Progetto DPC-ReLUIS 2024-2026 WP4
Task 4.6

PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Analisi di vulnerabilità delle chiese del Comune di Sorrento e delle sue frazioni

Antonio Formisano, Giovanna Longobardi, Luigi Amitrano
UR24 UNINA

Obiettivi, Metodologia e Set di Chiese in esame

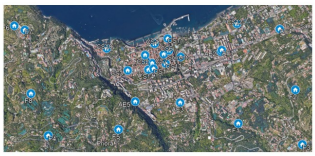
Nel corso della ricerca è stata condotta un'analisi di vulnerabilità sismica a scala territoriale e locale su un set di ventisette chiese localizzate nel Comune di Sorrento (NA) e nelle sue frazioni.
Le attività si sono articolate in due distinte fasi:
1) Nella prima, di tipo qualitativo, mediante l'applicazione e compilazione della scheda di rilievo CarTiS Chiese, 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 caratteristiche predominanti delle chiese.
2) Una volta acquisite le principali proprietà architettoniche – strutturali, si è proseguita l'attività con la seconda fase finalizzata alla valutazione dell'affidabilità ed efficacia 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*", attraverso il confronto tra due indici:

- f_a: Fattore di accelerazione derivante da LV1 (Analisi a scala territoriale).
- α_{SLV}: Indice di sicurezza sismico ottenuto da LV3 (Analisi a scala globale eseguita sul singolo edificio religioso).

Gli indici sono perfettamente comparabili in quanto entrambi rappresentano il rapporto tra accelerazione di capacità e di domanda (PGA_C/PGA_D).
È stato effettuato un doppio confronto tra i due parametri: oltre al calcolo del fattore di accelerazione su suolo rigido (Suolo Tipo A) come richiesto dalle Linee Guida, è stato preso in considerazione anche il suolo reale (Suolo Tipo C).

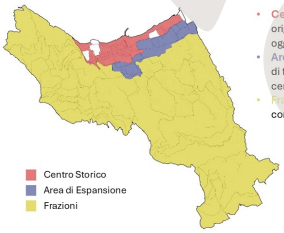
Localizzazione delle Chiese

Esse appartengono all'Arcidiocesi di Sorrento – Castellammare di Stabia che copre un'area di circa 205 kmq, ha un totale di **88 parrocchie** a servizio di una popolazione di 250000 abitanti.



Applicazione delle Schede CarTiS Chiese di 1° e 2° Livello

Applicazione Scheda Cartis Chiese 1° Livello
Individuazione Comparti Omogenei e Classificazione delle Chiese
Aree caratterizzate da chiese con caratteristiche morfologiche e strutturali simili.



La classificazione è avvenuta in funzione di vari parametri: ***strutture verticali, configurazione planimetrica e superficie coperta.***

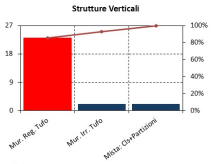
- **Centro Storico (CS):** Parte centrale della città, originariamente racchiusa entro le antiche mura, oggi in parte demolite.
- **Area di Espansione (AE):** Zona situata appena al di fuori dei confini del perimetro originario del centro storico.
- **Frazioni (F):** Piccoli centri storici appartenenti ai comuni limitrofi.

Tipologia	Materiale	Pianta	Superficie
T01	Mur. Tufo	Croce Latina: - 1 Navata - 2 Navate Laterali	>1000 mq
T02	Mur. Tufo	Croce Latina: - 1 Navata - Cappelle Laterali	300 – 999 mq
T03	Mur. Tufo	Pianta Centrale Rett.	300 – 999 mq
T04	Mur. Tufo	Pianta Centrale Rett.	100 – 299 mq
T05	Cls armato	-	300 – 999 mq

Applicazione Scheda Cartis Chiese 2° Livello
Raccolta di dati geometrici, architettonici e strutturali
Acquisizione di informazioni riguardanti il posizionamento nel centro urbano, la presenza del campanile e i materiali da costruzione.

