

Autori: Stefano Podestà, Chiara ROMANO, Lorenzo SCANDOLO

Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni e del Territorio, Università di
Genova

MOLISE, VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA A LIVELLO TERRITORIALE

1 Premessa

La mitigazione del rischio sismico del patrimonio monumentale è strettamente connessa alla definizione di strumenti di valutazione della vulnerabilità sismica a livello territoriale in modo da pianificare una corretta politica di prevenzione sul patrimonio monumentale. L'elevato numero di manufatti determina l'esigenza di dotarsi di strumenti che, seppur in maniera semplificata, siano in grado di determinare una graduatoria del livello di sicurezza del patrimonio tutelato in modo da guidare il processo decisionale su cui finalizzare il nostro approfondimento di valutazione e conseguentemente l'eventuale intervento di miglioramento sismico. Le Linee Guida¹ (§2.1) propongono modelli di valutazione semplificata (LV1), che consentono la determinazione di parametri sintetici in grado di ordinare il campione di manufatti esaminato in funzione della propensione al danneggiamento in relazione ad un evento sismico.

L'analisi territoriale adottata dalle Linee Guida ha, pertanto, come output liste di priorità che possono essere redatte in riferimento a tre diversi parametri, l'indice di sicurezza I_s , il fattore di accelerazione F_a o la vita nominale V_N . Le graduatorie di rischio che si possono ottenere permettono valutazioni leggermente differenti. In particolare l'analisi di rischio in termini di V_N si differenzia da quelle ottenibili tramite gli altri due indici di rischio in quanto non risente del tempo di ritorno di progetto scelto, in quanto la pericolosità viene introdotta nella valutazione della capacità strutturale e non nella definizione della domanda sismica. L'indice di sicurezza I_s è, invece, calcolato come rapporto tra la capacità e la domanda in termini di periodi di ritorno dell'azione sismica mentre F_a è dato dal rapporto tra la capacità e la domanda in termini di accelerazione. Poiché la dipendenza tra T_R e a_g non è lineare (Figura 1a) si otterranno in generale due differenti valori per uno stesso ma-

¹ Nel testo si fa riferimento alle Linee Guida allineate alle NTC 2008.

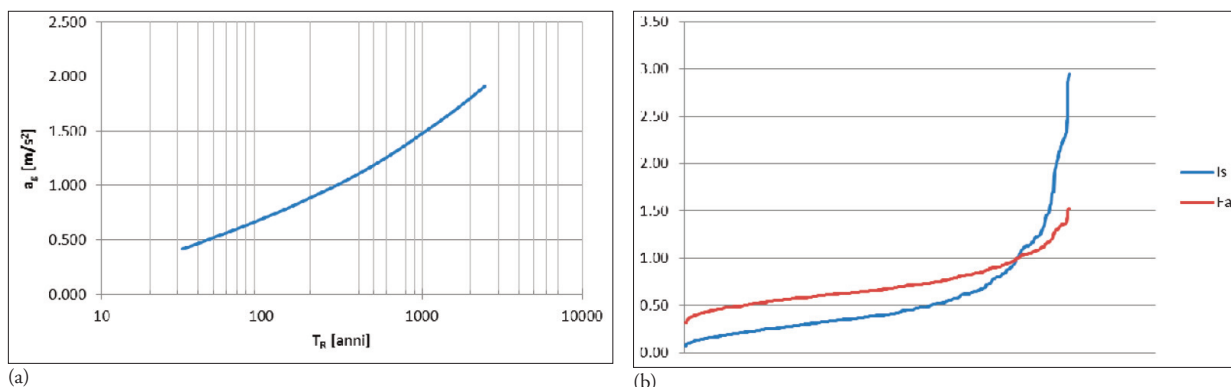


Figura 1. a) Relazione tempo di ritorno – accelerazione. b) Confronto indice di sicurezza – fattore di accelerazione.

nufatto; inoltre, essendo la variabilità del periodo di ritorno maggiore di quella dell'accelerazione, si avranno in generale valori di I_s minori di F_a per valori inferiori alla soglia di idoneità sismica (minori dell'unità) mentre valori di I_s maggiori di F_a per valori superiori all'unità (Figura 1b). Il punto d'intersezione tra le due curve è, ovviamente, connesso alla vulnerabilità del campione analizzato; nel caso in esame (le chiese del Molise), essendo l'indice di sicurezza minore dell'unità, per la maggior parte dei casi (circa 80%), il punto d'intersezione delle due curve risulta molto spostato verso destra (Figura 1b).

Per l'analisi territoriale in oggetto si farà riferimento al modello LV1 associato alla tipologia: “Chiese, luoghi di culto ed altre strutture con grandi aule, senza orizzontamenti intermedi” (Linee Guida – §5.4.3). Tale modello si differenzia da quelli definiti per le altre tipologie di costruzioni poiché si basa su un approccio statistico come evidenziato successivamente (§4).

2 Conoscenza del manufatto

Quando si opera su un campione vasto di manufatti, nell'ambito di un'analisi di tipo territoriale, il livello di conoscenza (Linee Guida - § 2), normalmente, non può essere molto dettagliato. La necessità di operare su un numero elevato di edifici, spesso in tempo limitato, impedisce quegli approfondimenti che sarebbero sicuramente necessari trattandosi di manufatti monumentali, al fine di garantire il massimo livello di affidabilità delle nostre analisi. Se un livello di conoscenza

elevato dovrebbe essere un requisito qualificante di ogni valutazione di maggior dettaglio, in un'analisi di tipo territoriale è plausibile accettare un livello di conoscenza inferiore, in relazione di approfondimenti che richiedono normalmente indagini diagnostiche, che esulano, di fatto, da una valutazione su larga scala. Fatto salva tale considerazione generale, la possibilità di diversificare il livello di conoscenza anche in un'analisi di tipo territoriale è definita all'interno dei modelli di valutazione LV1 tramite l'utilizzo del fattore di confidenza F_c (Linee Guida – §4.2 – Eq. 4.1), come accade anche per le analisi di maggior dettaglio LV2 o LV3. Esso è stato ottenuto attraverso l'assegnazione dei fattori di confidenza parziali (F_{ck} , con $k=1, 2, 3, 4$) riportati in Tabella 4.1, associati alle quattro categorie d'indagine ed al livello di approfondimento in esse raggiunto.

