

3.3.6 - Analisi e confronto dei costi di intervento di miglioramento e riparazione del danno sismico

G.Cifani, A.Lemme, S. Podestà

Il modello per l'analisi dei costi nelle chiese, può essere utilizzato sia in fase post-terremoto, valutando i costi per la riparazione del danno e per il miglioramento sismico, sia in fase preventiva, valutando prevalentemente i costi di miglioramento sismico. In ambedue i casi si tiene comunque conto della vulnerabilità della fabbrica e dei meccanismi di danno attivati o attivabili. L'analisi dei costi, con buona approssimazione, consente, in fase post-terremoto, di stimare appunto i costi di intervento sul complesso degli edifici di culto danneggiati e, in fase preventiva, di programmare gli interventi necessari in funzione delle risorse disponibili secondo una scala di priorità basata essenzialmente sulla vulnerabilità rilevata (nella quale si può anche tenere conto della esposizione).

A tal riguardo la scheda chiese consente di effettuare, oltre l'analisi e la valutazione del danno (post-terremoto), anche una diagnosi preliminare del comportamento della fabbrica sottoposta all'azione sismica. Essa fornisce, attraverso l'individuazione dei meccanismi di collasso e delle vulnerabilità presenti nei macroelementi, indicazioni meta-progettuali sugli interventi necessari a garantire una migliore risposta sismica per eventi futuri.

La metodologia utilizzata per l'analisi dei meccanismi, lo studio degli interventi di miglioramento e la definizione dei costi d'intervento viene di seguito illustrata attraverso una esemplificazione relativa alle chiese a navata unica sia con riferimento ad un **intervento preventivo** (Caso A - miglioramento sismico) sia da un **intervento post-terremoto** (Caso B - riparazione del danno e miglioramento sismico). In ambedue i casi gli *input di ingresso metrici e dimensionali sono gli stessi* (Tabella 3.3.5.1).

1. Dati tipologici e dimensionali diretti (Sezione 1 e 4 - scheda Chiese GNDT)	2 - Dati tipologici e dimensionali indotti
lunghezza e larghezza dell'aula	numero delle travi di terzere
altezza dell'aula	numero delle capriate e/o delle travi trasversali
larghezza e larghezza dell'abside e/o del presbiterio	Larghezza e altezza dell'apertura nella sommità facciata della facciata
altezza dell'abside e/o del presbiterio	lunghezza della cella campanaria
altezza della torre campanaria	larghezza della cella campanaria
larghezza e lunghezza della torre campanaria	Altezza delle cella campanaria
Numero delle campate dell'aula	Larghezza e altezza degli aggetti
diametro e altezza della cupola	
Spessore della murature	

Tab. 3.3.6.1 Dati metrici e dimensionali

Per la descrizione del modello dei costi riferita ai due casi richiamati, di seguito si riporta una esemplificazione del *Meccanismo Ribaltamento Facciata*.

Caso A – intervento preventivo (miglioramento sismico)

Input di ingresso: in questo caso gli input di ingresso (oltre ai dati metrici e dimensionali) sono quelli relativi ai meccanismi di collasso *attivabili* e agli indicatori di vulnerabilità (che rappresentano le carenze della fabbrica che bisogna eliminare con l'intervento di miglioramento) che nel caso del ribaltamento della facciata sono principalmente l'assenza di catene longitudinali e la qualità dell'ammorsamento tra la facciata e le pareti laterali.

Il modello di stima dei costi è stato graduato su tre livelli di protezione (basso, medio e alto), in funzione, appunto, del livello di protezione che si vuole raggiungere e delle risorse economiche che possono essere attivate nell'ambito di un programma di prevenzione su vasta scala.

Tale modello è riportato nella successiva Tabella 3.3.5.2

Ribaltamento della facciata	Livello di protezione		
	Basso	Medio	Alto
collegamento della facciata alle pareti laterali tramite due/quattro catene , una/due per lato, ancorate in facciata e correnti all'interno in adiacenza al muro.	2 catene una per lato a 2/3 dell'altezza	2 catene una per lato a 2/3 dell'altezza	4 catene due per lato a 2/3 e dell'altezza
cuciture armate ed incrociate lungo il collegamento tra la facciata e le pareti laterali	assenti	interasse cuciture 100 cm	interasse cuciture 50 cm.
consolidamento con iniezioni di malta della muratura interessata dalle cuciture	assente	assente	presente
riprese di intonaco all'interno	presente	presente	presente
ponteggi di servizio	lati della facciata e risolto sulle pareti laterali	lati della facciata e risolto sulle pareti laterali	intera facciata e risolto sulle pareti laterali

Tab. 3.3.6.2 Tipologie di intervento di miglioramento e riparazione del danno sismico per ribaltamento di facciata

Caso B – intervento post-terremoto (interventi provvisori, riparazione del danno e miglioramento sismico)

Input di ingresso: in questo caso gli input di ingresso (oltre ai dati metrici e dimensionali) sono quelli relativi ai meccanismi di collasso *attivati*, al livello di danneggiamento e agli indicatori di vulnerabilità. Oltre agli interventi di miglioramento è stata computata la riparazione del danno e il modello dei costi è stato graduato sul livello di danneggiamento atteso che come intensità di intervento corrisponde ai 3 livelli di protezione.

