

### 3.3.3 - Valutazione della vulnerabilità ed analisi di rischio delle chiese del Molise

*S. Podestà*

Eseguire un'analisi di vulnerabilità significa valutare la consistenza del costruito diffuso in una data area, sia in termini quantitativi che qualitativi, ed in particolare stimare la sua propensione ad essere danneggiato dal sisma. Una metodologia per l'analisi di vulnerabilità deve quindi precisare come eseguire il censimento, più o meno dettagliato, del costruito e delle sue caratteristiche e definire opportuni modelli che correlino la severità del moto sismico con gli effetti in termini di danneggiamento fisico e di perdite, economiche o intangibili (1). Seppur l'operazione di individuazione dei dati da censire dovrebbe essere subordinata alla metodologia di valutazione della vulnerabilità che s'intende adottare, è importante sottolineare come l'aspetto prioritario di disporre di un numero significativo di dati renda da un lato inutilizzabili metodologie proposte ma mai realmente applicate, e dall'altro determini la messa a punto di metodi che si basano su modelli creati a posteriori su dati già catalogati. Il significato probabilistico delle rielaborazioni che in genere si traggono, perde di rilevanza quando il numero d'edifici investigati diventa statisticamente non più rappresentativo. La conoscenza dei manufatti, ottenuta tramite campagne di censimento effettuate direttamente sul campo, è, dall'altra parte, onerosa e difficoltosa, comportando tempi lunghi che sono legati non solo alle operazioni di rilievo vere e proprie, ma anche al reperimento e all'addestramento di tecnici qualificati. Eseguita quindi l'analisi di vulnerabilità e nota la pericolosità sismica dell'area in esame, ovvero le caratteristiche del moto sismico atteso nella regione, eventualmente differenziate per considerare gli effetti di amplificazione locale (microzonazione), è possibile stimare la distribuzione dei danni al costruito. Qualora lo studio di pericolosità sia condotto in termini probabilistici, anche le conseguenze strutturali ed economiche saranno espresse probabilisticamente: tale approccio configura quella che viene denominata un'analisi di rischio. Nel caso invece in cui la sismicità sia studiata su base deterministica, o estraendo da un catalogo di sismicità storica uno o più terremoti significativi o simulando con modelli teorico-numeriche i meccanismi di sorgente e la propagazione delle onde nella crosta terrestre, si esegue un'analisi di scenario, ovvero si valutano gli effetti sul territorio a seguito di uno specifico evento sismico. La scelta tra analisi di rischio ed analisi di scenario dipende dalle finalità dello studio. Nel caso di uno studio del territorio a fini preventivi, l'analisi di rischio è preferibile in quanto cumula gli effetti di tutte le potenziali sorgenti sismiche dell'area e fornisce una valutazione comparabile tra i diversi comuni interessati dallo studio. Per analizzare invece gli aspetti di gestione dell'emergenza legati alla Protezione Civile è più significativa un'analisi di scenario, in quanto riproduce una distribuzione realistica degli effetti sul territorio, fatto che consente di elaborare anche strategie per il post-terremoto; il rischio in alcune aree dello studio è tuttavia sottostimato, in quanto ci si riferisce ad un unico ben preciso evento. In entrambi i casi, tuttavia, si possono utilizzare gli stessi modelli per l'analisi di vulnerabilità. In funzione dei dati utilizzati è possibile ottenere valutazioni territoriali su larga scala (denominate in genere di I livello), in cui si definisce una classificazione in funzione della tipologia strutturale, o valutazioni territoriali di maggiore dettaglio (II livello), che sono legate ad approcci in cui si cerca di fornire una valutazione del singolo edificio. Tali semplici considerazioni mostrano come, a prescindere dalla classe di edifici che si intende analizzare, esistono alcuni aspetti generali da risolvere se si vuole effettuare un'analisi di vulnerabilità. Bisogna, infatti, decidere come definire e descrivere il danno e come sviluppare il modello di previsione, una volta noto l'input sismico. La metodologia utilizzata per il censimento delle chiese del Molise, si basa su un modello che definisce il

danno strutturale dell'opera attraverso una diagnosi intuitiva dei meccanismi di collasso che si possono attivare nel corpo di fabbrica. Il modello, agganciato ad una scheda di rilievo descritta nel paragrafo 3.3.1, si basa sul concetto di macroelemento e meccanismo di collasso. In funzione di 18 meccanismi di danno è possibile, infatti, ottenere un *indice di danno* che rappresenta il valore del danno medio atteso nell'edificio, in funzione della vulnerabilità riscontrata nella chiesa e dell'intensità macrosismica dell'area. La metodologia descritta nel paragrafo 3.3.1, è stata utilizzata oltre che per il rilievo dei danni sismici delle chiese dell'Umbria e Marche anche durante le operazioni di sopralluogo post-sisma di altri recenti eventi sismici italiani. Tale utilizzo a posteriori della metodologia ha permesso una validazione del metodo di previsione che è stato tarato direttamente sui dati censiti a seguito di eventi sismici in diverse aree geografiche. Suddividendo il campione di dati rilevati in occasione del terremoto umbro-marchigiano per aree in cui è stata rilevata un'intensità macrosismica omogenea è stato possibile ottenere una distribuzione statistica dell'indice di danno, trasformando tale variabile, continua tra 0 e 1, in un parametro discreto in base ad un intervallo di conversione riportato in tabella 3.3.3.1., stabilendo una correlazione con i sei livelli di danno della Scala EMS-98 (2).

Livello	Indice di danno	Descrizione del danno strutturale
0	$i_d \leq 0.05$	<u>Nessun danno</u> : danno lieve solo in uno o due meccanismi
1	$0.05 < i_d \leq 0.25$	<u>Danno trascurabile o lieve</u> : danno lieve o moderato in alcuni meccanismi
2	$0.25 < i_d \leq 0.4$	<u>Danno medio</u> : danno moderato in molti meccanismi, con uno o due meccanismi attivati a livello medio
3	$0.4 < i_d \leq 0.6$	<u>Danno grave</u> : molti meccanismi attivati a livello medio, con alcuni meccanismi a livello grave
4	$0.6 < i_d \leq 0.8$	<u>Danno molto grave</u> : danno grave in molti meccanismi, con possibile crollo di alcuni elementi della chiesa
5	$i_d > 0.8$	<u>Crollo</u> : oltre 2/3 presentano un livello di danno corrispondente al crollo

Tabella 3.3.3.1. Conversione dell'indice di danno  $i_d$  in 6 livelli di danno, descritti qualitativamente.