Tuttavia in tale contesto, dal momento che l'obiettivo è definire una graduatoria di beni in funzione del rischio sismico non sempre un fattore di confidenza elevato (scarso livello di conoscenza) è associabile ad una valutazione a favore di sicurezza. Un manufatto molto studiato e molto vulnerabile potrebbe risultare meno a rischio di un analogo manufatto con un livello di conoscenza minore che poi nel momento della definizione dell'intervento si dimostrasse non così vulnerabile. In sintesi, dal momento che l'obiettivo è una valutazione in relativo tra diversi beni è necessario giungere ad un livello di conoscenza omogeneo su tutto il campione in modo da non falsare la graduatoria attraverso un uso improprio del fattore di confidenza. Per tale ragione, nel campione di chiese esaminato, è stato adottato un livello di conoscenza elevato (F_c unitario) per tutti i manufatti analizzati sia in relazione all'effettiva analisi condotta (connessa in molti casi a più sopralluoghi o valutazioni che sono state tratte dalla documentazione dei progetti di miglioramento sismico eseguiti a seguito dell'evento sismico) sia per omogeneizzare il risultato su tutto il territorio regionale.

A livello generale, si sottolinea, infine come l'influenza del livello di conoscenza (F_c) sul risultato dell'analisi possa essere condotta oltre all'approccio semplificato proposto nel testo delle Linee Guida (§4.2)

anche andando a considerare l'attendibilità delle singole informazioni fornite relativamente agli indicatori di vulnerabilità e presidio con riferimento all'Allegato C. Tale aspetto è già evidenziato implicitamente nel testo delle Linee Guida (§5.4.3).

Il modello di valutazione delle chiese, proposto nell'Allegato C si basa sulla definizione di 28 meccanismi di danno a cui sono associati diversi presidi ed indicatori di vulnerabilità la cui efficacia o pericolosità viene valutata in funzione di un giudizio di efficacia. Se si analizza nel dettaglio ogni presidio ed indicatore di vulnerabilità emerge come, nel caso in cui siano attivabili tutti i 28 meccanismi di danno:

- 26,8 % degli indicatori di vulnerabilità/presidi antisismici sono associati a F_{C1}
- 68,8 % degli indicatori di vulnerabilità/presidi antisismici sono associati a F_{C2}
- 4,4 % degli indicatori di vulnerabilità/presidi antisismici sono associati a F_{C3}
- 0 % degli indicatori di vulnerabilità/presidi antisismici sono associati a F_{C4}

È possibile, pertanto, modulare i valori dei coefficienti parziali di confidenza in modo più adeguato, per tenere conto della diversa influenza che hanno i 4 fattori della conoscenza relativi ad F_{C1} , F_{C2} , F_{C3} e F_{C4} .

Un approccio possibile è, pertanto, quello di ridefinire i valori massimi (e minimi) relativi ai diversi F_{Ck} , per quella singola chiesa, in funzione dei macroelementi realmente presenti nel manufatto in esame una volta definiti i valori complessivi di F_C per conoscenza scarsa, media e buona. In questo modo si andrebbe a ridefinire la Tabella 4.1 tenendo conto del reale peso che ogni termine assume per la chiesa in questione. Il fattore di confidenza si otterrebbe, poi, applicando ancora con la Eq. 4.1 (Linee Guida – §4.2).

3 Definizione dell'azione sismica

Secondo quanto previsto nelle Linee Guida al punto 2.4, l'azione sismica di riferimento è valutata in relazione ad una vita di riferimento

V_R così definita:

$$V_R = V_N C_U \quad (1)$$

dove V_N è la vita nominale a cui viene riferita la valutazione della sicurezza e C_U la classe d'uso (Linee Guida - §2.4; D.M. 14 gennaio 2008 - 2.4.1 e 2.4.2; Circolare 2 febbraio 2009, n° 617 - C2.4.1 e C2.4.2) assegnata sulla base delle caratteristiche del bene e del tipo d'uso.

Nell'ambito di una valutazione a carattere territoriale si è adottato una vita nominale uguale per tutto il campione (50 anni), evitando differenziazioni che possano essere ricondotte ad una maggior o minore rilevanza culturale del bene monumentale; risulta, infatti, complicata tale valutazione se non supportati nell'indagine in situ da tecnici competenti (funzionari della Soprintendenza), in grado di definire eventuali parametri di rilevanza culturale diversi tra le diverse emergenze architettoniche investigate.

Differente approccio è stato, invece seguito, per quanto riguarda il coefficiente C_U . In questo caso l'informazione legata a tale fattore era facilmente reperibile, senza la necessità di competenze specialistiche. Pertanto, in funzione all'uso e al grado di affollamento della chiesa, sono stati utilizzati tre diversi valori (in accordo con D.M. 14 gennaio 2008) pari a 0.7 – 1 – 1.5.

La definizione della graduatoria di rischio è stata, tuttavia, redatta sia tenendo conto di tale fattore legato all'esposizione del bene, sia trascurandolo in modo da non modificare la pericolosità attesa nel sito di riferimento per la vita nominale presa a riferimento.

In relazione quindi al periodo di riferimento V_R ed allo stato limite considerato, a cui è associata una determinata probabilità di superamento P_{VR} nella vita di riferimento, può essere valutato il periodo di ritorno di riferimento dell'azione sismica T_R :

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln (1-P_{VR})} \quad (2)$$

In Tabella 1 sono riportati i valori di periodo di riferimento dell'azione

$C_u = 0.7$	SLD	SLV	$C_u = 1$	SLD	SLV	$C_u = 1.5$	SLD	SLV
P_{VR} (%)	0.63	0.10	P_{VR} (%)	0.63	0.10	P_{VR} (%)	0.63	0.10
T_R (anni)	35	332	T_R (anni)	50	475	T_R (anni)	75	712

Tabella 1. Valori di riferimento dell'azione sismica per i differenti Stati Limite analizzati.

