

Task 2.3.5 Analisi di vulnerabilità delle chiese

UR4 – UNINA-B _ A. Formisano (G. Longobardi, G. Milani)

ANALISI DI VULNERABILITÀ SISMICA DELLE CHIESE DEL COMUNE DI BONDENO E DELLE SUE FRAZIONI

Obiettivi e Metodologia di Analisi

Nel corso del biennio, è stata condotta un'analisi di vulnerabilità su un set di chiese localizzate nel comune di Bondeno (FE) e nei suoi dintorni. Tale valutazione si può dividere in due distinte fasi. Nella prima, di tipo qualitativo, mediante l'applicazione della scheda di rilievo CARTIS, sono state ricavate informazioni di carattere morfologico – geometrico dalla Sezione 2 e strutturali dalla Sezione 3. I dati così ottenuti sono stati graficizzati e hanno permesso di osservare le proprietà e le caratteristiche predominanti.

Una volta acquisite le principali proprietà architettoniche – strutturali, si è proseguita l'analisi con la seconda fase finalizzata ad eseguire il confronto tra tre indici di danno:

- i_{d-LV1} : Indice ottenuto dall'applicazione del modello meccanico semplificato "Chiese, luoghi di culto e altre strutture con grandi aule senza orizzontamenti intermedi" proposto nel Livello di Valutazione 1 delle "Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale".
- $i_{d-AeDES}$: Indice ottenuto dall'osservazione del danno reale osservato in situ.
- $i_{d-3Muri}$: Indice derivante dall'esecuzione di analisi cinematiche svolte tramite la realizzazione di modelli meccanici.

Tre casi studio sono stati modellati con il software di calcolo 3Muri per valutare i meccanismi locali di collasso ed eseguire il confronto.

Il set di chiese analizzato

L'insieme di chiese selezionato appartiene all'**Arcidiocesi di Ferrara e Comacchio** che, estesa su una superficie di circa 3140 kmq, conta un totale di **173 parrocchie** a servizio di una popolazione approssimativamente pari a 270000 abitanti.



Chiesa di Sant'Antonio da Padova in Gavello



Chiesa dei Santi Pietro e Paolo di Vigarano Pieve



Chiesa della Natività di Maria

Applicazione LV1

I modelli meccanici semplificati proposti per il LV1 consentono di studiare un manufatto anche con una conoscenza limitata delle proprietà geometriche e meccaniche. Tra i tre disponibili, nel caso in questione, il modello semplificato adoperato è: "Chiese, luoghi di culto e altre strutture con grandi aule, senza orizzontamenti intermedi".

Il metodo considera 28 meccanismi di danno, associati ai diversi macroelementi che possono trovarsi all'interno di una chiesa. Per ciascuno dei meccanismi, si definiscono i relativi presidi antisismici e gli indicatori di vulnerabilità. Il comportamento sismico dell'intero edificio è rappresentato da due indici.

Indice di vulnerabilità i_v

Variabile tra 0 e 1, che è definito come media pesata del comportamento delle diverse parti della chiesa

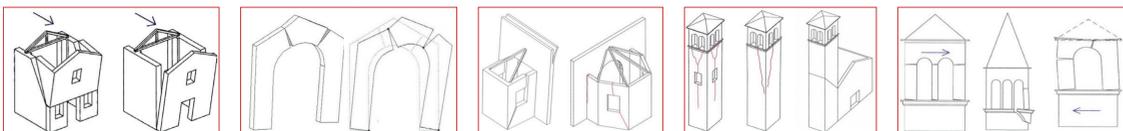
$$i_v = \frac{1}{6} \frac{\sum_{k=1}^{28} \rho_k (v_{ki} - v_{kp})}{\sum_{k=1}^{28} \rho_k} + \frac{1}{2}$$

Indice di danno i_d

In cui d_k è il livello di danno subito nei riguardi del k-esimo meccanismo (da 0 a 5)

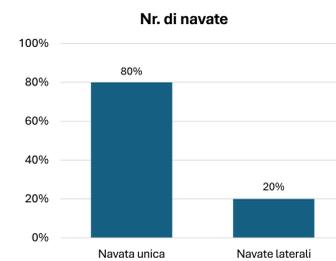
$$i_d = \frac{1}{5} \frac{\sum_{k=1}^{28} \rho_k d_k}{\sum_{k=1}^{28} \rho_k}$$

Esempi di alcuni dei 28 meccanismi tipici di un edificio ecclesiastico

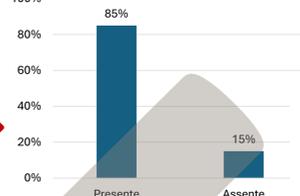


Interpretazione grafica dei dati derivanti da scheda CarTis

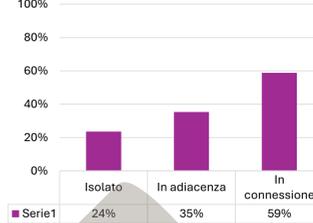
- Circa l'80% del campione esaminato presenta una pianta rettangolare a navata unica. Di esse, la maggior parte possiede anche delle cappelle laterali.