Tale trasformazione ha permesso di ottenere per aree con la stessa intensità macrosismica le matrici di probabilità di danno DPM *Damage Probabilistic Matrix*, che sono in grado di rappresentare probabilisticamente il danno atteso sugli edifici di ciascuna classe attraverso un istogramma. Di seguito si riportano, le matrici (3) che sono state ottenute per le chiese dell'Umbria e delle Marche (Figure 3.3.3.2-3). Dall'osservazione delle matrici di probabilità di danno si nota come ovviamente il danno si incrementa gradualmente con l'aumentare dell'intensità del sisma, ma in particolare come gli istogrammi delle chiese delle due regioni assumano una distribuzione con un andamento molto simile a parità di intensità macrosismica. Tale dato è confermato, inoltre, dalle DPM ottenute per le chiese danneggiate dal terremoto del 1995 in Lunigiana e Garfagnana e per le chiese del Lazio colpite dal terremoto del 2000 (Figura 3.3.3.1). Se si confrontano, infatti, gli istogrammi relativi ad una intensità macrosismica pari VI, nonostante il campione di chiese non sia allo stesso modo statisticamente rappresentativo, si può notare come l'andamento sia analogo: le distribuzioni, infatti, presentano un picco di probabilità di danno medio che si attesta in tutti i casi sul livello 1.

Questo aspetto permette nel caso di una analisi preventiva come quella condotta per le chiese molisane, di potere utilizzare la distribuzione di probabilità di tipo binomiale definita dal solo parametro  $d$  danno medio (compreso tra 0 e 1) che ben approssima gli istogrammi determinati (4) (5).

$$p_k = \frac{5!}{k!(5-k)!} d^k (1-d)^{5-k} \quad (k=0,1,2,3,4,5) \quad (3.3.3.1),$$

dove:  $p_k$  è la probabilità di avere un danno di livello  $k$ .

Nel caso di tipologie ricorrenti, aspetto frequente per le costruzioni religiose, si evince come il modello proposto non risenta in maniera sostanziale dell'area geografica dove viene applicato, permettendo un utilizzo affidabile in occasione di valutazioni territoriali del rischio sismico.

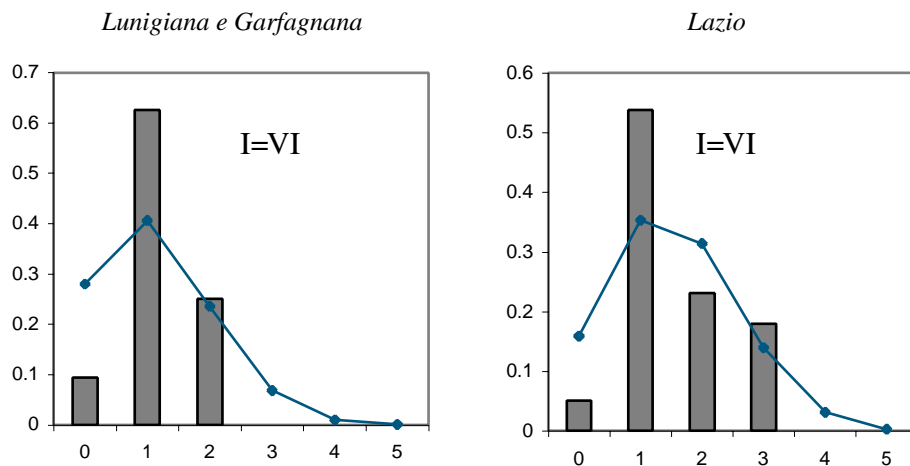


Figura 3.3.3.1 Matrici di probabilità del danno strutturale nelle chiese della Lunigiana e del Lazio

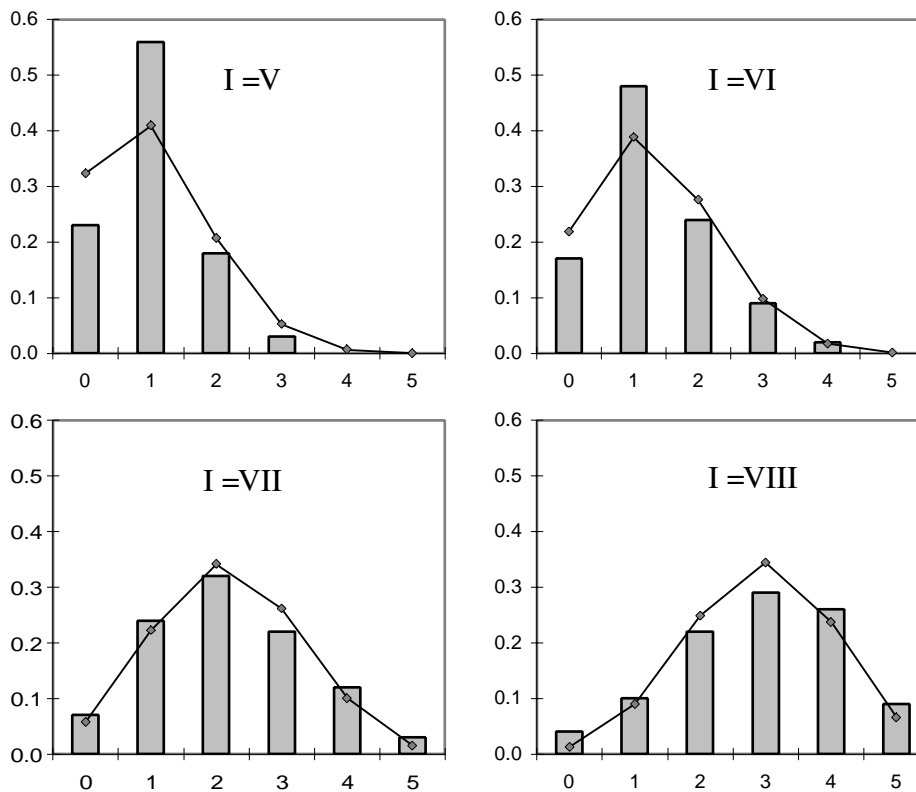


Figura 3.3.3.2 Matrici di probabilità del danno strutturale nelle chiese dell'Umbria

