



**SISMA MOLISE 2002 : BENI MONUMENTALI E TERREMOTO
DALL'EMERGENZA ALLA RICOSTRUZIONE**

**PROGETTO : CARTODATA
CARTES DE RISQUE DU PATRIMOINE**

**METODOLOGIE PER IL CENSIMENTO, IL RILIEVO
DEL DANNO E DELLA VULNERABILITA' E
LA COSTRUZIONE DI SCENARI
UN GIS PER I BENI MONUMENTALI**

Alberto Lemme & Giandomenico Cifani

CAMPOBASSO 11-12 MAGGIO 2006



**PROGETTO : CARTODATA
CARTES DE RISQUE DU PATRIMOINE**

**ACTIVITÉ 1 :
INVENTAIRE ET ANALYSE DES BASES DE DONNÉES**



**ACTIVITÉ 2 :
PRODUCTION DE SCENARIOS COMPLETS D'ADAPTATION DES BASES
DE DONNÉES AUX CAS PARTICULIERS**

**ACTIVITÉ 3 :
MODELES CONCEPTUELS, CAHIERS DES CHARGES ET PROTOTYPES**

**SISMA MOLISE 2002 : BENI MONUMENTALI E TERREMOTO
DALL'EMERGENZA ALLA RICOSTRUZIONE**

Attività svolta per la salvaguardia del patrimonio Monumentale a seguito della crisi sismica che ha colpito il Molise nel 2002

Emergenza :

- Rilievo del danno sismico – messa in sicurezza degli edifici danneggiati, stima dei costi di intervento (DPC – Regione Molise)
- Riapertura al Culto degli Edifici (Presidente della Regione Molise-Commissario Delegato)

Post Emergenza :

- Studio per la valutazione della Vulnerabilità sismica (CNR-ITC)
- Linee guida per la progettazione e la esecuzione degli interventi (CNR-ITC)
- Valutazione della permanenza nel tempo delle puntellature agli edifici di culto (Commissario Delegato)
- Progetti Preliminari semplificati dei Beni Monumentali (Diocesi-Proprietari)

Ricostruzione :

- Piano straordinario 2003 (Commissario Delegato)
- Controllo progetti (Commissario Delegato-CNR-ITC)
- Piano Generale per gli edifici di Culto (Commissario Delegato-CNR-ITC)
- Pubblicazione "Beni Monumentali e Terremoto – Dall'Emergenza alla Ricostruzione" – Commissario Delegato CNR-ITC DEI

DIAGRAMMA - CICLO DI FASI



L'ATTIVITA' IN EMERGENZA

A seguito della crisi sismica del 2002 che ha colpito le regioni Molise e Puglia (magnitudo 5,4) è stato effettuato dal DPC il rilievo del danno degli edifici monumentali delle Provincia di Campobasso.

I rilievi sono stati effettuati da squadre denominate NOPSA (Nuclei Operativi Patrimonio Storico Artistico di solito composte da un ingegnere strutturista GNDT, da tecnici delle Soprintendenze e da un Vigile del Fuoco.

Complessivamente sono stati rilevati oltre 550 beni monumentali di cui circa 440 chiese (350 in Molise).

Il rilievo del danno, effettuato su segnalazione, è iniziato nella zona epicentrale (zona 1 - Imcs compresa tra 6 e 8,5), successivamente è stato esteso alla zona contigua (zona 2 con Imcs=5,5) e poi a tutti i comuni delle province di Campobasso (zona 3 con Imcs=5) ed ad alcuni comuni della provincia di Isernia (zona 4 Imcs < 5) da cui sono pervenute richieste di sopralluogo.