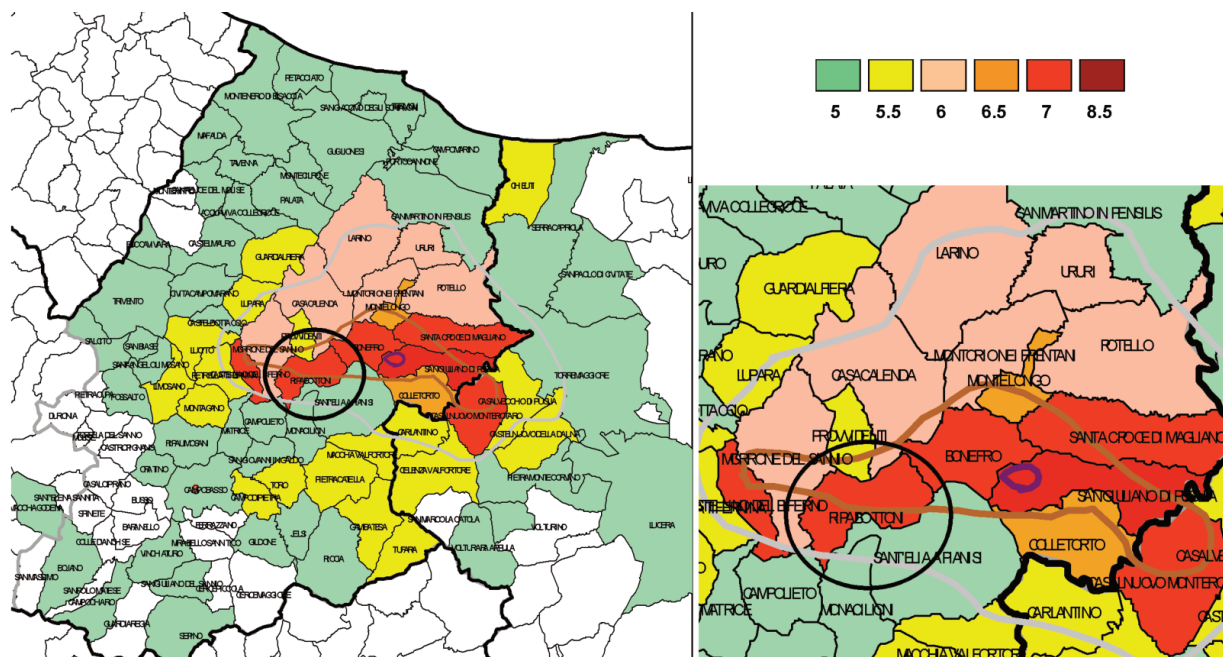
sismica T_R per lo Stato Limite di Danno (SLD) e lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) valutati con riferimento ai diversi valori di C_u .

Nel D.M. 14 gennaio 2008 "...le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale ...":

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per la stima del valore dell'accelerazione di riferimento del sito a_g , il D.M. 14 gennaio 2008 ha adottato i valori di pericolosità definiti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (GdL MPS, 2004: <http://zonesismiche.mi.ingv.it>) per l'intero territorio nazionale su un reticolo di lato pari a circa 5 km. Nell'Allegato A alle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008) sono fornite le indicazioni necessarie per ottenere i parametri dell'azione sismica per una generica coordinata geografica ed un generico periodo di ritorno. Per ogni sito in esame sono stati, pertanto, definiti i valori di a_g , F_0 e T_c^* con riferimento ai periodi di ritorno riportati in Tabella 1.

Per quanto riguarda, invece la determinazione dei valori di S_s e C_C , dipendenti dalla tipologia di suolo e dallo stato limite considerato, necessari per la definizione degli spettri di risposta elastici in accelerazione così come previsto dal D.M. 14 gennaio 2008, si è fatto riferimento agli studi di microzonazione sismica che sono stati eseguiti dalla Regione Molise nell'attività promosse dal Commissario Delegato per la ricostruzione post-sisma. (www.regione.molise.it/sis).



4 Sisma 2002 e la prevenzione sismica

Il 31 ottobre ed il 1 novembre 2002 due scosse di moderata magnitudo ($M_w = 5.7$) colpiscono alcuni Comuni delle province di Campobasso e Foggia (Galli *et al.*, 2004; Maffei *et al.*, 2004; Valensise *et al.*, 2004). Il quadro di danneggiamento prodotto dalla prima scossa viene ulteriormente aggravato dalla seconda, che investe, inoltre, Comuni che il 31 ottobre erano stati solo marginalmente interessati dall'evento sismico (Figura 2).

Il terremoto del Molise del 2002 scuote profondamente l'opinione pubblica e la società civile per il decesso di 27 bambini ed una maestra a seguito del crollo della scuola "F. Iovine" di San Giuliano di Puglia (CB).

La reazione delle Istituzioni, di fronte a questa nuova tragedia, produce l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/03 redatta dal Dipartimento della Protezione Civile (G.U. n. 105 del 08/05/2003) che colma lacune storiche nella classificazione sismica del territorio nazionale, definisce le modalità di redazione ed aggiornamento periodico delle mappe di pericolosità sismica di base ed intro-

Figura 2.
Distribuzione delle
Intensità
macro-sismiche
MCS per i diversi
Comuni

duce, seppur in maniera non esplicita, la microzonazione sismica nel quadro normativo di riferimento per la difesa dai terremoti. Il processo di aggiornamento messo in moto dall'evento molisano determina l'inizio di un cambiamento radicale dell'intero panorama normativo tecnico, attraverso un percorso che, sebbene con alcuni rallentamenti, giunge a definire un nuovo quadro normativo, in linea con i criteri di verifica più avanzati, che entra in vigore (anche in questo caso a seguito di un evento catastrofico: terremoto aquilano 6 aprile 2009) il 30 giugno 2009, con le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008) e la Circolare per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni, n°617 del 2 febbraio 2009.

In tale nuovo approccio legislativo si pone la Direttiva P.C.M. del 12 ottobre 2007 che sancisce i criteri per la valutazione e la mitigazione del rischio sismico del patrimonio culturale, attualmente armonizzata con il D.M. 14 gennaio 2009.

Sebbene l'evento sismico molisano non possa considerarsi dei più intensi, se rapportato alla magnitudo dell'evento, il quadro di danneggiamento apparve subito molto grave e diffuso.