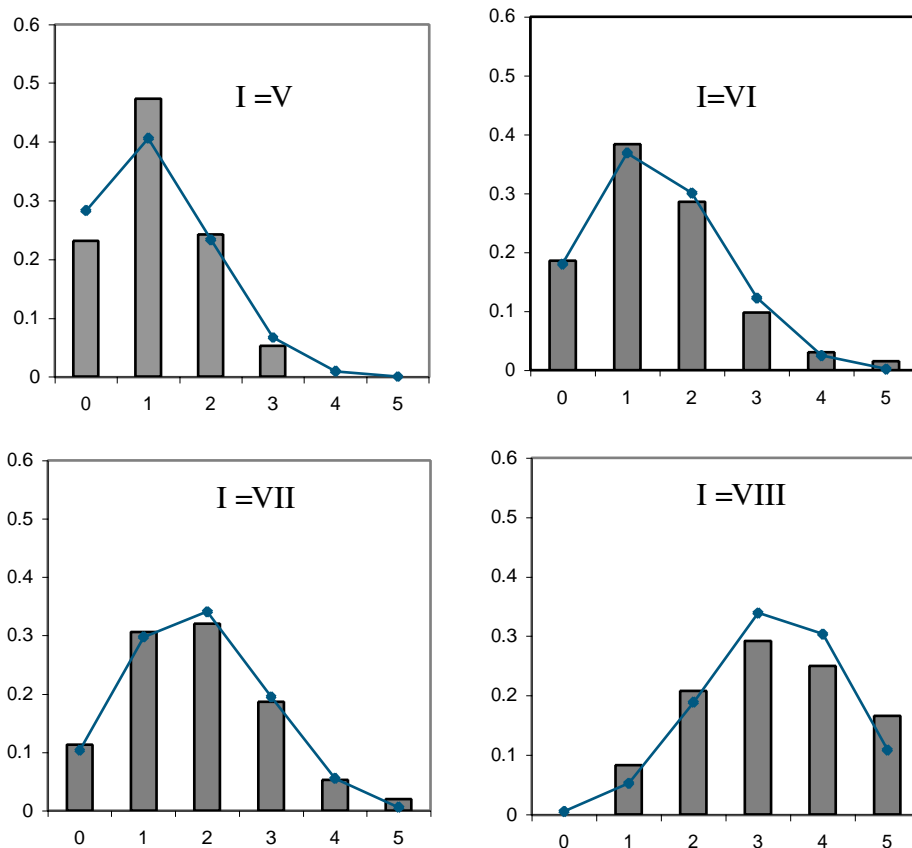


Figura 3.3.3.3 Matrici di probabilità del danno strutturale nelle chiese delle Marche

Per migliorare l'accuratezza di un'analisi di rischio è stato opportuno individuare per le chiese diverse classi di vulnerabilità, ciascuna caratterizzata da DPM differenti e meno disperse rispetto a quelle ottenute sull'intero campione.

Un parametro che è risultato utile allo scopo è stato l'indice di vulnerabilità  $i_v$ , definito dall'equazione [3.3.1.2] del paragrafo 3.3.1; si sono quindi individuate due classi di vulnerabilità, analogamente a quanto viene in genere fatto per gli edifici in muratura: *classe A* - chiese molto vulnerabili ( $i_v > 0.4$ ); *classe B* - chiese poco vulnerabili ( $i_v < 0.4$ ). Separando sia il campione delle chiese dell'Umbria, sia il campione delle chiese delle Marche, si sono ri-calcolate le matrici di probabilità. I valori del danno medio ottenuti sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 3.3.3.2. - Danno medio nelle chiese in funzione dell'intensità sismica e della classe di vulnerabilità.

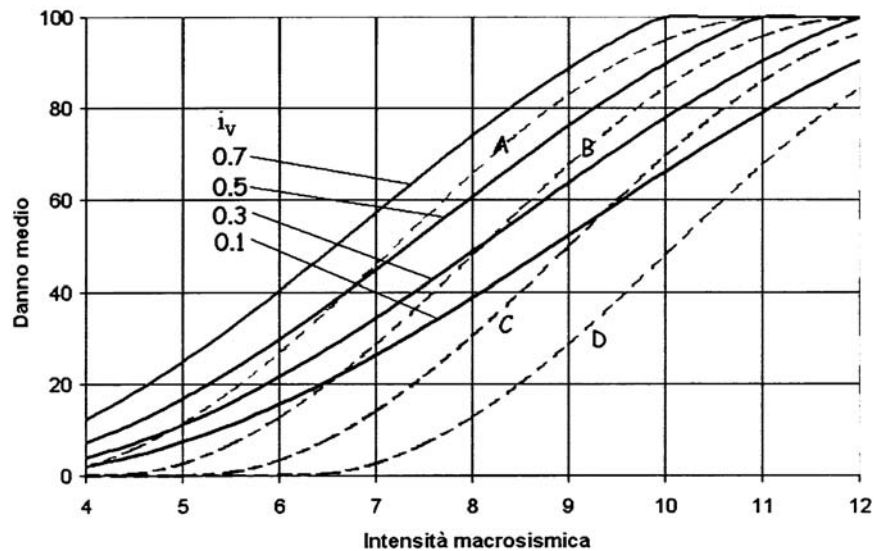
Intensità MCS	Tutte le chiese Umbria	Classe A Umbria	Classe B Umbria	Tutte le chiese Marche	Classe A Marche	Classe B Marche
V	0.20	0.23	0.09	0.22	0.28	0.19
VI	0.26	0.36	0.19	0.29	0.42	0.23
VII	0.43	0.45	0.30	0.36	0.45	0.31
VIII	0.58	-	-	0.64	-	-

A partire dai dati del danno medio delle chiese dell'Umbria, per le quali è stato possibile effettuare un controllo di qualità delle schede, è stata cercata una funzione che potesse approssimare al meglio il risultato statistico, in grado di variare in modo continuo rispetto all'indice di vulnerabilità e all'intensità macrosismica.

La funzione è la seguente:

$$d = 0.55 \cdot \{1 + \sin[(0.24 + 0.1i_v)(I + 3.875i_v - 9.575)]\} \quad (3.3.3.2)$$

Di seguito sono riportate le curve di fragilità delle chiese (Figura 3.3.3.4) calcolate per diversi valori dell'indice di vulnerabilità, mettendole a confronto con le curve ottenute per gli edifici ordinari in funzione delle classi di vulnerabilità di appartenenza (6) (A, B, C, D).