Presenza del campanile



Posizione del campanile



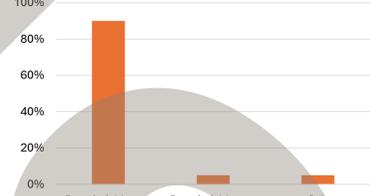
- In una percentuale del campione pari all'85%, è presente il campanile che però, solo nel 20% dei casi è distaccato dall'edificio. In tutte le altre situazioni, esso risulta essere costruito in adiacenza o in connessione.

Tipologia di struttura



- La muratura regolare in blocchi di laterizio pieno è il materiale da costruzione impiegato per la realizzazione di tutte le strutture ecclesiastiche in muratura.
- Unico il caso di chiesa realizzata con struttura in c.a.

Copertura



- È apparso che il 90% del campione presenta una copertura avente una configurazione a doppia falda sorretta da capriate in legno.

- A seguito del sisma che nel maggio 2012 colpì la regione, tutte le chiese sono state oggetto di interventi di consolidamento strutturale.

I casi studio e il confronto tra gli indici di danno

Applicato il LV1 e il suo modello meccanico semplificato, sono stati successivamente ottenuti gli indici di danno dalle Schede AeDES. Per poter eseguire il confronto tra i tre indici di danno e valutare l'affidabilità del metodo semplificato, in funzione della documentazione disponibile, sono stati modellati tramite il software di calcolo 3Muri tre casi studio su cui sono state condotte analisi cinematiche.

Per ciascun meccanismo è stata ricavata l'accelerazione di attivazione che è stata poi rapportata con quella di domanda. Poiché il rapporto tra le accelerazioni forniva un valore compreso tra 0 e 1, per renderlo comparabile con gli altri termini del confronto, si è provveduto ad una conversione dell'indice in un livello di danno.

i_d	0	1	2	3	4	5
$d'_k = a_c / a_d$	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0

Ripetuto il procedimento per ciascun meccanismo, si è calcolato, in maniera analoga al procedimento previsto nel modello semplificato, l'indice di danno.

$$i_{d,3Muri} = \frac{\sum_{k=1}^{28} \rho_k d'_k}{5 \sum_{k=1}^{28} \rho_k}$$

Calcolo Indice di danno

Confronto e Risultati

Casi Studio

Chiesa di San Matteo Apostolo di Pilastrini di Bondeno

Chiesa di San Giacomo Apostolo di Burana di Bondeno

Chiesa della Beata Vergine Maria dei Boschi di Madonna Boschi



Tutti i modelli sono stati creati usando il Livello di Conoscenza LC1, in accordo alle NTC18 e relativa Circolare

i_{d-LV1}	$i_{d-AeDES}$	$i_{d-3Muri}$
0,608	0,380	0,42

i_{d-LV1}	$i_{d-AeDES}$	$i_{d-3Muri}$
0,549	0,36	0,471

i_{d-LV1}	$i_{d-AeDES}$	$i_{d-3Muri}$
0,445	0,31	0,411

- In tutti i casi, l'indice da LV1 risulta essere maggiore degli altri due. Allo stesso tempo però, l'indice ottenuto da analisi cinematiche, $i_{d-3Muri}$, pur essendo minore di i_{d-LV1} , non assume valori troppo lontani da esso.
- Questi risultati permettono di sottolineare che, l'indice $i_{d-AeDES}$ è sempre minore degli altri due ed è da ricondurre al fatto che esso deriva dall'osservazione diretta del danno con rilievi e sopralluoghi in situ ed assume quindi valori ragionevoli.
- L'indice i_{d-LV1} , pur essendo maggiore dell'indice $i_{d-3Muri}$, va a sottostimare il danno, ma i valori ottenuti sono comunque accettabili perché poco distanti dal terzo indice.
- Dunque si può affermare che, con buona approssimazione, l'indice di danno ottenuto da analisi a scala territoriale, tenendo anche conto del livello di conoscenza, risulta essere uno strumento affidabile per condurre analisi speditive sugli edifici ecclesiastici.