Su oltre 23.000 sopralluoghi effettuati su edifici residenziali in provincia di Campobasso, nell'area del cratere, circa il 40% risultò non agibile a seguito dei danni subiti dal terremoto. Per quanto riguarda il patrimonio culturale, il censimento dei danni in Molise e Puglia, eseguito in fase di emergenza (586 manufatti così distribuiti: 75% chiese; 15% palazzi 4% conventi e torri), evidenzia un'elevata vulnerabilità del costruito monumentale ed in particolare delle chiese che risultano l'unica tipologia ad avere manifestato un livello di danno complessivo molto grave o prossimo al crollo (Grünthal, 1998). Tuttavia l'analisi statistica dei dati censiti tramite matrici di probabilità di danno (DPM) evidenzia come anche altre tipologie siano state significativamente danneggiate dall'azione sismica (Figura 3 e Figura 4). Le DPM dei palazzi mostrano, per I_{MCS} pari a VI, una distribuzione di probabilità di danno più punitiva rispetto all'analoga DPM calcolata per le chiese. Tale dato trova la giustificazione nello stato di manutenzione, a volte precario di

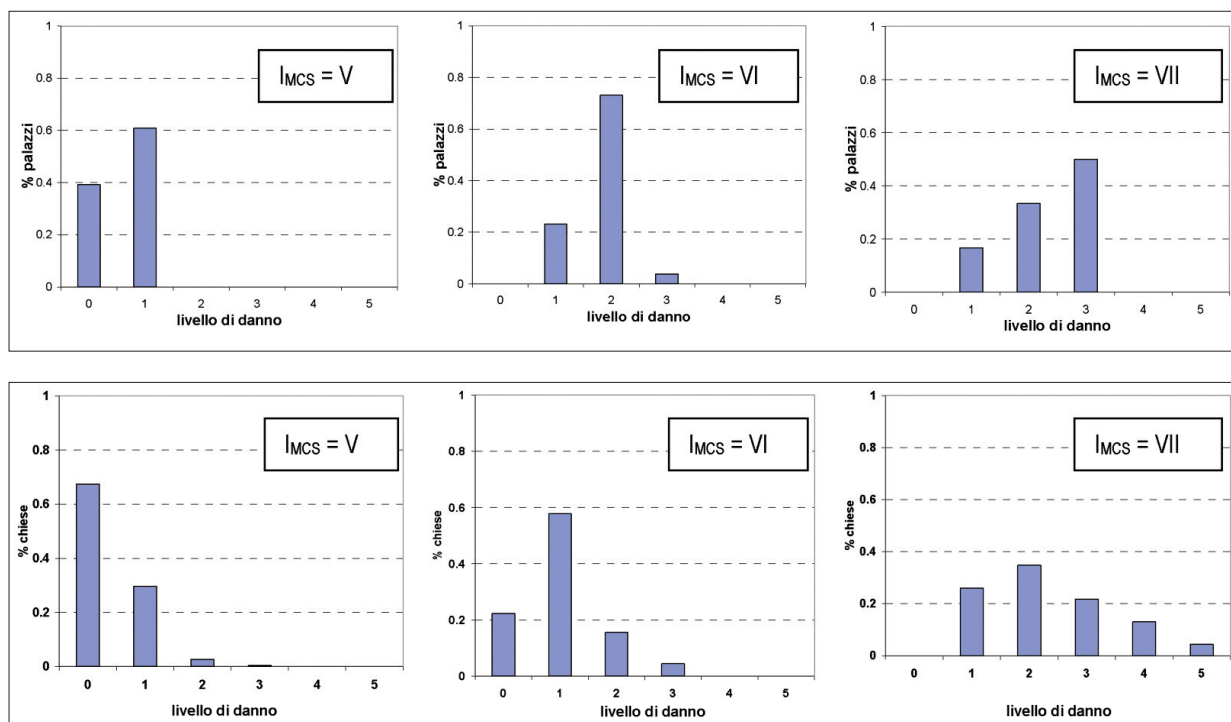


Figura 3. DPM per i palazzi censiti in Molise e Puglia

Figura 4. DPM per le chiese censite in Molise e Puglia

tali manufatti, che essendo per oltre il 70% di proprietà privata, non sono stati oggetto di interventi di manutenzione, evidenziando come la prevenzione inizi proprio attraverso il controllo continuo del livello di sicurezza dei manufatti; aspetto che in funzione dell'uso, hanno, invece, beneficiato mediamente gli edifici ecclesiastici.

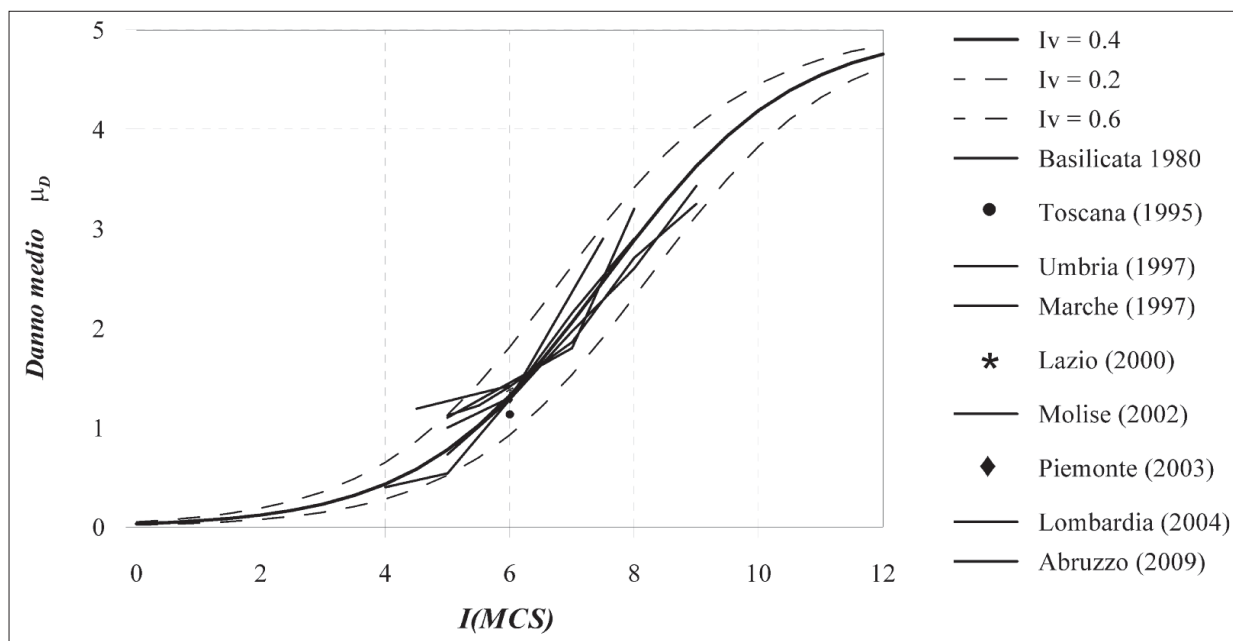
Tuttavia, in questi casi, si deve rilevare come interventi di consolidamento effettuati in un recente passato abbiano incrementato la vulnerabilità del patrimonio storico culturale: rifacimenti di solai o coperture in c.a. (a sostituzione delle strutture lignee), inserimento di cordoli in breccia in c.a. hanno modificato il comportamento strutturale non ottenendo, però alla prova del terremoto, quell'incremento di resistenza che poteva essere ipotizzato a livello della progettazione (Lagomarsino e Podestà, 2004a).