Il raffronto permette di mettere in evidenza quello che in parte era già stato colto intuitivamente dall'osservazione dei danni. In occasione di terremoti di limitata intensità le curve di fragilità delle chiese mostrano valori di danno atteso maggiori rispetto a quelli degli edifici ordinari, la vulnerabilità intrinseca di tali costruzioni determina un danno anche per valori d'accelerazione sismica molto bassi. Tuttavia si nota che l'andamento dei due fasci di curve tende ad uniformarsi con l'aumento della severità del terremoto. Già per valori di intensità pari a VII-VIII esiste una previsione di danno abbastanza simile per entrambi le classi tipologiche di edifici. Questo dimostra come l'incremento di vulnerabilità che è intrinseco alle chiese per la loro particolare tipologia, perda importanza di fronte a terremoti significativi.

## Analisi di rischio

In relazione alle considerazioni precedenti, si riporta in tale paragrafo la valutazione probabilistica del danno atteso per tutte le chiese dei Comuni oggetto del censimento effettuato (Tabella 3.3.3.3) a cui sono state aggiunte anche 30 chiese rilevate in un precedente censimento (7). Il modello appena descritto mostra un'accettabile attendibilità anche per aree geografiche diverse da quello per cui è stato validato: i dati delle chiese della Lunigiana e Garfagnana o del Lazio ne dimostrano, infatti, una sostanziale applicabilità, anche in termini della funzione di probabilità adottata. Inoltre la tipologia costruttiva che si è riscontrata durante i sopralluoghi pone di fronte a manufatti molto simili in termini di dimensioni, materiali e soluzioni costruttive a quelli rilevati in Umbria e Marche, dopo la crisi sismica del 1997: tale aspetto garantisce ulteriormente sull'utilizzo di tale modello di previsione del danno per l'area molisana.

**Tabella 3.3.3.3 Danno medio nelle chiese in funzione dell'intensità sismica e della classe di vulnerabilità**

Comune	Denominazione	$I_d - I_{mcs} V$	$I_d - I_{mcs} VI$	$I_d - I_{mcs} VII$	$I_d - I_{mcs} VIII$	$I_d - I_{mcs} IX$
AGNONE	S.PIETRO APOSTOLO	0.08	0.17	0.29	0.42	0.56
AGNONE	SS. TRINITA'	0.09	0.18	0.30	0.43	0.57
AGNONE	SS. ANNUNZIATA	0.17	0.30	0.45	0.61	0.76
AGNONE	SAN FRANCESCO	0.15	0.27	0.42	0.57	0.72
AGNONE	S. AMICO	0.13	0.24	0.38	0.53	0.68
AGNONE	S. MARIA A MAIELLA	0.12	0.23	0.37	0.51	0.66
AGNONE	S. CROCE	0.08	0.17	0.28	0.41	0.55
AGNONE	S. ANTONIO	0.08	0.17	0.28	0.42	0.55
AGNONE	S. MARCO EVANGELISTA	0.12	0.22	0.36	0.50	0.65
BARANELLO	S. MARIA	0.13	0.24	0.38	0.53	0.68
BARANELLO	S. MICHELE ARCANGELO	0.11	0.21	0.34	0.49	0.63
BOIANO	CON.TA DEL PURGATORIO	0.11	0.21	0.34	0.48	0.63
BOIANO	S.MARIA DEL PARCO	0.18	0.32	0.47	0.63	0.78
BOIANO	CATTEDRALE	0.10	0.20	0.32	0.46	0.61
BOIANO	S. BIAGIO	0.10	0.19	0.31	0.45	0.59
BOIANO	SS.MARIA DELLE GRAZIE	0.11	0.21	0.34	0.48	0.63
BOIANO	S. MICHELE	0.14	0.26	0.40	0.55	0.70
BOIANO	SS. ERASMO E MARTINO	0.12	0.23	0.36	0.51	0.66
BOIANO	S. MARIA IN RIVOLI	0.16	0.28	0.43	0.59	0.74
CAMPOBASSO	S. ANTONIO ABATE	0.15	0.28	0.42	0.58	0.73
CAMPOBASSO	S. MARIA DELLA CROCE	0.06	0.13	0.23	0.35	0.47
CAMPOCHIARO	S.MARIA ASSUNTA	0.13	0.25	0.39	0.54	0.69
CAMPOCHIARO	S.MARIA DELLE GRAZIE	0.11	0.22	0.35	0.50	0.64
CAN.PO DEL SANNIO	CHIESA DELLA CONGREGA	0.24	0.39	0.56	0.73	0.88
CAN.PO DEL SANNIO	SAN SALVATORE	0.24	0.39	0.56	0.73	0.88
CARPINONE	IMM.TA CONCEZIONE	0.12	0.22	0.35	0.50	0.65
CARPINONE	CHIESA DEL PURGATORIO	0.12	0.22	0.36	0.50	0.65
CARPINONE	S.MARIA ASSUNTA	0,12	0,22	0,36	0,50	0,65
CARPINONE	S.MARIA DI LORETO	0,16	0,28	0,43	0,59	0,74
CARPINONE	S.MICHELE	0,23	0,38	0,54	0,71	0,86
CARPINONE	S.ROCCO	0,16	0,28	0,43	0,59	0,74
CARPINONE	S.MARIA DEGLI ANGELI	0,13	0,25	0,39	0,54	0,69
CASTEL S. VINCENZO	S. MARIA DELLE GRAZIE	0.11	0.21	0.34	0.48	0.62
CASTEL S. VINCENZO	S.MARTINO	0.21	0.35	0.51	0.68	0.83
CASTEL S. VINCENZO	S.FILIPPO NERI	0.15	0.27	0.42	0.57	0.73
CASTEL S. VINCENZO	S. MARIA DELL'ASSUNTA	0.04	0.07	0.12	0.17	0.23
CASTEL S. VINCENZO	S.ROCCO	0.17	0.30	0.45	0.61	0.76
CASTEL S. VINCENZO	S.ROCCO	0.23	0.38	0.54	0.71	0.86
CASTEL S. VINCENZO	S.STEFANO	0.20	0.34	0.50	0.66	0.82
CASTELPETROSO	S. MARTINO VESCOVO	0.11	0.21	0.34	0.48	0.63

