



Conclusione del piano triennale del Progetto ReLUIS-DPC 2005-2008 Napoli, 1-3 aprile 2009

LINEA 10: DEFINIZIONE E SVILUPPO DI ARCHIVI DI DATI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO, LA PIANIFICAZIONE E LA GESTIONE DELL'EMERGENZA

UR INGV RM: EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA OSSERVATI SUL PATRIMONIO MONUMENTALE

Compagnoni M.¹, Curti E.², Di Capua G.³, Lemme A.⁴, Peppoloni S.³, Pergalani F.¹, Podestà S.²

¹ Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Politecnico di Milano; ² Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni, dell'Ambiente e del Territorio, Università degli Studi di Genova; ³ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma; ⁴ Ufficio del Commissario Delegato per le attività post sisma, Regione Molise

OBIETTIVO

La ricerca ha avuto l'obiettivo di indagare gli effetti di amplificazione sismica, per cause topografiche, che possono aver interessato le chiese danneggiate da alcuni terremoti storici italiani. La novità di questo studio consiste nell'aver messo a punto una metodologia di analisi che, partendo dall'osservazione degli effetti del terremoto sull'edificio, confronta il danno osservato ed il danno atteso, calcolato attraverso modelli basati su dati statisticamente affidabili, prevede una fase di rilievo delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, geotecniche e geofisiche dei siti di ubicazione delle chiese, arriva a quantificare, anche attraverso modellazioni numeriche della risposta sismica locale, l'influenza che la morfologia di questi siti può aver avuto nel determinare l'incremento dell'input sismico e conseguentemente del danno osservato.

METODOLOGIA

Lo studio è stato condotto su un campione di 72 chiese danneggiate dai terremoti dell'Irpinia-Basilicata (1980), dell'Appennino abruzzese (1984) e del Molise (2002). Per ognuno di questi edifici è stata condotta una campagna di rilievo del danneggiamento e della vulnerabilità sismica, attraverso una scheda ampiamente collaudata e recentemente recepita a livello nazionale. Tale approccio ha permesso di confrontare il danno medio osservato con il danno medio atteso, evidenziando, in alcuni casi, valori disomogenei. Parallelamente è stato condotto un rilievo delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, geotecniche e geofisiche dei siti di ubicazione delle chiese, mediante la scheda "geologica", messa a punto dall'Unità di Ricerca. Al fine di poter considerare l'incremento di pericolosità per cause topografiche all'interno di un'analisi di vulnerabilità è stato proposto un duplice approccio (macrosismico e meccanico), che ha previsto una validazione anche attraverso n. 18 modellazioni della risposta sismica locale su rilievo topografico e di modellazioni della risposta sismica dei macroelementi danneggiati dall'evento di riferimento con analisi cinematiche lineari e non lineari.

ESEMPIO APPLICATIVO

Chiesa di S. Pietro in Vincoli a Castellino del Biferno (CB) danneggiata dal terremoto del 31 ottobre 2002 (Molise)



Geologia: arenarie compatte (1 m riporto, 2-3 m sabbie di alterazione, arenarie quarzoso-feldspatiche grossolane)

Morfologia: cresta stretta, appuntita, di altezza > 60 m con versanti molto acclivi (inclinazione > 30°)

Geofisica: Velocità delle onde di taglio nelle arenarie > 950 m/s

Caratteristiche della chiesa: edificata nel 1200 e ristrutturata ed ampliata nel 1797; tre navate con abside a terminazione tronca; torre campanaria: a pianta quadrata ubicata nella parte posteriore dell'edificio, con parete muraria in comune; profilo: facciata a salienti con sommità a vela; in parte intonacata con parete laterale sinistra in muratura a conci squadrati con tessitura quasi sempre regolare e sfalsamento dei giunti non sempre rispettato.

Approccio MACROSISMICO

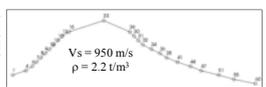
| Terremoto storico analizzato: | Molise del 2002 | | | | |
|--|-----------------|-------|--|--|--|
| Intensità macrosismica | I_{msc} | 7.0 | | | |
| Indice di vulnerabilità | i_v | 0.64 | | | |
| Indice di danno | i_d | 0.82 | | | |
| Livello di danno medio osservato | $\mu_{d,oss}$ | 4.11 | | | |
| Livello di danno medio atteso | $\mu_{d,att}$ | 2.73 | | | |
| Modificatore di vulnerabilità per la morfologia locale | ΔV_{ml} | 0.319 | | | |

L'approccio macrosismico permette di valutare la relazione esistente tra il danno osservato ($\mu_{d,oss} = 4.11$) e le caratteristiche morfologiche di sito, in relazione alla valutazione del danno atteso ($\mu_{d,att} = 2.73$). Il danno osservato è dedotto direttamente dalla scheda di rilevamento, il danno medio atteso è calcolato sulla base della vulnerabilità rilevata ($i_v = 0.64$). La differenza tra i livelli di danno ($\Delta\mu_d = 1.38$) non è giustificata interamente dal comportamento della struttura, ma probabilmente è legata agli effetti topografici di amplificazione sismica.