Proprio per tali ragioni il Commissario Delegato per la ricostruzione post-sisma ha istituito nell'ambito di una convenzione con il CNR - Istituto per le Tecnologie della Costruzione de L'Aquila la necessità di conoscere preventivamente la vulnerabilità del patrimonio culturale

della Regione Molise al fine di individuare quelle emergenze rispetto alle quali poter programmare un piano di mitigazione del rischio sismico. Per quanto riguarda le chiese, per esempio, a fronte della schedatura effettuata a seguito del rilievo in emergenza (Scheda di Rilievo del Danno ai Beni Culturali – Chiese - G.U. n°55 07/03/2006 – D.P.C.M. 23/02/2006) che consente un'individuazione dei meccanismi di danno attivati e del livello di danno causato dal terremoto, è stato effettuato un nuovo censimento finalizzato al rilievo della vulnerabilità dei diversi manufatti.

Il nuovo censimento è stato effettuato partendo dagli edifici danneggiati, ma estendendo il campo di azione a tutti quei Comuni che risultano ad elevato rischio sismico, sebbene non direttamente interessati dal terremoto del 2002. La metodologia applicata, integrata in una scheda di II livello (Regione Molise, 2005) è alla base dell'approccio che viene riproposto nella Direttiva del 12 ottobre 2007 – Allegato C. Attraverso la compilazione di tale scheda si è, infatti, in grado di cogliere quei dettagli costruttivi che giocano un ruolo essenziale nella valutazione della risposta sismica di un edificio ecclesiastico, sia in termini di presidi antisismici sia di indicatori di vulnerabilità. Il modello meccanico poi proposto nella Direttiva (Linee Guida – §5.4.3), consente, in funzione dell'indice di vulnerabilità, di calcolare, tramite la compilazione della scheda di rilievo, la capacità del manufatto per diversi stati limite di riferimento (Linee Guida – Eq. 5.18 e 5.19).

La disponibilità di oltre 500 manufatti, distribuiti sia sulla Provincia di Campobasso sia sulla Provincia di Isernia, ha consentito di effettuare una valutazione, a livello territoriale, della vulnerabilità sismica, in accordo con il metodo LV1 proposto dalla Direttiva relativamente alla tipologia “*Chiese, luoghi di culto ed altre strutture con grandi aule senza orizzontamenti intermedi*” (Linee Guida – §5.4.3). Dal momento che le formulazioni per il calcolo del valore dell'accelerazione al suolo, corrispondente allo stato limite di danno ed allo stato limite ultimo sono state ottenute dall'analisi statistica dei danni subiti, le conseguenti distribuzioni probabilistiche derivate al variare dell'indice di vulnerabi-



lità a partire dalle chiese dell'Umbria e Marche danneggiate a seguito del terremoto del 1997, sono state controllate preventivamente per valutare l'attendibilità degli involucri proposti in modo da capire l'affidabilità del risultato per le chiese molisane, seppur a livello territoriale. In figura 5 è riportato il confronto tra la curva di vulnerabilità (Lagomarsino e Podestà, 2004b) con diversi valori di danno medio calcolati dai dati censiti a seguito di recenti eventi sismici, compreso il rilievo dei danni eseguito dopo il terremoto del 6 aprile 2009 in Abruzzo (Podestà *et al.*, 2010). La buona approssimazione avvalora maggiormente l'attendibilità della metodologia proposta per le verifiche a livello territoriale della Direttiva ed il suo utilizzo per la valutazione della vulnerabilità sismica delle chiese del Molise.

Figura 5. Curve di vulnerabilità delle chiese e danni medi per diversi eventi sismici

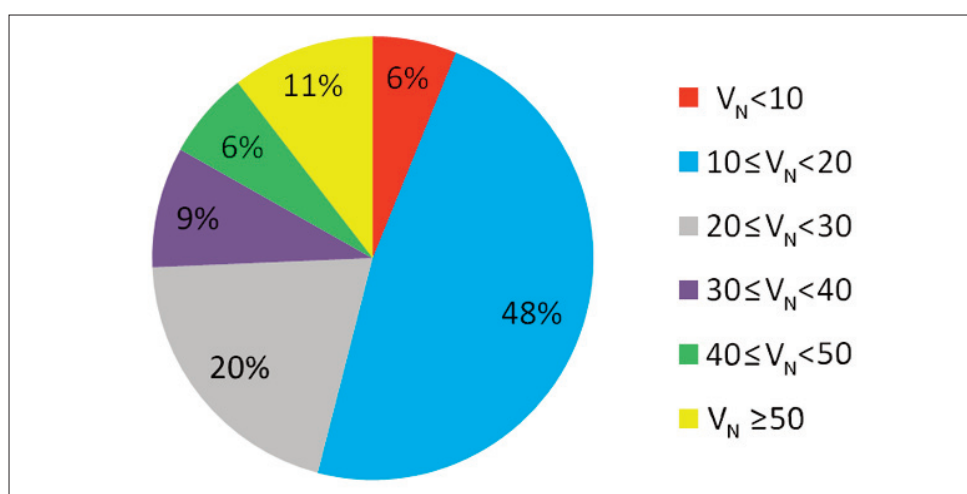
5 Analisi Territoriale

La valutazione, a livello territoriale, della sicurezza sismica, condotta sul campione di oltre 500 chiese molisane è riportata, in Figura 6, in funzione della vita nominale che determina (con riferimento alla pericolosità del sito ed alla vulnerabilità del manufatto) il raggiungimento dello stato limite di salvaguardia della vita. In tale valutazione

sono stati, infatti, posti unitari sia il fattore di confidenza F_C sia il coefficiente d'uso C_U , consentendo alcune riflessioni che esulano dall'esposizione del manufatto. L'analisi dei risultati evidenzia come circa la metà delle chiese, presenti condizioni tali da dovere prevedere un incremento di conoscenza attraverso una valutazione di maggiore dettaglio (modelli LV2 – LV3) al fine di progettare un eventuale intervento di miglioramento sismico. In particolare il 6% del campione risulta particolarmente vulnerabile ad un'azione sismica dal momento che la vita nominale del manufatto associabile allo stato limite di salvaguardia della vita risulta inferiore a 10 anni (Figura 6). È, tuttavia, importante sottolineare come se da una parte il 54% del campione risulta molto vulnerabile (V_N inferiore od uguale a 20 anni), dall'altra quasi la metà del campione presenta accorgimenti costruttivi tali da contrastare efficacemente l'attivazione di meccanismi di danno tipici per questa tipologia costruttiva. Seppur la valutazione statistica non consente di scendere nel dettaglio dei diversi singoli casi è importante evidenziare come proteggere il patrimonio monumentale è possibile, garantendo livelli di sicurezza accettabili ed a volte superiori (11%) con quanto richiesto dal D.M. 14 gennaio 2008 per le nuove costruzioni.