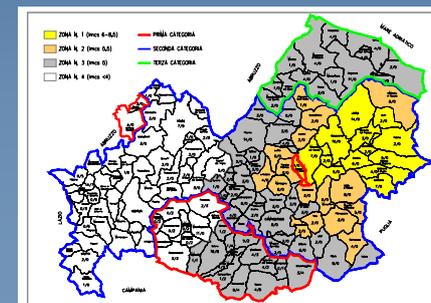
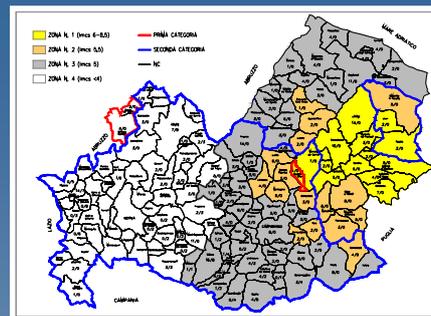
Circa 50 edifici di culto, risultati tra i più danneggiati, sono stati messi in sicurezza dalla Soprintendenza del Molise.

Classificazione sismica vigente al 31.10.2002

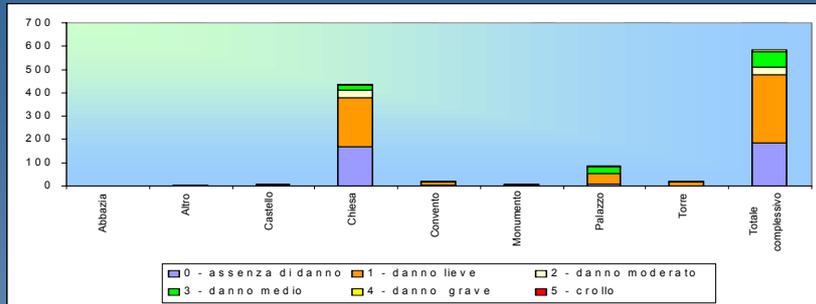


Evento sismico Molise 2002 – M.5.4

Nuova Classificazione sismica (2003)



SISMA MOLISE 2002 : IL DANNO AI BENI MONIMENTALI



Tipologia	Livello di danno						Totale
	0 - assenza di danno	1 - danno lieve	2 - danno moderato	3 - danno medio	4 - danno grave	5 - crollo	
Abbazia	0	0	0	1	0	0	1
Altro	1	1	0	1	0	0	3
Castello	0	4	0	5	0	0	9
Chiesa	118	206	54	39	13	7	437
Convento	4	11	0	5	0	0	20
Monumento	3	3	0	1	0	0	7
Palazzo	8	46	0	30	4	0	88
Torre	1	15	2	3	0	0	21
Totale	135	287	56	85	17	7	586

SISMA MOLISE 2002 : IL RILIEVO DEL DANNO SISMICO

IL RILIEVO DEL DANNO SISMICO È STATO EFFETTUATO UTILIZZANDO LA SCALA MACROSISMICA EUROPEA (EMS 98) GRADUATA SU 6 LIVELLI DI DANNO VARIABILI DAL LIVELLO 0 (DANNO NULLO) AL LIVELLO 5 (DANNO GRAVISSIMO PROSSIMO AL CROLLO)

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

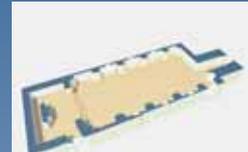
Conversione dell'indice di danno i_d in 6 livelli di danno, descritti qualitativamente scala . Ems 98 (european seismic scale)

IL CASO DELLE CHIESE

DALL'ANALISI DEL DANNO E DELLA VULNERABILITA' ALLA SCELTA DEGLI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO

Dalla lezione dei precedenti terremoti si è potuto osservare che le chiese pur nella varietà delle tecniche costruttive, delle dimensioni e delle forme con cui si presentano risultano quasi sempre costituite da pochi elementi strutturali semplici quali :

- La Facciata
- L'arco trionfale
- Le pareti laterali
- L'abside
- Le cappelle laterali
- La torre campanaria



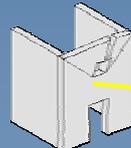
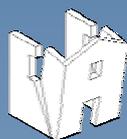
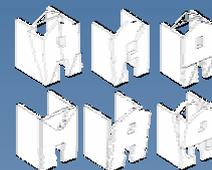
Si assumono come unità di riferimento :