- Solo 4 edifici (**15%**) sono isolati, mentre la maggior parte appartiene a complessi edilizi più ampi. Questa configurazione ha implicazioni significative per la valutazione della vulnerabilità sismica, poiché l'interazione strutturale con gli edifici adiacenti può influenzare il comportamento dell'edificio durante un terremoto.

- Un altro elemento significativo è la presenza del campanile. Nel **56% dei casi**, esso risulta strutturalmente **integrato** nel corpo principale della chiesa, caratteristica che può influenzare in modo rilevante la risposta dinamica dell'edificio sotto l'azione sismica.



- L'**85%** degli edifici religiosi è realizzato in **muratura regolare** costituita prevalentemente da blocchi di tufo. Sebbene questo tipo di muratura sia ampiamente diffuso in Campania, esso presenta un comportamento meccanico che richiede un'attenta valutazione nell'ambito della verifica di vulnerabilità sismica.

Applicazione LV1 e LV3: Dall'analisi territoriale a quella globale

L'applicazione delle indicazioni dei livelli LV1 e LV3 è avvenuta considerando ***6 Casi Studio*** individuati sulla base della disponibilità dei rilievi geometrici

Chiesa di Sant'Antonino

Sup. [mq]	>1000
Pianta	Croce Latina
Nr Navate	3
Facciata	Quadrangolare
Muratura	Tufo Reg.
Campanile	Inglobato

Chiesa dell'Annunziata

Sup. [mq]	300-999
Pianta	Rettangolare
Nr Navate	1
Facciata	El. Decorativi
Muratura	Tufo Reg.
Campanile	Inglobato

Chiesa di S.ta Maria di Montevergine

Sup. [mq]	100-299
Pianta	Rettangolare
Nr Navate	1
Facciata	Doppio-spiovente
Muratura	Tufo Reg.
Campanile	Inglobato

Chiesa dell'Addolorata

Sup. [mq]	300-999
Pianta	Croce Greca
Nr Navate	1
Facciata	Doppio-spiovente
Muratura	Tufo Reg.
Campanile	Inglobato

Chiesa di S.ta Maria de Restilianis

Sup. [mq]	100-299
Pianta	Ellittica
Nr Navate	1
Facciata	Attached El.
Muratura	Tufo Reg.
Campanile	Inglobato

Chiesa di S.ta Maria della Purità

Sup. [mq]	100-299
Pianta	Rettangolare
Nr Navate	1
Facciata	El. Decorativi
Muratura	Tufo Reg.
Campanile	In Connessione

Livello di Valutazione 1
Modello Meccanico Semplificato

Per il calcolo degli indici di vulnerabilità e di danno, il metodo semplificato considera **28 meccanismi di collasso** associati ai diversi macro-elementi presenti in una chiesa, definendo per ciascuno di essi i corrispondenti dispositivi sismici e indicatori di vulnerabilità.

Indice di Vulnerabilità

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

Indice di Danno

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

$$a_{SLV} \cdot S = 0.025 \cdot 1.8^{5.1-3.44 i_v}$$

S è un parametro che tiene conto della categoria stratigrafia e topografica del suolo.

$$f_a = \frac{\alpha_{SLV}}{\alpha_{g,SLV}}$$

Suolo Tipo A
S = 1.00

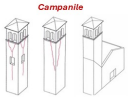
Suolo Tipo C
S = 1.50

Principali Meccanismi

Ribaltamento di facciata

Ribaltamento abside

Campanile



Livello di Valutazione 3
Analisi globale

Per la valutazione del comportamento globale dei 6 casi studio, sono state condotte **Analisi Statiche Non-Lineari** su modelli a macroelementi modellati con il software 3Muri, assumendo un livello di conoscenza LC1 e, dunque, un Fattore di Confidenza FC = 1.35.

Per eseguire queste analisi, è stato monitorato lo spostamento del nodo di controllo che è stato scelto il più vicino possibile alla posizione baricentrica del complesso edilizio ed in corrispondenza del livello in cui si concentra la maggior parte della massa partecipante.
Due distribuzioni di forze laterali sono state considerate:

- **Gruppo 1:** Forze proporzionali alle forze statiche, distribuite in base alla massa della struttura.
- **Gruppo 2:** Distribuzione uniforme delle forze, derivata da una distribuzione omogenea delle accelerazioni lungo l'altezza della struttura.

