilati di acciaio verniciato, è stata realizzata fuori opera e successivamente montata, con l'ausilio dell'autogru, in sommità al muro longitudinale.

L'intervento ha richiesto la rimozione del manto di copertura nella parte interessata e la regolarizzazione del piano di posa tramite piccoli getti di malta realizzati sul cordolo in c.a. che corre sulla parete. Il vincolo della mensola alla parete è stato realizzato mediante barre filettate, fissate con ancorante chimico. Il contrasto della facciata è stato realizzato in semplice appoggio tramite morali verticali in legno fissati alla mensola con viti.

Puntellamento e consolidamento della cappella laterale

Anche il puntellamento della cappella si è rivelato particolarmente impegnativo a causa della gravità del dissesto, che ha richiesto l'esecuzione di una complessa struttura in tubi-giunti adattata alla complessa geometria della cappella e, soprattutto, della sua volta. A sostegno di quest'ultima è stata eseguita un'articolata centina in legno poggiante sulla struttura a tubi-giunti.

Il ricorso a malte fibrorinforzate, per stabilizzare le murature disgregate, ha trovato giustificazione nella gravità delle lesioni riscontrate che richiedevano la ricostituzione almeno parziale della massa muraria dei pennacchi.

Cerchiaggio delle colonne

Le esili colonne che sorreggono le arcate ogivali sono state cerchiare con fasce in poliestere impostate su morali in legno disposti verticalmente a ridosso delle colonne.

Puntellamento delle arcate ogivali

Tutti i puntellamenti delle arcate ogivali sono stati realizzati mediante strutture a tubi-giunti e, oltre allo scarico delle rispettive arcate, hanno assolto alle seguenti ulteriori funzioni statiche:

- irrigidimento longitudinale dell'edificio;
- ritegno del paramento murario fortemente dissestato (prima arcata ogivale destra);
- sostegno della campata di testata della copertura (prima arcata ogivale sinistra).

Puntellamento capriata dell'ultima campata destra

L'intervento, che ha inteso far fronte al grave dissesto che interessa l'imposta di una delle capriate laterali sull'arco ogivale, è stato realizzato mediante una struttura a tubi-giunti seguendo le indicazioni dello schema progettuale precedentemente definito.

Riparazione delle coperture

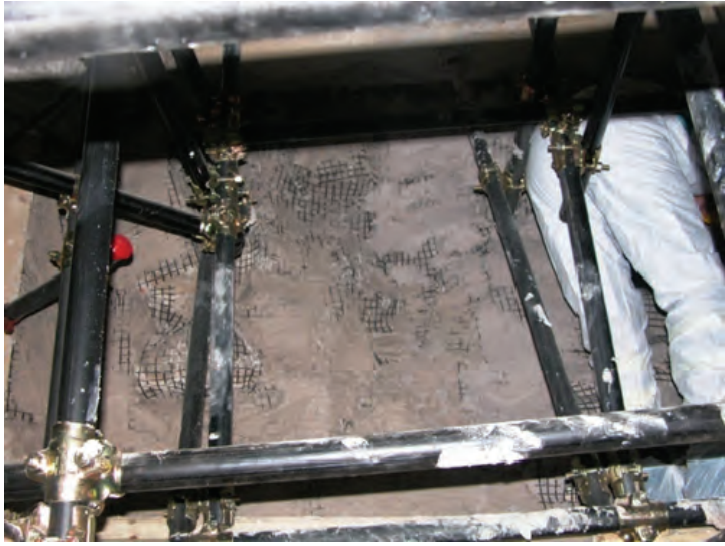
Man mano che i diversi interventi venivano portati a compimento, si è provveduto a riparare le coperture danneggiate presenti nelle varie aree di intervento per limitare le infiltrazioni di acque meteoriche.

Al momento della redazione della presente scheda il puntellamento e la cinturazione delle absidi non erano ancora iniziati.

Fasi realizzative	
	Sbadacchiatura delle bifore del campanile Il cerchiaggio della torre campanaria è stato preceduto dalla sbadacchiatura delle bifore trilobate sovrapposte del campanile.
	Cerchiaggio del campanile Per tale intervento sono stati utilizzati angolari in acciaio poggianti su tavole in legno di spessore 5 cm e cavi di diametro 16 mm.
	Torri di facciata Realizzazione delle torri di presidio al ribaltamento della facciata, posizionate all'esterno, sulla gradinata di accesso alla chiesa e ai margini della stessa, in corrispondenza delle pilastrate interne e della parete perimetrale sinistra. Tali presidi, realizzati in tubi-giunti, lavorano come mensole reticolari accoppiate, di dimensioni in pianta 1.2 x 3 m, che si sviluppano per tutta l'altezza della facciata.

Fasi realizzative	
	Torri di facciata Sono stati eseguiti 14 livelli di contrasto della facciata, ottenuti mediante basette regolabili, interponendo tra l'opera provvisoria e la facciata dell'edificio tavole orizzontali di ripartizione dei carichi, in semplice appoggio sulla parete e chiodate alle basette.
	Basamento torri di facciata Particolare del collegamento tra i pali trivellati nel terreno e i tubi della struttura reticolare, con trave in cemento armato (nella foto, prima del getto di calcestruzzo). Tra la pavimentazione e le travi è stato interposto un foglio di plastica che, impedendo al calcestruzzo di aderire alla pavimentazione, faciliterà la rimozione dell'opera provvisoria nel corso dei restauri definitivi.
	Ancoraggio delle torri alla facciata Il passaggio dei cavi per l'ancoraggio della facciata ha richiesto la foratura delle spesse pareti, che è stata eseguita a mezzo di apposita carotatrice. L'intervento è stato concordato con il MiBAC.