- il macroelemento
- il modo di danno
- il meccanismo di collasso

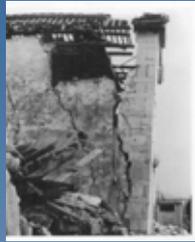
Macroelemento : porzione del corpo di fabbrica, costruttivamente riconoscibile e compiuta, caratterizzata da una risposta strutturale all'azione sismica sostanzialmente autonoma dal resto della costruzione;

Modo di danno : fenomenologia con la quale si manifesta il dissesto nella muratura; in genere lesioni a seconda delle caratteristiche della sollecitazione (trazione, taglio o compressione) e delle proprietà intrinseche della muratura

Meccanismo di collasso : cinematismo con il quale le diverse parti della fabbrica, separatesi a seguito del danno, giungono a collasso; ciascun meccanismo di collasso può contenere differenti modi di danno collegati alla vulnerabilità dell'elemento strutturale



La risposta sismica di antichi edifici religiosi Meccanismi di primo modo



CERNIERA ALLA BASE



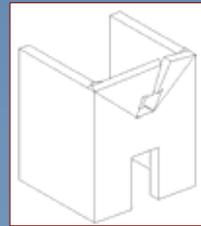
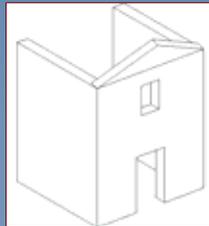
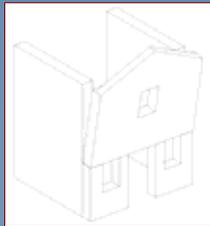
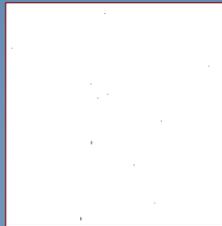
CERNIERA IN
CORRISPONDENZA DEL
PORTALE



CERNIERA ORIZZONTALE



CERNIERE INCLINATE



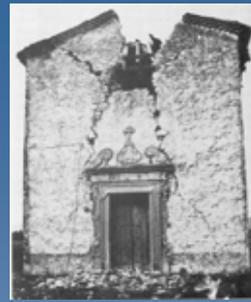
Meccanismi di secondo modo



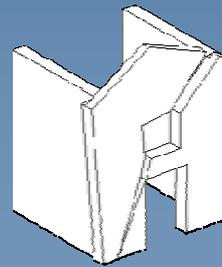
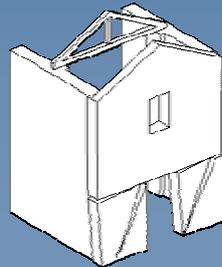
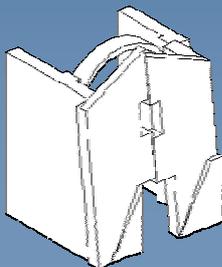
Lesioni nei pannelli ai lati del portale e
orizzontale al centro della facciata