Ribaltamento della facciata	Livello di danneggiamento		
	lieve	medio	grave
lesioni visibili nelle pareti della navata in corrispondenza del collegamento con la facciata e delle aperture vicine al cantonale.	lesioni lievi nella parte alta delle pareti	lesioni passanti che giungono fino alla base della muratura	lesioni passanti in presenza di un quadro deformativo e di fuori piombo per la muratura
Riparazione del danno sismico	lieve	medio	grave
puntellazione preventiva della facciata	assente	assente	presente
risarcitura delle lesioni presenti nella facciata	presente	presente	presente
ricostruzione di parti di murature crollate o disarticolate	assente	assente	presente
Intervento di miglioramento sismico	basso	medio	alto
collegamento della facciata alle pareti laterali tramite due/quattro catene , una/due per lato, ancorate in facciata e correnti all'interno in adiacenza al muro	2 catene una per lato a 2/3 dell'altezza	2 catene una per lato a 2/3 dell'altezza	4 catene due per lato a 2/3 e dell'altezza
cuciture armate ed incrociate lungo il collegamento tra la facciata e le pareti laterali	assenti	interasse cuciture 100 cm	interasse cuciture 50 cm.
consolidamento con iniezioni di malta della muratura interessata dalle cuciture	assente	assente	presente
riprese di intonaco all'interno	presente	presente	presente
ponteggi di servizio	lati della facciata e risolto pareti laterali	lati della facciata e risolto pareti laterali	intera facciata e risolto pareti laterali

Sono stati quindi elaborati, seguendo lo stesso procedimento, tutti i meccanismi illustrati nelle schede del presente paragrafo per tre gradi di protezione (basso, medio, alto): complessivamente 54 computi collegati ai dati metrici e dimensionali (sezione 1 e 4) e alle vulnerabilità (sezione 3) rilevati dalla stessa scheda chiese. Per la valutazione di costi sono stati utilizzati i prezzi desunti dal prezzario in vigore nella Regione Molise. Il costo complessivo di intervento è pari alla somma dei contributi dei singoli meccanismi valutato tenendo conto, per ogni meccanismo, della presenza degli indicatori di vulnerabilità e della eventuale utilità di uno stesso intervento per più meccanismi (*ad esempio il telaio metallico in aderenza al timpano della facciata, proposto nell'intervento di riduzione della*

vulnerabilità per i meccanismi nella sommità e nel piano della facciata, viene computato soltanto una volta). Analoghe considerazioni vengono svolte per il computo dei ponteggi e degli interventi di riparazione del danno sismico considerati come dei costi aggiuntivi all'intervento previsto e valutati, nel caso del danno, in base alle loro entità (lieve, medio e grave) e nel caso dei ponteggi in funzione degli interventi di miglioramento.

L'analisi effettuata, per un campione di chiese a navata unica, ha evidenziato una elevata incidenza del costo dei ponteggi, che nel caso del livello di protezione basso è superiore allo stesso costo di intervento, e un costo di riparazione del danno atteso che è differente per gli edifici ad elevata vulnerabilità che non hanno ricevuto interventi di miglioramento sismico dagli edifici (a bassa vulnerabilità) in presenza di interventi di miglioramento preventivo. Nel primo caso il costo di riparazione aumenta con il livello di danneggiamento, nel secondo caso il costo di riparazione, a parità di intensità sismica, è maggiore per gli edifici che hanno già ricevuto un intervento di miglioramento preventivo basso rispetto a quelli che hanno ricevuto un intervento di miglioramento preventivo alto.