Se si analizza la graduatoria di rischio (Tabella 2), ordinata in funzione del valore minore di vita nominale, focalizzando l'attenzione sulle

Figura 6.
Classificazione del
campione in
funzione dei valori
di vita nominale
ottenuti



Denominazione	Comune	Provincia	I(MCS)	i _d	i _v	S	S ^a _{SLV} [g]	T _{SLV}	F _a	I _s	V _N
Chiesa della Madonna del Carmelo	MONTENERO VALCOCCHIARA	IS	0	0.00	0.79	1	0.101	49	0.37	0.10	5
Chiesa del Purgatorio	COLLETORTO	CB	6.5	0.32	0.81	1.27	0.098	51	0.37	0.11	5
Chiesa S. Rocco	TORO	CB	5.5	0.00	0.70	1.5	0.121	53	0.37	0.11	6
Chiesa di San Filippo Neri	CASTEL SAN VINCENZO	IS	0	0.00	0.74	1	0.112	61	0.41	0.13	6
Chiesa S.Emidio	BOJANO	CB	5	0.00	0.72	1.15	0.118	69	0.38	0.15	7
Chiesa S.Giovanni dei Gelsi	CAMPOBASSO	CB	5	0.00	0.82	1	0.096	71	0.42	0.15	7
S.Giovanni Battista	COLLETORTO	CB	6.5	0.44	0.77	1.15	0.105	71	0.44	0.15	7
Chiesa S.Maria Maggiore	MORRONE DEL SANNIO	CB	6	0.23	0.68	1.38	0.126	70	0.43	0.15	7
Chiesa della S.S. Addolorata	FORNELLI	IS	0	0.00	0.74	1	0.113	67	0.41	0.14	7
Chiesa S.Maria delle Grazie	GILDONE	CB	5	0.02	0.74	1.25	0.111	67	0.41	0.14	7
Chiesa S. Nicola	PIETRACATELLA	CB	0	0.20	0.72	1.35	0.118	65	0.43	0.14	7
Chiesa di S. Urbano	MONTERODUNI	IS	0	0.00	0.76	1	0.108	71	0.41	0.15	7
Chiesa S.Salvatore	CASALCIPRANO	CB	5	0.20	0.67	1.25	0.130	77	0.42	0.16	8
S.Alfonso dei Liguori	COLLETORTO	CB	6.5	0.30	0.71	1.27	0.119	74	0.45	0.16	8
Chiesa S.Maria a Monte	CAMPOBASSO	CB	5	0.00	0.72	1.2	0.117	74	0.43	0.16	8
Chiesa di S. Maria della Grazie	FORLÌ DEL SANNIO	IS	0	0.00	0.72	1	0.118	75	0.44	0.16	8
Chiesa della S.S. Assunta	FORNELLI	IS	0	0.00	0.69	1	0.124	80	0.45	0.17	8
Chiesa S.Giacomo	SANTA CROCE DI MAGLIANO	CB	7	0.53	0.71	1.25	0.119	77	0.46	0.16	8
S.Pietro in Vincoli	CASTELLINO DEL BIFERNO	CB	7	0.74	0.64	1.38	0.136	81	0.47	0.17	9
Chiesa S.Francesco	LARINO	CB	6	0.34	0.68	1.38	0.127	86	0.48	0.18	9
Chiesa S. Maria della Concezione	RIPABOTTONI	CB	7	0.64	0.60	1.5	0.149	82	0.47	0.17	9

chiese maggiormente vulnerabili, è possibile riflettere su alcuni aspetti. Nella tabella, infatti, oltre all'identificazione della chiesa (denominazione, Comune e Provincia) è riportata l'intensità macrosismica rilevata dall'INGV a seguito dell'ultimo evento sismico (31 ottobre 2002); l'indice di danno, calcolato tramite la Scheda di Rilievo del Danno ai Beni Culturali – Chiese - G.U. n°55 07/03/2006 – D.P.C.M. 23/02/2006; l'indice di vulnerabilità, calcolato tramite la metodologia proposta nell'Allegato C delle Linee Guida; il fattore di amplificazione S funzione dello studio di microzonazione effettuato dalla Regione Molise; la pe-

Tabella 2.
Graduatoria di rischio sismico a SLV: prime chiese del campione (CU unitario)

ricolosità del sito dove sorge ogni chiesa, il tempo di ritorno per il quale si raggiunge lo stato limite di salvaguardia della vita e gli indici di sicurezza (F_a , I_s , V_N). In particolare si sottolinea come un valore nullo di $I(MCS)$ è connesso ad aree che non sono state interessate dall'evento sismico del 2002: è il caso della Provincia di Isernia per la quale l'analisi territoriale rappresenta una vera e propria analisi di vulnerabilità preventiva al fine di definire un criterio per la mitigazione del rischio sismico.

In primo luogo la possibilità di analizzare chiese danneggiate dall'ultimo evento sismico (Provincia di Campobasso) permette, seppur con alcuni limiti, di verificare l'affidabilità della metodologia di valutazione LV1 proposta. Le chiese che ricadono in aree "epicentrali" (intensità macrosismica ≥ 6) con un elevato indice di vulnerabilità presentano un indice di danno significativo, avvalorando l'affidabilità del risultato in un'ottica preventiva. Per contro le chiese che mostrano un'elevata vulnerabilità ed hanno un indice di danno basso sono localizzate in zone che non sono state colpite dall'evento sismico (intensità macrosismica bassa < 6).

Tra i manufatti più vulnerabili sono, inoltre, presenti molte chiese che hanno subito interventi di consolidamento recenti. È il caso delle chiese del Comune di Colletorto (figura 7), che erano state oggetto in un recente passato di un intervento di "restauro" che ha portato a sostituire l'originaria copertura lignea con una nuova struttura in cemento armato, cordoli in breccia in c.a. di grandi dimensioni, incrementando le masse e modificando sostanzialmente il comportamento originario della struttura. Tutti gli edifici hanno subito gravi danni nell'evento sismico del 2002, nonostante l'azione dell'evento sismico sia stata inferiore a quella attesa. Tale aspetto deve fare riflettere sulle soluzioni tecniche che spesso vengono adottate per il miglioramento sismico dei manufatti del passato, interventi non compatibili con il comportamento originario del costruito storico (Linee Guida - §6).