CASTELPETROSO	S. GIUSEPPE	0.12	0.22	0.35	0.50	0.65
CASTELPETROSO	SANTUARIO	0,11	0,22	0,35	0,49	0,64
CERCEMAGGIORE	S. MARIA A MONTE	0.13	0.24	0.38	0.53	0.68
CERCEMAGGIORE	S.MARIA DELLA LIBERA	0.12	0.22	0.36	0.50	0.65
CERCEMAGGIORE	S.MARIA DELLA CROCE	0.11	0.22	0.35	0.49	0.64
CERCEMAGGIORE	S.ROCCO	0.11	0.21	0.33	0.47	0.62
CERCEPICCOLA	CHIESA MADRE	0.15	0.28	0.42	0.58	0.73
COLLE D'ANCHISE	S. NICOLA	0.13	0.24	0.38	0.53	0.68
COLLE D'ANCHISE	S. MARIA DEGLI ANGELI	0.13	0.24	0.38	0.53	0.68
COLLE D'ANCHISE	S. MARGHERITA	0.13	0.24	0.37	0.52	0.67
COLLE D'ANCHISE	S. SISTO	0.14	0.25	0.39	0.55	0.70
FILIGNANO	S.PASQUALE BYLON	0.14	0.25	0.39	0.55	0.70
FILIGNANO	S.ANTONIO ABATE	0.11	0.21	0.33	0.47	0.62
FILIGNANO	SS. CROCIFISSO	0.12	0.22	0.36	0.50	0.65
FILIGNANO	SS. ANNUNZIATA	0.17	0.30	0.45	0.61	0.76
FILIGNANO	CAPPELLA DEL CALVARIO	0.10	0.19	0.31	0.45	0.59
FILIGNANO	MADONNA DEL MORZONE	0.12	0.23	0.36	0.51	0.66
FROSOLONE	S. MARIA ASSUNTA	0.22	0.36	0.52	0.69	0.84
FROSOLONE	S. PIETRO APOSTOLO	0.17	0.30	0.45	0.61	0.76
FROSOLONE	S. MICHELE ARCANGELO	0.22	0.37	0.53	0.70	0.85
GUARDIAREGIA	S.NICOLA	0.14	0.25	0.39	0.55	0.70
GUARDIAREGIA	S.MARIA DELLA NEVE	0.13	0.24	0.38	0.52	0.68
GUARDIAREGIA	S.NICOLA DI BARI	0.15	0.27	0.41	0.57	0.72
GUARDIAREGIA	S.NICOLA A TREMONTI	0.10	0.19	0.31	0.45	0.59
ISERNIA	S.CHIARA	0,05	0,17	0,28	0,41	0,55
ISERNIA	S.FRANCESCO	0,12	0,23	0,36	0,51	0,66
ISERNIA	S.PIETRO APOSTOLO	0,08	0,17	0,28	0,41	0,54
ISERNIA	S.PIETRO CELESTINO	0,15	0,27	0,41	0,57	0,72
ISERNIA	SACRO CUORE	0,12	0,23	0,36	0,51	0,66
MACCHIAGODENA	CHIESA DELL ASSUNTA	0,14	0,26	0,40	0,55	0,70
MACCHIAGODENA	S.NICOLA	0,13	0,24	0,38	0,53	0,70
PETT.LO DEL MOLISE	SAN SEBASTIANO	0.17	0.30	0.45	0.61	0.76
PETT.LO DEL MOLISE	S. MARIA ASSUNTA	0.21	0.36	0.52	0.68	0.84
PIZZONE	SSS GIOVANNI E PAOLO	0.13	0.24	0.38	0.52	0.68
PIZZONE	S. LIBERATA	0.13	0.24	0.38	0.53	0.68
PIZZONE	MADONNA DELL'ASSUNTA	0.13	0.24	0.37	0.52	0.67
PIZZONE	S.ILARIO	0.07	0.15	0.25	0.37	0.50
PIZZONE	S.NICOLA	0.14	0.26	0.40	0.55	0.70
POGGIO SANNITA	DELLE GRAZIE	0.17	0.30	0.45	0.61	0.76
POGGIO SANNITA	S.ROCCO	0.14	0.25	0.39	0.55	0.70
POGGIO SANNITA	S.VITTORIA	0.12	0.23	0.36	0.51	0.66
RICCIA	SANT. DEL CARMINE	0.13	0.24	0.38	0.53	0.68
RICCIA	IMM.TA CONCEZIONE	0.10	0.21	0.33	0.47	0.62
RICCIA	SS. ROSARIO	0.11	0.21	0.34	0.48	0.63
ROCCAMANDOLFI	SAN GIACOMO	0.06	0.13	0.23	0.35	0.47
ROCCAMANDOLFI	SAN SEBASTIANO	0.17	0.30	0.45	0.61	0.76
ROCCAMANDOLFI	S. MICHELE	0.29	0.46	0.63	0.80	0.94
ROCC.TA VOLTURNO	S.MARIA ASSUNTA	0.10	0.19	0.31	0.45	0.60
ROCC.TA VOLTURNO	S. LUCIA	0.22	0.36	0.52	0.69	0.84
ROCC.TA VOLTURNO	S. MARIA DELLE GROTTI	0.12	0.22	0.35	0.50	0.65
ROCC.TA VOLTURNO	S. ANTONIO	0.22	0.36	0.52	0.69	0.84
ROCC.TA VOLTURNO	S. MARIA ASSUNTA	0,16	0,28	0,43	0,59	0,74
ROCC.TA VOLTURNO	S.VINCENZO NUOVO	0.08	0.17	0.28	0.41	0.55
ROCC.TA VOLTURNO	S. MARIA ASSUNTA	0,12	0,23	0,36	0,51	0,66
ROCC.TA VOLTURNO	ASSUNZIONE DI S.MARIA	0.18	0.32	0.47	0.63	0.78
S. GIULIANO DEL S.	S. ROCCO	0.11	0.22	0.35	0.50	0.64
S. GIULIANO DEL S.	CHIESA S. NICOLA	0.12	0.23	0.37	0.51	0.66
SAN MASSIMO	S. SALVATORE	0.14	0.26	0.40	0.56	0.71