Lesione a taglio dei maschi



Lesione secondo la diagonale
della facciata

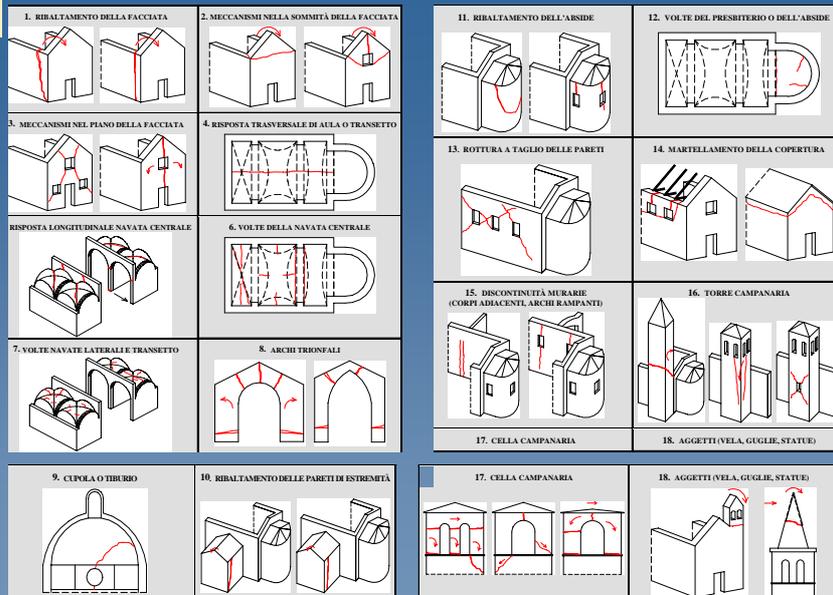


IL RILIEVO DEL DANNO SISMICO ALLE CHIESE

PER IL RICONOSCIMENTO DEL DANNO SISMICO ALLE CHIESE SI E' FATTO RIFERIMENTO ALL'ANALISI PER MECCANISMI DI COLLASSO ATTRAVERSO LA VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI ATTIVAZIONE DEI SINGOLI MECCANISMI, CARATTERISTICI DEGLI EDIFICI DI CULTO, GRADUATA SUI 6 LIVELLI DI DANNO DELLA SCALA EMS 98 (European Macroseismic Scale).

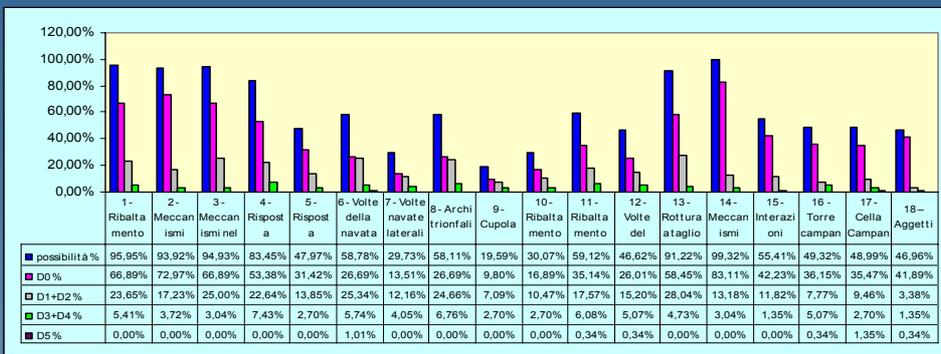
OPERATIVAMENTE PER IL RILIEVO DEL DANNO E' STATA UTILIZZATA LA SCHEDA MINISTERIALE

1	RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA	
Danno	DISTACCO DELLA FACCIATA DALLE PARETI	
Meccanismo di danno connesso al ribaltamento della facciata		



Abaco dei meccanismi di collasso per le chiese

ANALISI DEL DANNO AI BENI MONUMENTALI



Nella figura, per ognuno dei 18 meccanismi, è indicata la possibilità di attivazione del meccanismo, il livello di danno nullo, i livelli di danno lieve e moderato accorpati, il livello di danno medio e danno grave accorpati e il livello di danno grave con possibilità di crollo.

Dall'analisi dell'attivazione dei singoli meccanismi si evidenzia come il numero di strutture con meccanismo attivato e danno variabile da 1 a 5 sia inferiore al numero di strutture con danno nullo ad eccezione delle volte e degli archi

In particolare per le volte e gli archi dell'aula le strutture danneggiate sono in numero maggiore rispetto a quelle con danno nullo a significare una maggiore vulnerabilità di questi elementi strutturali.

I meccanismi che hanno maggiormente caratterizzato il campione sono stati comunque quelli con danno 5 (crollo o prossimo al crollo) rilevato prevalentemente nelle volte dell'aula (0,92%) e nelle celle campanarie (0,92%).