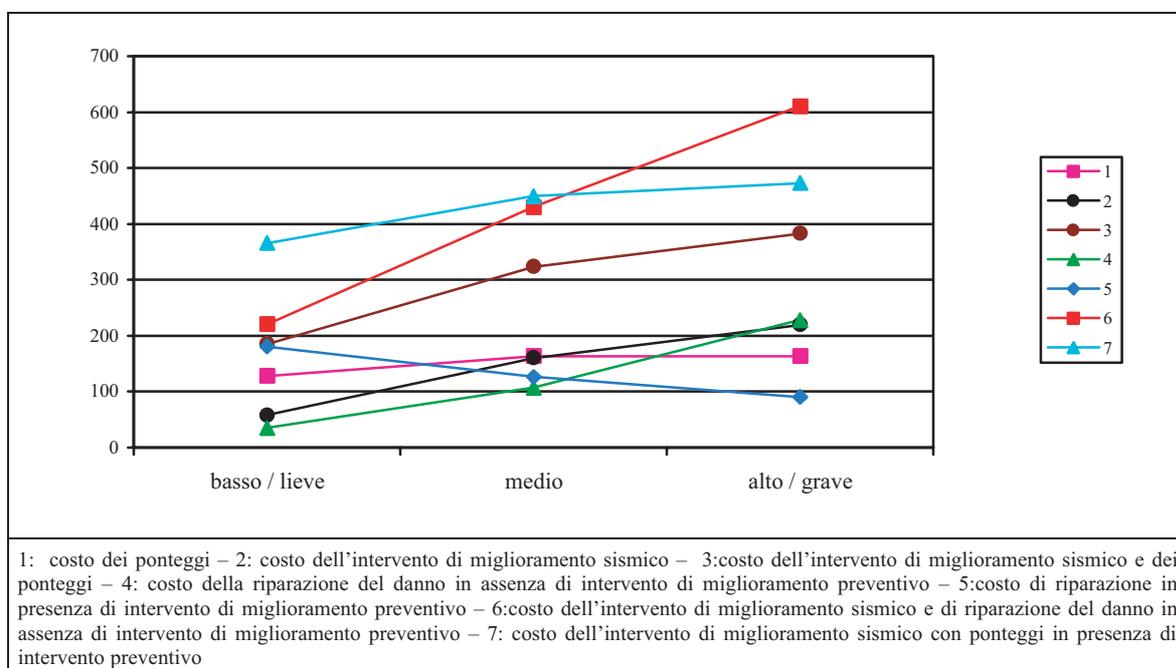


Figura 3.3.6.2 Analisi dei costi al mq per il campione di chiese a navata unica

Nel grafico 3.3.5.1 è riportato in ordinate il costo degli interventi di riparazione, dei ponteggi e di miglioramento sismico e in ascissa il livello di protezione che si intende conseguire con gli interventi preventivi (casi 1,2,3,7) e il livello di danno sismico atteso che si prevede di riparare (casi 4,5,6). Per la riparazione del danno atteso nel primo caso si ha un aumento notevole tra il livello di danneggiamento medio e quello grave (dovuto principalmente alla previsione di crolli parziali e disarticolazioni della muratura) mentre nel secondo caso si ha una riduzione di costo (sempre a parità di intensità sismica) dal livello di protezione basso (180 euro al mq) a quello alto (90 euro al mq). Il costo del miglioramento aumenta più o meno linearmente dal livello di protezione basso a quello alto passando da un costo medio di circa 50 euro al mq fino ad un costo di circa 220 euro al mq; la variazione del costo dei ponteggi è minima per i tre livelli di protezione e nel caso del livello di protezione basso è superiore al costo di miglioramento. Le considerazioni innanzi

svolte evidenziano come sia possibile ottenere un risparmio di risorse finanziarie programmando interventi preventivi con livello di protezione medio/alto limitando gli interventi di livello basso ai casi di pronto intervento in sostituzione delle ricorrenti puntellature. I dati andrebbero comunque tarati su un campione più vasto sia a scala regionale che interregionale con una omogeneizzazione dei prezzi e delle tecniche di intervento.

Riferimenti bibliografici al paragrafo 3.3.6

- Doglioni , Moretti, Petrini, *Le chiese e il terremoto* - Edizioni LINT, Trieste, 1976.
- S.Lagomarsino (coordinatore scientifico), P.Angeletti, A.Cherubini, A.Corsanego, E.Brovelli, S.Brun, F.Bussolino, A. Lemme, I. Patrignani, S.Podestà; G. Stagno - *Metodologie per il rilievo del danno e della vulnerabilità delle chiese*, in Atti del convegno del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, 1998
- E.Brovelli, S.Brun, L.Carassale, S.Lagomarsino, A.Lemme, I.Patrignani, S.Podestà e G.Stagno, *Chiese in Umbria: il rilievo del danno e della vulnerabilità sismica*, in *Recupero & Restrutturazione*, , anno III, 21, pp. 24-35, 1998
- Lagomarsino S. *Seismic damage survey of the churches in Umbria*, Proc. of the Workshop on Seismic Performance of Monuments (Monument-98), Lisbon.
- Doglioni F. (a cura di), *Codice di pratica (Linee Guida) per la progettazione degli interventi di riparazione*,