Se si focalizza l'attenzione sulle chiese della Provincia di Isernia è

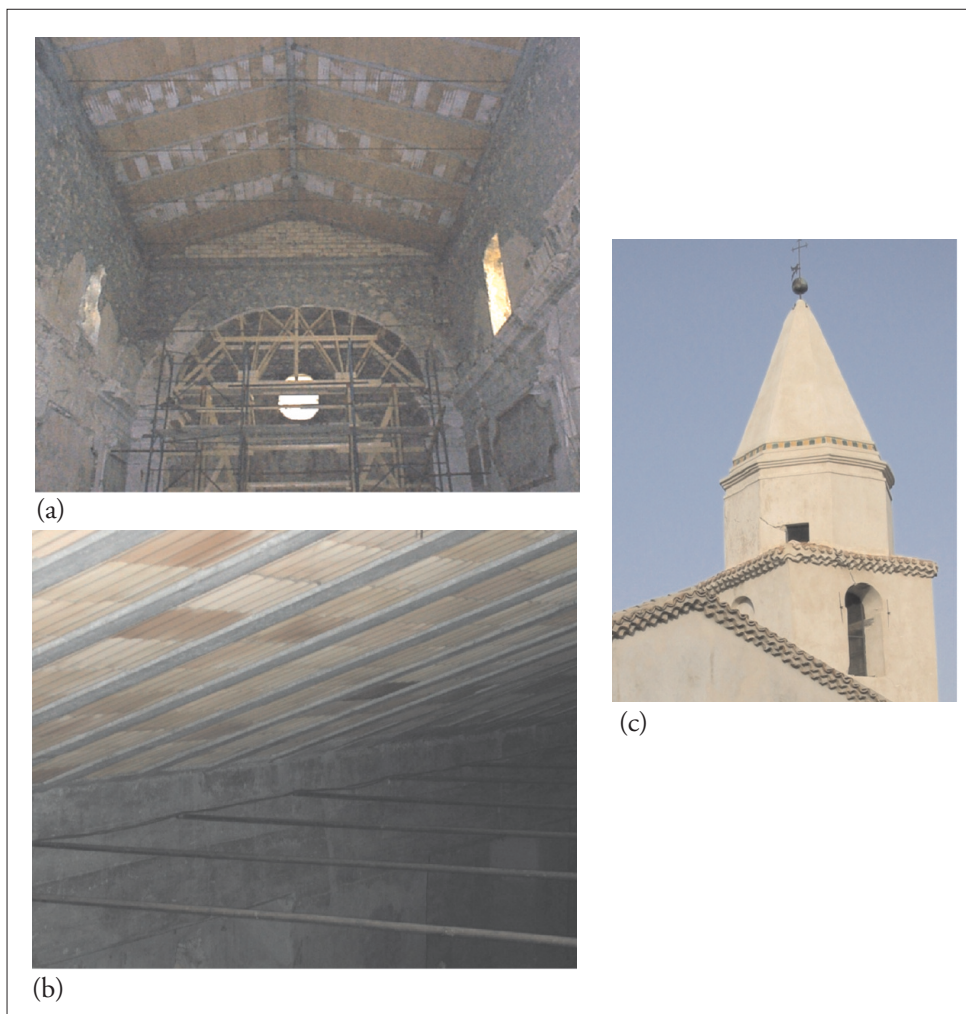


Figura 7. Colletorto (CB). a) Chiesa del Purgatorio. b) S. Giovanni Battista. c) S. Alfonso dei Liguori

possibile notare come nonostante la maggior pericolosità sismica il numero di manufatti risulti minore ad evidenziare, in via generale, una minore vulnerabilità connessa ad accorgimenti e tecniche costruttive differenti. I casi che emergono dalla lista di priorità mostrano come è necessario iniziare a pianificare politiche di mitigazione del rischio in fase preventiva, al fine di tutelare il costruito storico rispetto a perdite spesso irreversibili. L'analisi della lista di priorità dell'intero campione, non riportata per brevità nella sua interezza, permette di osservare come siano presenti molte chiese all'interno di range molto limitati (< 1 o 2 anni). Questo aspetto determina l'esigenza di definire ulteriori parametri per guidare il

Denominazione	Comune	Provincia	I(MC S)	i _d	i _v	S	S _{asLV} [g]	T _{SLV}	F _a	I _s	V _N
Chiesa cimiteriale	SALCITO	CB	5	0.04	0.37	1	0.203	708	1.17	1.49	75
Chiesa S. Nicola di Bari	LUCITO	CB	0	0.08	0.29	1.15	0.208	721	1.17	1.52	76
Cappella Cimiteriale	LIMOSANO	CB	5.5	0.04	0.22	1.25	0.220	724	1.18	1.52	76
Cappella di S. Antonio	CASTEL DEL GIUDICE	IS	0	0.00	0.30	1	0.234	732	1.17	1.54	77
Chiesa S. Maria Assunta	MACCHIA VALFORTORE	CB	5.5	0.00	0.36	1	0.204	737	1.18	1.55	78
Chiesa S. Maria di Casalpiano	MORRONE DEL SANNIO	CB	6	0.00	0.34	1	0.210	745	1.19	1.57	78
Chiesa SS. Rosario	GUGLIONESI	CB	5	0.00	0.47	1.15	0.143	752	1.18	1.58	79
Chiesa S. Maria Assunta in Cielo	SANT'ANGELO LIMOSANO	CB	5	0.03	0.17	1.38	0.217	748	1.19	1.57	79
Chiesa dell'Annunziata	RICCIA	CB	5	0.00	0.38	1	0.191	813	1.23	1.71	86
Chiesa S. Maria delle Stelle	SANT'ANGELO LIMOSANO	CB	5	0.19	0.31	1	0.217	826	1.24	1.74	87
Chiesa S. Lucia	RIPALIMOSANI	CB	5	0.17	0.26	1	0.225	950	1.31	2.00	100
Chiesa S. Chiara	TRIVENTO	CB	5	0.11	0.35	1	0.188	960	1.31	2.02	101
Cappella Centocelle	SANT'ELIA A PIANISI	CB	5.5	0.22	0.30	1	0.210	968	1.31	2.04	102
Chiesa S. Michele	MACCHIA VALFORTORE	CB	5.5	0.00	0.24	1.15	0.204	980	1.32	2.06	103
Chiesa Madonna del Carmine	PORTOCANNONE	CB	5	0.00	0.38	1.15	0.150	1055	1.35	2.22	111
Chiesa Madonna Incoronata	TAVENNA	CB	5	0.03	0.42	1.2	0.136	1100	1.33	2.32	116
Chiesa Madonna del Castello	SAN FELICE DEL MOLISE	CB	5	0.00	0.42	1.15	0.140	1127	1.34	2.37	119
Chiesa Cattedrale S.Maria della Purificazione	TERMOLI	CB	5	0.00	0.50	1.15	0.117	1214	1.35	2.56	128
Chiesa S.S. Rosario	SAN GIACOMO DEGLI SCHIAVONI	CB	5	0.02	0.44	1.15	0.124	1478	1.46	3.11	156
Chiesa Cimiteriale	PETACCIATO	CB	5	0.00	0.53	1.15	0.107	1556	1.41	3.28	164
Cappella S.Lucia	MONTEMITRO	CB	5	0.08	0.43	1	0.139	1633	1.51	3.44	172
Chiesa S.Anna	TRIVENTO	CB	5	0.10	0.25	1	0.188	1712	1.61	3.60	180