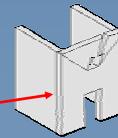
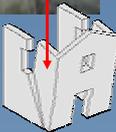
ANALISI DEL DANNO AI BENI MONUMENTALI

Facciata

1. Ribaltamento globale
2. Ribaltamento della parte alta
3. Meccanismi nel piano

Possibilità di attivazione circa 95%

Attivazione :
 danno nullo :67% (1-3) – 73%(2)
 danno lieve-moderato : 18%(2-3) – 24% (1)
 danno medio-grave circa 3% (2-3) - 5,4% (1)
 Tipologia danno : lesioni verticali in prossimità della facciata (ammorsamento scadente) e nella sommità per martellamento della copertura e spinta delle volte



ANALISI DEL DANNO AI BENI MONUMENTALI

Aula
4 - Risposta trasversale
6 - Volte dell'aula



Possibilità di attivazione 83,5% (4) e 59%(6)
minore nel meccanismo 6 per l'assenza delle
volte in molte chiese con risposta dovuta
soltanto agli arconi
Attivazione :
danno nullo : 53%(4) – 27%(6)
danno lieve-moderato : 23%(4) e 25% (6)
danno medio-grave : 7,5%(4) e 5,5% (6)
possibilità di crollo e crollo : 1,01% (6)
Tipologia danno : strutture voltate realizzate
con mattoni in foglio con lesioni in chiave e
distacco delle lunette dalle pareti (4-6)
Lesioni da schiacciamento in alcuni pilastri(4)



ANALISI DEL DANNO AI BENI MONUMENTALI

9 - cupola

Possibilità di attivazione : 19,5%
Attivazione :
danno nullo : 10%
danno lieve-moderato : 7%
danno medio-grave : 2,7%
Vulnerabilità : cupole ribassate sottili di mattoni in
foglio
Danno : lesioni orizzontali alla base e diffuse per
martellamento delle travi della copertura



ANALISI DEL DANNO AI BENI MONUMENTALI

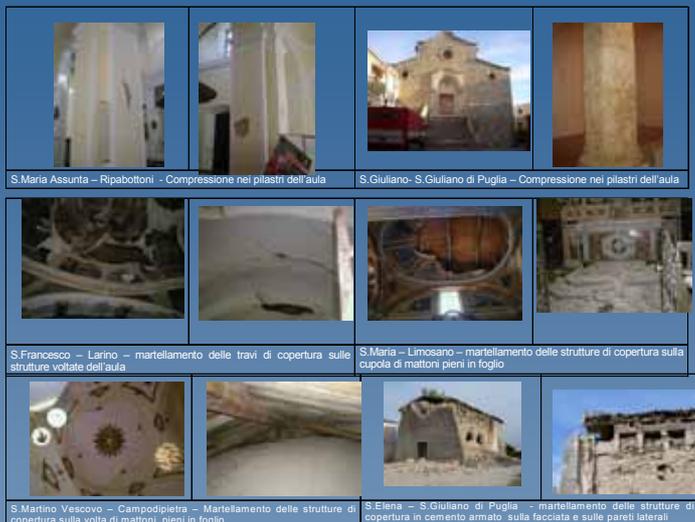
16 – Torre campanaria
 17 – cella campanaria

Possibilità di attivazione : 49%(16-17)
 Attivazione :
 danno nullo : 36 % (16-17)
 danno lieve-moderato : 8% (16) – 9,5% (17)
 danno medio-grave : 5%(16) – 2,7%(17)
 possibilità di crollo e crollo : 0,34%(16) – 1,35%(17)

Torri campanarie quadrate inserite in pianta con una parete in comune e in molti casi posizionate in facciata
 Vulnerabilità : assenza di catene e coperture pesanti (guglie)
 Danno : lesioni verticali anche gravi con formazione di angolate per le torri ; ribaltamento e rotazione delle celle campanarie allo stacco della copertura della chiesa con alcuni casi di crollo o possibilità di crollo.

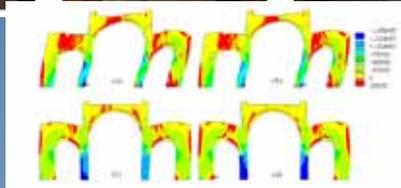


ANALISI DEL DANNO AI BENI MONUMENTALI



E' stata osservata la presenza di stati fessurativi dovuti ad una componente verticale dell'azione sismica accentuata da possibili amplificazioni locali da correlare anche alla morfologia (orlo di terrazza e ciglio di scarpata, versante acclive, cocuzzolo e creste rocciose) e alla geologia dell'area (materiali sciolti su strato incoerente). In figura viene illustrata una sintesi dei danni rilevati per tali azioni.

