

# **ANALISI DI VULNERABILITÀ SISMICA DELLA BASILICA DI SAN BENEDETTO A NORCIA DOPO IL TERREMOTO DEL 2016: INDAGINI STRUTTURALI, MODELLAZIONE NUMERICA E H-BIM**

## **ABSTRACT**

L'Italia è un paese ad alto rischio sismico, anche e soprattutto a causa della presenza all'interno del territorio nazionale di beni architettonici e culturali di rilevante importanza. Tra gli edifici che risultano essere i più vulnerabili rispetto alle azioni sismiche vi sono le chiese, sia per la loro complessità architettonica che per la loro intrinseca evoluzione storica. Esse, infatti, presentano un'architettura molte volte unica e complessa, risultato degli eventi e dei secoli di trasformazione di cui spesso sono oggetto. È in riferimento ad una chiesa che si concentra il lavoro di tesi, affrontando il caso studio della Basilica di San Benedetto a Norcia.

La Basilica di San Benedetto è stata significativamente coinvolta nella sequenza sismica che ha colpito il centro Italia nel 2016. In particolare, l'evento sismico del 30 ottobre di quell'anno ha portato al crollo quasi totale della Basilica. La Basilica, che ad oggi si presenta in stato di rudere, era una chiesa a croce latina, con navata unica, abside e transetto e la conformazione spaziale finale che presentava prima del crollo poteva essere considerata come il risultato di varie trasformazioni avvenute nel corso dei secoli. Il crollo ha interessato innanzitutto il campanile, elemento estremamente vulnerabile, che collassò all'interno della Basilica. Il collasso comportò la distruzione di quasi tutta la copertura lignea della navata principale e i danni si estesero sulle pareti della navata comportandone crolli parziali o totali. La facciata, la zona absidale e una porzione di transetto sono gli unici elementi rimasti in piedi e oggetto immediato di un intervento di messa in sicurezza al fine di preservarne la struttura ed evitarne ulteriori danni.

Nell'affrontare il lavoro di tesi si è utilizzata una metodologia integrata che ha compreso innanzitutto l'analisi storico-documentale, validata e in taluni casi integrata mediante l'esecuzione di una serie di indagini strumentali in sito per la valutazione dello stato di fatto e dunque la caratterizzazione materico-costruttiva e il quadro critico di danno. Tali informazioni sono state necessarie al fine di realizzare un modello numerico ad elementi finiti FEM, creato in ambiente DIANA FEABV, per valutarne il comportamento strutturale. Tutte le informazioni ricavate in questa fase sono state implementate all'interno di un modello informativo H-BIM, realizzato in ambiente *Autodesk Revit*, con l'obiettivo di sperimentare un processo di digitalizzazione per il patrimonio costruito esistente.

L'analisi storico-evolutiva della Basilica viene esaminata a partire dai numerosi terremoti che hanno colpito il territorio di Norcia nel corso dei secoli, analizzati attraverso i documenti storici e archivistici disponibili. Le ipotesi emerse da questi documenti, riguardanti le trasformazioni di epoca romanica, le modifiche gotiche e gli interventi di restauro avvenuti nell'Ottocento e nel Novecento, sono state successivamente confermate attraverso la campagna di indagini realizzata nel novembre 2020. Le indagini svolte in sito hanno compreso innanzitutto il prelievo di materiale legante e, grazie all'analisi in laboratorio dei campioni, è stato possibile attribuire alle diverse malte, e quindi alle varie porzioni di edificio, diverse epoche costruttive o fasi storiche. La campagna di indagini diagnostiche ha compreso indagini soniche, georadar ed endoscopiche grazie alle quali si è ottenuta una migliore caratterizzazione dei materiali e della struttura generale, comprendendo anche l'effettivo quadro di danno presente.

Al fine di una valutazione strutturale della Basilica, grazie alle informazioni raccolte nelle fasi precedenti, è stato implementato un modello ad elementi finiti FEM con elementi solidi in ambiente DIANA FEABV. In particolare, risulta di fondamentale importanza la valutazione della vulnerabilità sismica della Basilica, che emerge a seguito dell'analisi dei primi elementi di collasso. Di rilevanza è apparso il confronto con i meccanismi di rottura emersi dalle analisi effettuate e l'effettivo danno verificatosi a seguito del sisma del 2016. Si è potuto osservare come il quadro reale di danno fosse del tutto confrontabile con le lesioni e i crolli che hanno interessato la struttura.

Infine, il lavoro di tesi è stato condotto fin dalle prime fasi parallelamente alla realizzazione di un modello informativo H-BIM (*Heritage Building Information Modelling*) della Basilica. Tutte le informazioni ricavate nella fase di conoscenza dell'edificio, comprendenti anche l'individuazione del quadro fessurativo dell'edificio e l'evoluzione del danno a seguito dei diversi eventi sismici succedutisi nel 2016 che ne hanno comportato poi il quasi totale crollo, sono state inserite all'interno di un modello informativo BIM. Si tratta di un modello non esclusivamente geometrico della Basilica, ma contenente informazioni effettive, di tipo storico e costruttivo, ricavate in fase di conoscenza dell'edificio. Il modello, infatti, è utile per la visualizzazione dell'evoluzione storica della Basilica e per l'individuazione progressiva del quadro fessurativo, fino alla modellazione *as-damaged* dello stato di fatto. Punto focale della rappresentazione H-BIM è la digitalizzazione di tutti gli elementi contenuti nel modello, focalizzandosi in particolar modo sulla facciata, al fine di ottenere una sperimentazione di digitalizzazione del patrimonio costruito esistente in cui ogni elemento modellato è veicolo di informazioni specifiche.