Fasi realizzative	
	Mensola di ritegno della porzione superiore sinistra della facciata Realizzazione fuori opera della mensola in acciaio per la stabilizzazione della porzione superiore sinistra della facciata.
	Cerchiatura delle colonne Cerchiatura delle colonne, che sorreggono gli archi di navata, mediante fasce di poliestere impostate su morali in legno disposti verticalmente.
	Puntellamento della cappella laterale Vista della complessa struttura in tubi-giunti per il puntellamento della cappella laterale. L'opera ha dovuto adattarsi alla geometria della volta.

Fasi realizzative	
	Consolidamento della cappella laterale Realizzazione del placcaggio mediante malta fibrorinforzata, armata con rete di fibra di vetro, per consolidare i pennacchi della volta, che presentavano crolli e sgretolamenti.
	Puntellamento capriata sull'ultima campata a destra L'intervento, che è stato realizzato mediante una struttura a tubi-giunti, svolge una triplice funzione: sostenere una delle capriate della navata laterale, confinare la massa muraria disgregata e sostenere una capriata della navata centrale che poggiava su una muratura gravemente lesionata.

6. TEMPI REALIZZAZIONE, MEZZI, MATERIALI E UOMINI IMPIEGATI

L'intervento, realizzato a più riprese, è stato portato a termine attraverso l'utilizzo di una pluralità di squadre, anche operanti contemporaneamente:

- unità del Comando VVF di Pescara si sono occupate dei puntellamenti dell'abside sinistro, degli archi ogivali e della cappella laterale;
- unità dei Comandi di Forlì-Cesena e Latina hanno effettuato il consolidamento mediante malta fibrorinforzata della cappella;
- il nucleo SAF Sardegna ha realizzato il cerchiaggio della torre campanaria e ha curato l'installazione della mensola in carpenteria metallica di ritegno della parte sommitale sinistra della facciata;
- unità del Comando di Latina hanno realizzato il cerchiaggio delle colonne;
- unità dei Comandi di Forlì-Cesena, Foggia e Rieti, i nuclei SAF Emilia-Romagna e Sicilia si sono occupati delle varie fasi di realizzazione delle torri di stabilizzazione della facciata.

L'intervento è stato avviato a inizio luglio 2009 e ha subito una riorganizzazione dopo l'aggravio del quadro di dissesto, provocato dall'evento sismico del 12 luglio 2009. Al momento della redazione della presente scheda il puntellamento e la cinturazione delle absidi non erano ancora iniziati.

I mezzi d'opera utilizzati sono stati i seguenti:

- autogru con sbraccio 70 m;
- autoscala VVF;
- piccola betoniera ad azionamento elettrico;
- carotatrice e relativo compressore.

Per l'esecuzione dei pali di fondazione è stata inoltre utilizzata una trivella idraulica noleggiata a freddo.

7. MIGLIORAMENTO E GENERALIZZAZIONE DELLE SOLUZIONI

La scelta di contrastare il ribaltamento fuori piano di facciata mediante la realizzazione di torri in sistema tubi-giunti vincolate alla base ha evidenziato una serie di vantaggi sul piano operativo e del risultato finale ed alcune problematiche sul fronte della standardizzazione.

Tale soluzione risulta di agevole esecuzione e consente, contrariamente all'adozione di sistemi di puntellatura di ritegno, di contenere gli ingombri e quindi consentire la praticabilità delle aree antistanti la parete presidiata. Indicativamente si può considerare un ingombro compreso tra 1/5 e 1/8 dell'altezza della facciata, in relazione alla rigidità che risulta necessario conferire all'opera provvisoria e alla possibilità di realizzare efficaci condizioni di vincolo alla base. Nel caso in esame la definizione e realizzazione dell'ancoraggio al suolo ha richiesto una specifica progettazione e un significativo impegno in sede esecutiva.

L'adozione di torri in sistema tubi-giunti vincolate alla base si prospetta dunque come una soluzione applicabile in una molteplicità di scenari, pur ponendo alcune problematiche in termini di standardizzazione di soluzioni precodificate simili a quelle proposte nel Vademecum STOP.

L'esperienza maturata a seguito del terremoto dell'Aquila, e in particolare il caso in esame, consentono di fare le seguenti considerazioni di carattere generale relativamente all'impiego della tecnologia tubi-giunti per la realizzazione delle opere di messa in sicurezza durante l'emergenza sismica:

- il sistema si presta a realizzare, in modo relativamente semplice e rapido, strutture anche complesse, in quanto consente il trasporto e la movimentazione degli elementi anche senza fare ricorso a mezzi pesanti e gru di grande portata;
- la versatilità del sistema tubi-giunti consente di intervenire anche in condizioni che presentano geometrie articolate e in luoghi interni o esterni caratterizzati da difficoltosa accessibilità o esigua disponibilità di spazi operativi;
- l'impiego di questa tecnologia richiede, generalmente, una progettazione *ad hoc* al fine di valutare, in modo appropriato, non solo l'idoneità dello schema strutturale e di funzionamento del sistema, ma anche e soprattutto l'efficacia delle condizioni di vincolo a terra, in particolare quando, come nel caso della chiesa di San Silvestro, si adottano soluzioni che prevedono l'incastro al suolo.

La definizione di soluzioni standardizzate può avvenire associando ad opportuni scenari operativi, un set di configurazioni strutturali e sistemi di vincolo applicabili. A questo riguardo, il ricorso a micro-pali, adottato nel caso in esame, si prospetta come una delle soluzioni potenzialmente più efficaci e idonee anche per la definizione di schemi esecutivi precodificati.