Tabella 3.
Graduatoria di rischio sismico a SLV: ultime chiese del campione (CU unitario)

processo decisionale per l'individuazione dell'emergenze sulle quali intervenire in via prioritaria.

In analogia alla Tabella 2, si riporta la graduatoria delle chiese a minor rischio sismico (Tabella 3).

Anche in questo caso sono possibili alcune considerazioni. Se si analizza il campione di chiese colpito dall'evento sismico molisano, seppur

siano presenti chiese ricadenti in un'area non epicentrale, il livello di danno è praticamente nullo, dato intrinsecamente correlato ad un livello limitato di vulnerabilità. Inoltre la tipologia dei manufatti è principalmente caratterizzata da strutture semplici con pochi macroelementi (chiese ad una navata, cappelle, chiese cimiteriali), che garantiscono una minor propensione al danneggiamento e contemporaneamente una miglior risposta d'insieme del manufatto. In tali situazioni il livello di sicurezza appare abbondantemente superiore rispetto quanto richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni per lo stato limite di salvaguardia della vita.

L'analisi è stata condotta anche considerando un C_U diversificato per ogni manufatto in accordo a quanto proposto dalle Linee Guida, per tener in conto dell'esposizione nell'analisi di rischio sismico. Quello che emerge è come la lista generale subisca piccole variazioni. Per le chiese più vulnerabili i cambiamenti interessano 11 chiese della lista precedente; tuttavia la nuova graduatoria non determina un sensibile cambiamento in quanto nei primi 80 posti sono ricomprese le chiese più vulnerabili evidenziate in Tabella 2.

6 Conclusioni

L'importanza di effettuare un'analisi territoriale del rischio sismico del patrimonio culturale consente di pianificare il necessario approfondimento conoscitivo, finalizzato all'eventuale intervento di miglioramento sismico, su quei manufatti architettonici che già con un approccio semplificato risultano ad elevato rischio sismico. Prevenire la perdita, in molti casi irreversibile, del nostro patrimonio culturale causata da un evento traumatico come il terremoto, passa necessariamente da una conoscenza diffusa del patrimonio culturale. Questa esigenza è legata sia a ovvie motivazioni economiche (risorse limitate in relazione ad un patrimonio culturale così vasto) sia all'evidenza, in parte ribadita anche dall'analisi condotta sulle chiese del Molise, che esistono situazioni in cui il rischio sismico è molto inferiore rispetto a quanto convenzionalmente accettato

dal D.M. 14 gennaio 2010, per le quali situazioni il mantenimento delle condizioni attuali attraverso la definizione di un piano di manutenzione possa rappresentare già un approccio di corretta tutela.

7 **Riferimenti bibliografici**

- Galli, P., Molin, D., 2004, Macroseismic Survey of the 2002 Molise, Italy, Earthquake and Historical Seismicity of San Giuliano di Puglia, Earthquake Spectra, 20, 39-52, doi:10.1193/1.1756136.
- Cifani G., Lemme A., Podestà S. (a cura di) (2005). Beni monumentali e terremoto: dall'emergenza alla ricostruzione. ROMA: DEI – Tipografia del genio civile, (Capitolo 4, Allegati C1, C2 e C3).
- Circolare 2 febbraio 2009, n° 617, C.S.LL.PP, Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 14 gennaio 2008.
- Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 12 ottobre 2007 (*Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*). G.U. n. 24 del 29.01.2008 suppl. ord. n. 25.
- Grünthal, G., (ed), 1998, European Macroseismic Scale 1998, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, 15, Luxembourg.
- Lagomarsino, S., Podestà S., 2004a "Damage and vulnerability assessment of the churches after the 2002 Molise, Italy, earthquake", Earthquake Spectra 20, (Special Issue 1, 2002 Molise Italy Earthquake Reconnaissance Report, edited by P. Bazzurro and J. Maffei), S271-S283. ISBN: 1-932884-03-3, 2004.
- Lagomarsino S., Podestà S., 2004b "Seismic vulnerability of ancient churches. Part2: statistical analysis of surveyed data and methods for risk analysis" Earthquake spectra 20, 395-412, ISSN-8755-2930, 2004.
- Maffei, J., Bazzurro, P. (eds.), 2004, Special Issue on the 2002

Molise, Italy earthquake, Earthquake Spectra 20 (S1), 358 pp., including 19 research papers plus an introductory paper.

- Norme tecniche per le costruzioni - D.M. 14 gennaio 2008, (G.U. n. 29 del 4.02.2008 suppl. ord. n° 30).
- Ordinanza n. 3274 e ss.mm. del 20.03.2003 del Presidente del Consiglio dei Ministri “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” (pubblicato nel Supplemento Ordinario n. 72 della G.U. n. 105 del 8.05.2003).
- Podestà S., Brignola A., Curti E., Parodi S., Lemme A. (2010). Il rilievo del danno e della vulnerabilità sismica delle chiese: il terremoto dell’Abruzzo. INGEGNERIA SISMICA, vol. I; p. 21-35, ISSN: 0393-1420.
- Valensise, G., Pantosti, D., Basili, R., 2004, Seismology and Tectonic Setting of the 2002 Molise, Italy, Earthquake, Earthquake Spectra, 20, 23-37, doi:10.1193/1.1756136.