S. POLO MATESE	S. NICOLA	0,13	0,24	0,38	0,53	
S. POLO MATESE	S. ANTONIO	0,15	0,27	0,42	0,57	0,73
S. POLO MATESE	S. PIETRO IN VINCOLI	0,12	0,23	0,37	0,51	0,66
S. POLO MATESE	S. MICHELE	0,14	0,25	0,39	0,55	0,70
S. MARIA DEL MOLISE	SS. MARIA E GIACOMO	0,09	0,19	0,31	0,45	0,59
S. MARIA DEL MOLISE	S. PIETRO IN VINCOLI	0,13	0,24	0,37	0,52	0,67
SCAPOLI	S. GIORGIO MARTIRE	0,12	0,23	0,37	0,51	0,66
SCAPOLI	S. GIOVANNI	0,14	0,26	0,40	0,55	0,70
SCAPOLI	S. MARIA DELLE GRAZIE	0,26	0,42	0,59	0,76	0,91
SEPINO	DEL PURGATORIO	0,11	0,21	0,34	0,48	0,63
SEPINO	S. LORENZO	0,13	0,25	0,39	0,54	0,69
SEPINO	S. CRISTINA	0,13	0,24	0,37	0,52	0,67
SEPINO	SS. TRINITA'	0,14	0,26	0,40	0,56	0,71
SEPINO	S. MARIA	0,15	0,27	0,41	0,57	0,72
SPINETE	S. MARIA ASSUNTA	0,12	0,23	0,36	0,51	0,66
SPINETE	S. PIETRO	0,13	0,24	0,37	0,52	0,67
VINCHIATURO	S. BERNARDINO	0,06	0,13	0,23	0,35	0,47
VINCHIATURO	S. CROCE	0,14	0,26	0,40	0,56	0,71
VINCHIATURO	S. MARIA DELLE MACCHIE	0,09	0,19	0,31	0,44	0,58

In funzione dei dati rilevati durante la campagna di censimento, tramite la scheda descritta in precedenza, è stato possibile calcolare i due indici legati alla vulnerabilità dell'opera e al danno pregresso presente. In tale analisi si è tenuto conto dell'indice di vulnerabilità. Il danno riscontrato, assente nella maggior parte dei casi, è stato, in ogni caso, considerato per la valutazione di dettaglio del singolo macroelemento, in cui, più che il valore del danno medio atteso, risulta importante una previsione sui singoli macroelementi, individuando la vulnerabilità sismica in funzione sia delle carenze costruttive, sia del danno preesistente. L'indice di vulnerabilità, immediatamente ottenibile tramite il database utilizzato per l'informatizzazione dei dati, permette di definire una graduatoria delle chiese che sono più vulnerabili. Il risultato, riportato nella tabella seguente (Tabella 3.3.3.4), mostra le prime 20 chiese che hanno registrato il valore dell'indice di vulnerabilità più alto.

Nonostante non sia concettualmente significativa un'analisi per aree geografiche ben definite (per esempio: Comuni) appare chiaramente come nella provincia d'Isernia risiedano 19 delle 20 chiese con la vulnerabilità più elevata.

**Tabella 3.3.3.4 Prime 20 chiese con indice di vulnerabilità più alto**

Provincia	Comune	Denominazione	Iv
IS	ROCCAMANDOLFI	S. MICHELE	0,79
IS	SCAPOLI	S. MARIA DELLE GRAZIE	0,73
IS	CANTALUPO DEL SANNIO	CHIESA DELLA CONGREGA	0,68
IS	CANTALUPO NEL SANNIO	SAN SALVATORE	0,68
IS	CASTEL SAN VINCENZO	S. ROCCO	0,65
IS	FROSOLONE	S. MICHELE ARCANGELO	0,64
IS	ROCCHETTA A VOLTURNO	S. LUCIA	0,63
IS	ROCCHETTA A VOLTURNO	S. ANTONIO	0,63
IS	FROSOLONE	S. MARIA ASSUNTA	0,63
IS	PETTORANELLO DEL MOLISE	S. MARIA ASSUNTA	0,62
IS	CASTEL SAN VINCENZO	S. MARTINO	0,61
IS	CASTEL SAN VINCENZO	S. STEFANO	0,59
CB	BOIANO	S. MARIA DEL PARCO	0,54
IS	ROCCHETTA A VOLTURNO	ASSUNZIONE DI S. MARIA	0,54
IS	ROCCHETTA A VOLTURNO	S. MARIA ASSUNTA	0,50
IS	POGGIO SANNITA	DELLE GRAZIE	0,50
IS	PETTORANELLO DEL MOLISE	SAN SEBASTIANO	0,50
IS	AGNONE	SS. ANNUNZIATA	0,50
IS	FILIGNANO	SS. ANNUNZIATA	0,50
IS	CASTEL SAN VINCENZO	S. ROCCO	0,50



Di seguito sono riportati per alcuni Comuni della Regione le *DPM* del danno atteso nel caso d'eventi sismici con un'intensità sismica crescente. A partire dall'indice di vulnerabilità è possibile, infatti, definire il valore di danno medio atteso tramite l'interpolazione con le curve di vulnerabilità precedentemente descritte (vedi Tabella 3.3.3.3).

La legge probabilistica binomiale riportata in [3.3.3.2] ha permesso di ottenere una distribuzione del danno previsto secondo la consueta rappresentazione del livello di danno per istogrammi. Tale elaborazione è stata effettuata per tutte le chiese censite, tuttavia per brevità, si riporta in tale lavoro le matrici di probabilità di danno atteso solo per due Comuni: Frosolone in provincia d'Isernia (Tabelle 3.3.3.5-6-7) e Baranello in provincia di Campobasso (Tabelle 3.3.3.8-9). Il valore dell'indice di vulnerabilità medio (per Comune)

Tabella 3.3.3.5  
Matrici di probabilità di danno per la chiesa di  
S. Maria Assunta Frosolone ( $I_v = 0.63$ )