Chiesa di Sant'Antonino

Chiesa dell'Annunziata

Chiesa di S.ta Maria di Montevergine

Chiesa dell'Addolorata

Chiesa di S.ta Maria de Restilianis

Chiesa di S.ta Maria della Purità

Proprietà Meccaniche – Mur. Reg. Tufo

Res. media a compr. f_m	Modulo di elasticità long. E	Modulo di elasticità tang. G	Peso Specifico W	Res. media a taglio τ
[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[kN/m³]	[N/mm²]
2.00	1410	450	16	0.04

Proprietà Meccaniche – Mur. Irr. Tufo

Res. media a compr. f_m	Modulo di elasticità long. E	Modulo di elasticità tang. G	Peso Specifico W	Res. media a taglio τ
[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[kN/m³]	[N/mm²]
1.40	1080	360	16	0.028

Il confronto numerico e grafico tra i risultati dei due livelli di valutazione

Confronto – Suolo Tipo A

Chiese	LV1	LV3	
	Fattore di Accelerazione f_a	α_{SLV}	
	[-]	X	Y
Chiesa di Sant'Antonino	1.083	0.578	0.648
Chiesa dell'Annunziata	1.125	1.543	1.916
Chiesa di S.ta Maria di Montevergine	**1.451**	**1.415**	0.438
Chiesa dell'Addolorata	1.172	1.730	1.277
Chiesa di S.ta Maria de Restilianis	**1.137**	0.986	**1.046**
Chiesa di S.ta Maria della Purità	1.045	1.214	2.376

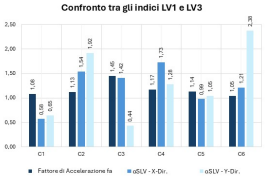
La correlazione tra il fattore di accelerazione (da LV1) e il coefficiente di sicurezza α_{SLV} (da LV3) sembra **limitata**.

Confronto – Suolo Tipo C

Chiese	LV1	LV3	
	Fattore di Accelerazione f_a	α_{SLV}	
	[-]	X	Y
Chiesa di Sant'Antonino	0.722	0.358	0.391
Chiesa dell'Annunziata	**0.750**	**0.675**	**0.863**
Chiesa di S.ta Maria di Montevergine	**0.967**	**0.832**	0.245
Chiesa dell'Addolorata	**0.781**	1.041	**0.678**
Chiesa di S.ta Maria de Restilianis	**0.758**	0.582	**0.636**
Chiesa di S.ta Maria della Purità	**0.696**	**0.780**	1.319

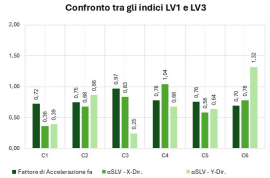
Quando si considerano le effettive condizioni del terreno, l'accordo tra i due indici migliora, con un numero maggiore di casi in cui la deviazioni di risultati rientra nel range ±0,10.

Confronto – Suolo Tipo A



Maggiore dispersione dei dati per singola chiesa

Confronto – Suolo Tipo C



Maggiore match tra i risultati, specialmente in direzione longitudinale.

Dal confronto degli indici, calcolati considerando sia un terreno rigido (Tipo di Terreno A) sia le effettive condizioni del suolo (Tipo di Terreno C), è emerso che i parametri risultano più vicini quando il fattore di accelerazione (fa) da EL1 viene calcolato utilizzando le reali condizioni del terreno su cui è stata costruita la chiesa. Ciò indica che il **fattore di accelerazione** dovrebbe idealmente essere calcolato utilizzando le condizioni reali del terreno, anziché assumere un terreno rigido. Tuttavia, si tratta di analisi preliminari e, per convalidare tali risultati, sarà necessario estendere il procedimento ad altre chiese del campione di edifici esaminato..

Convegno ReLUIS - Napoli, 13-14 ottobre 2025