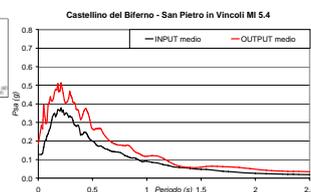
Nell'approccio macrosismico l'amplificazione topografica può essere rappresentata come una "vulnerabilità" aggiuntiva, connessa alla morfologia del sito, quantificata dal valore del modificatore di vulnerabilità ΔV_{ml} . Questo parametro è stato calcolato valutando l'incremento di vulnerabilità richiesto al fine di ottenere un livello di danno medio atteso equivalente a quello osservato.

Approccio MECCANICO

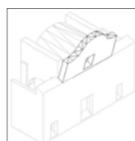
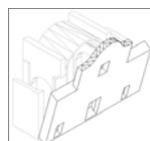
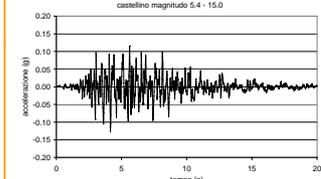
| Denominazione dell'evento | Anno | Mese | Giorno | M ₀ | M _l | Distanza epicentrale (Km) |
|---------------------------|------|------|--------|----------------|----------------|---------------------------|
| Molise | 2002 | 10 | 31 | 5.7 | 5.4 | 15.0 |



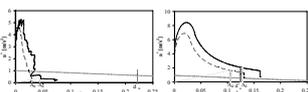
| MI | 5.4 |
|------------|------------|
| Fa 0.1-0.5 | Fa 0.5-1.5 |
| 1.4 | 1.3 |



Analisi numerica delle amplificazioni topografiche: dai valori di magnitudo e distanza epicentrale per l'evento sismico considerato, sono stati calcolati gli spettri di risposta in pseudo-accelerazione di target, i valori dell'intensità di Arias e della durata della fase significativa, da cui sono stati ricavati n. 7 accelerogrammi artificiali e i relativi spettri in pseudo-accelerazione al 5% dello smorzamento critico. Dai dati morfologici raccolti attraverso la scheda geologica è stato costruito il profilo topografico oggetto dell'analisi numerica, mediante l'applicazione di un codice di calcolo basato sugli elementi al contorno, che ha permesso di valutare i fattori di amplificazione e gli spettri di risposta elastici in corrispondenza della sommità del rilievo.



| Meccanismi analizzati | Danno osservato | Capacità | | Distanza minima epicentrale | | Distanza massima epicentrale | |
|--|-----------------|----------|------|-----------------------------|------|------------------------------|------|
| | | ACL | ACN | ACL | ACN | ACL | ACN |
| Profilo globale della facciata | 2 | 1 | 0.82 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| Meccanismi della porzione sommitale della facciata | 4 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |



Analisi cinematica: sono state calcolate le accelerazioni di attivazione e le curve di capacità dei meccanismi di ribaltamento della facciata (globale e della porzione sommitale) secondo lo studio di modelli locali basati sul concetto di macroelemento, adottando i metodi dell'analisi cinematica lineare e non lineare. Le analisi sono state condotte con e senza l'influenza dell'incremento di accelerazione per gli effetti di amplificazione topografica. I risultati dell'analisi cinematica lineare evidenziano che le accelerazioni corrispondenti al terremoto del 2002 sono ampiamente superiori al valore di accelerazione spettrale del macroelemento e l'incremento connesso all'influenza dell'effetto di amplificazione topografica accreditata maggiormente il livello di danneggiamento rilevato, prossimo al collasso strutturale (livello 4 - EMS98). I risultati ottenuti con l'analisi cinematica non lineare evidenziano risultati meno cautelativi rispetto all'analisi lineare. La verifica nei confronti del meccanismo di ribaltamento complessivo della facciata risulta sempre soddisfatta, mentre la verifica per il ribaltamento della porzione sommitale non risulta soddisfatta soltanto quando si considerano gli effetti di amplificazione topografica.

La maggiore accuratezza dell'analisi cinematica non lineare consente di ottenere uno scenario di danno ampiamente concorde con il danneggiamento osservato in riferimento ad entrambi i meccanismi studiati e attivatisi a seguito dell'evento sismico del 2002.