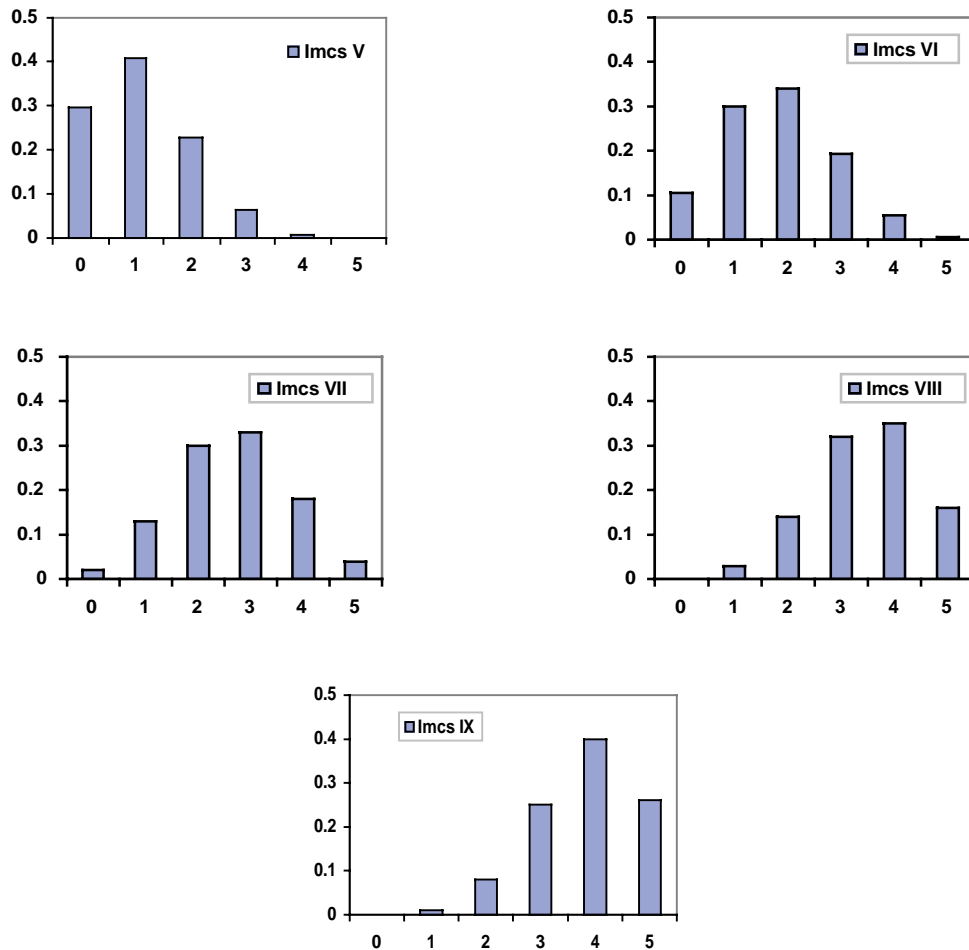


Tabella 3.3.3.6  
 Matrici di probabilità di danno per la chiesa di  
 S. Pietro Apostolo - Frosolone ( $I_v=0.50$ )

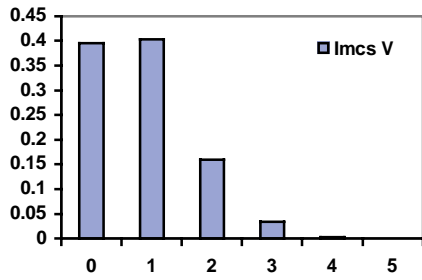


Tabella 3.3.3.7  
 Matrici di probabilità di danno per la chiesa di  
 S. Michele Arcangelo - Frosolone ( $I_v=0.64$ )

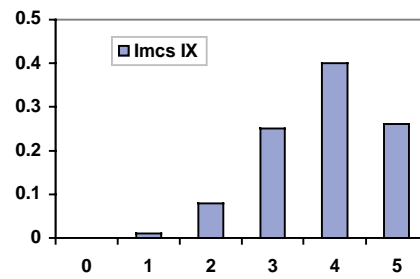
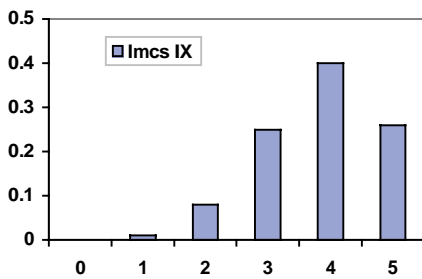
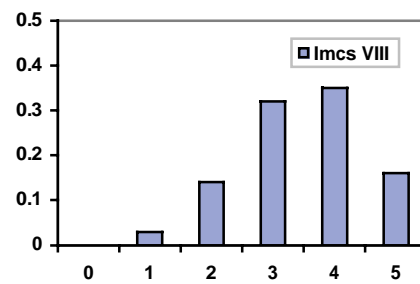
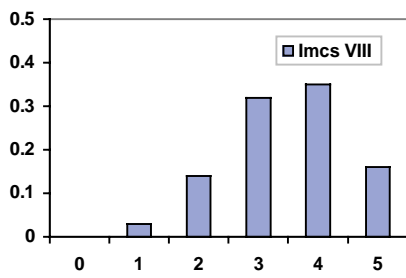
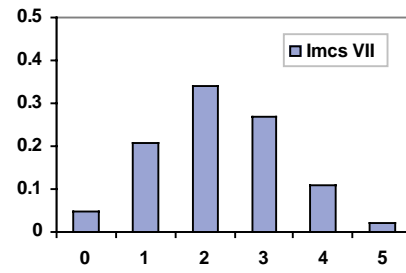
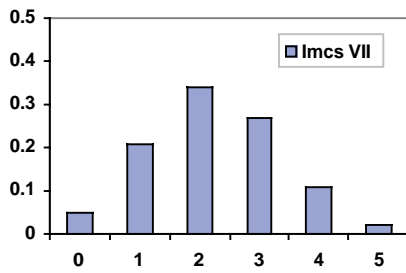
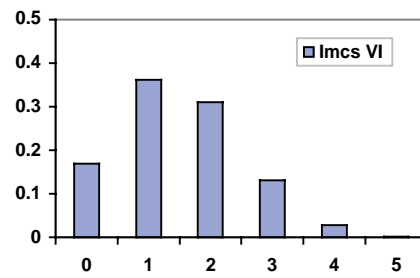
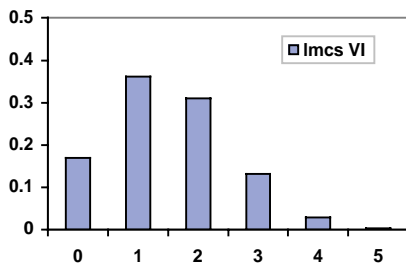
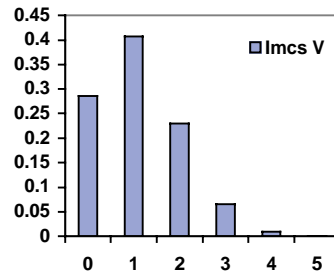


Tabella 3.3.3.8  
 Matrici di probabilità di danno per la chiesa di  
 S. Maria - Baranello ( $I_v=0.38$ )

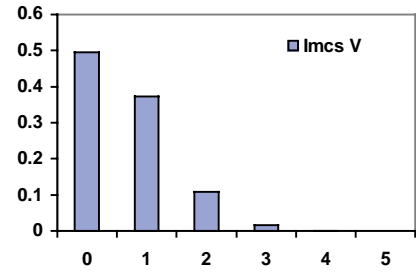
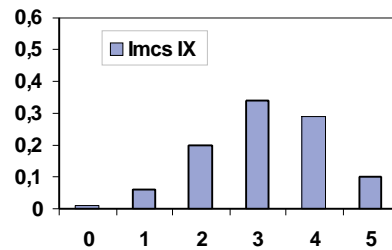
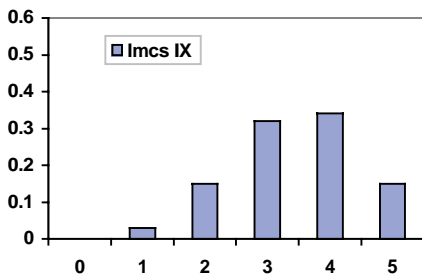
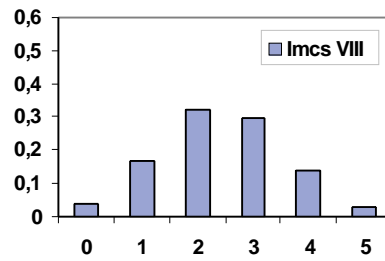
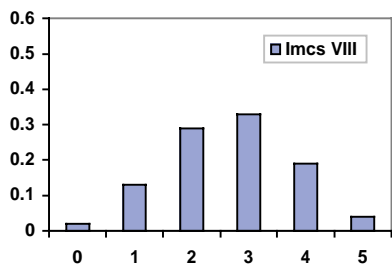
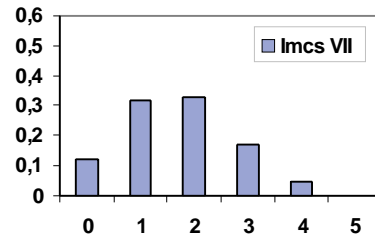
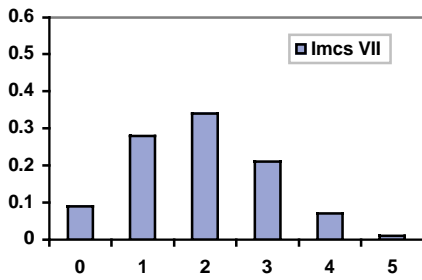
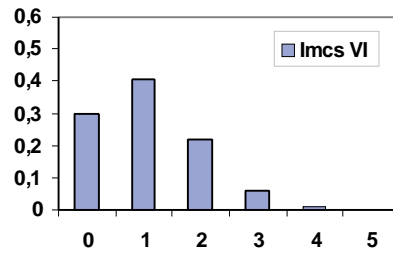
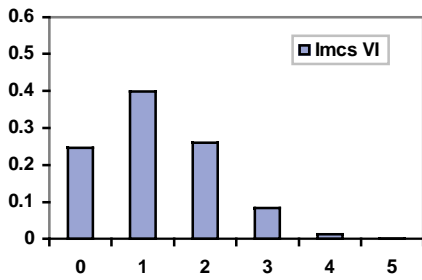
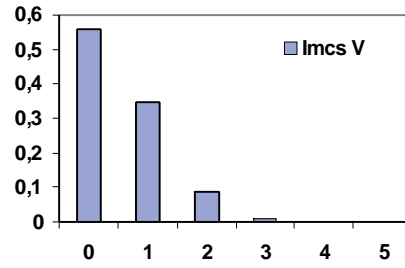


Tabella 3.3.3.9  
 Matrici di probabilità di danno per la chiesa di  
 S. Michele - Baranello ( $I_v=0.29$ )



Nonostante tale analisi permetta una valutazione a livello territoriale di diversi scenari di danno in relazione all'intensità macrosismica, non bisogna dimenticare come l'operazione di media statistica che si compie, tende a neutralizzare il caso particolare; per un bene monumentale ciò che si vuole conservare è spesso proprio la sua accidentalità storica.

La previsione o la valutazione del danno va quindi eseguita contestualmente a due differenti livelli: sul singolo macroelemento della fabbrica, fornendo una descrizione puntuale del fenomeno, e attraverso l'indice di danno medio, particolarmente utile per le analisi territoriali. Per quanto riguarda il primo livello la scheda stessa rappresenta il risultato; il CD-ROM Chiese del Molise consente, per facilitarne la lettura, una visione in chiaro attraverso la stampa su file della relazione automatica dell'esito del sopralluogo. Per la valutazione a livello territoriale, il risultato è rappresentato dal valore del danno medio atteso in funzione dell'intensità macrosismica verificata. A seguire si riporta l'esemplificazione di tale danno medio, in funzione dei 5 livelli di danno usati normalmente nel rilievo del danno sismico.

### **Note al paragrafo 3.3.3**

- (1) Giovanizzi S., &Lagormarsino S. 2001. *Una metodologia per l'analisi di vulnerabilità sismica del costruito*, Atti del 10 Convegno Nazionale: L'Ingegneria sismica in Italia, Potenza 2001 (in corso di stampa)
- (2) Grunthal G., Musson, R.M.W., Schwarz, J. &Stucchi, M. 1998. *European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98)*. European Seismological Commission, Working Group Macroseismic Scales, Luxembourg.
- (3) Lagomarsino S., Maggiolo L., Podestà S., *Vulnerabilità sismica delle chiese: proposta di una metodologia integrata per il rilievo la prevenzione ed il rilievo del danno in emergenza*, Atti del XConvegno Nazionale L'Ingegneria Sismica in Italia Potenza 2001
- (4) Corsanego, A., Chirico, A., Giorgini, G., Roggeri, G. &Ugolini, P. 1992. *Recupero vulnerabilità e rischio sismico nei centri storici della Liguria: Il caso "La Pigna" di Sanremo*. Genova: Cartografica
- (5) Baratta, A., Colletta, T. &Zuccaro, G. 1996. *Seismic risk of historic centres. A preliminary approach to the Naples' case*. Napoli: La Città del Sole.
- (6) Giovanizzi S., &Lagormarsino S. 2001. *Una metodologia per l'analisi di vulnerabilità sismica del costruito*, Atti del 10 Convegno Nazionale: L'Ingegneria Sismica in Italia, Potenza, 2001 (in corso di stampa).
- (7) Le ulteriori 30 chiese inserite sono state rilevate con il progetto *Censimento relativo alle emergenze a carattere monumentale ed ambientale nei Comuni ricadenti in tutto e in parte all'interno dei Parchi naturali nazionali e regionali dell'Italia meridionale* a cura di Dipartimento Protezione Civile e GNDT,