ANALISI DEL DANNO AI BENI MONUMENTALI CHIESA S.MARIA ASSUNTA IN RIPABOTTONI (Cb)



Il danneggiamento da schiacciamento osservato a seguito dell'evento sismico non può essere giustificato solo dalle componenti verticali delle azioni sismiche ma il quadro fessurativo e lo stato tensionale dipendono anche da una componente aggiuntiva dell'input sismico

IL PROBLEMA DELLA MESSA INSICUREZZA



MODELLO PER LA PREVISIONE DEI COSTI DI INTERVENTO MOLISE-PUGLIA

Il modello di previsione dei costi di intervento post-sisma sviluppato in emergenza, pur con le inevitabili approssimazioni e i possibili errori sul singolo caso, ha consentito di effettuare una stima omogenea ed oggettiva sul territorio che è stata recepita dal Commissario Delegato per la programmazione degli interventi (art.9 OCD n.13/2003 – Piano straordinario 2003)

Lo scopo dell'analisi è stato quello di migliorare la stima effettuata dalle squadre NOPSA durante i sopralluoghi attraverso una valutazione che tenesse conto, a scala territoriale, delle diverse tipologie costruttive, dei danni e della vulnerabilità dei singoli beni.

Il modello di previsione dei costi è stato agganciato alla scheda di rilevazione Ministeriale ed è stato integrato con la individuazione delle principali carenze costruttive e degli interventi eseguiti negli ultimi anni.

Si compone degli stessi quattro fattori contenuti nella scheda di rilievo ma si basa su criteri e valutazioni stimate e tarate a scala territoriale.

Il punto di partenza del modello è stata la stima dei costi unitari di intervento per la riparazione e il recupero definitivo effettuata attraverso computi virtuali per i diversi meccanismi di danno per le differenti tipologie di intervento.

STIMA DEL COSTO

$$C = C1 + C2 + C3 + C4 = C1 + C2 + CR * Id * Cd * S * Ival + (CS * Is + (CF + CI) * Ic) * S * Ival;$$

Il costo complessivo per ogni intervento è composto da quattro fattori che sono :

1 – Stima del costo per la salvaguardia delle opere d'arte e degli apparati decorativi. (C1). Questa voce di costo è stata stimata dagli storici dell'arte in sede di sopralluogo e durante la fase di messa in sicurezza dei Beni Mobili.

2 - Stima del costo delle opere di somma urgenza (C2)

Corrispondente al costo del pronto intervento eseguito o a quello stimato durante il rilievo del danno.

3 - Riparazione del danno sismico nuovo o del pregresso aggravato (C3)

Corrisponde al costo di riparazione necessario per riportare l'immobile alla situazione prima del sisma.

L'intervento varia con il livello di danno; nel caso di beni poco danneggiati l'intervento è limitato alla sarcitura delle lesioni e a qualche altro intervento di carattere igienico funzionale mentre per danni gravi o crolli l'intervento è più consistente e di solito riporta l'edificio ad una situazione migliore di quella prima del sisma.

C3 = CR (Costo unitario di riparazione al mq) * Id (Indice di danno) * Cd (coefficiente di danno) * S (Superficie del corpo di fabbrica) * Ival (indice di valore);

4 – Costo per il recupero definitivo (C4)

Comprende il costo per il miglioramento sismico e il costo delle finiture e dell'impiantistica connessa.

C4.1 (costo del miglioramento sismico) C4.2 (costo delle finiture) + C4.3 (costo dell'impiantistica connessa)

- C4.1 = CS (costo unitario di miglioramento sismico al mq) * Is (indice di struttura) * S (superficie del corpo di fabbrica) * Ival (indice di valore)

- C4.2 = CF (costo unitario delle finiture al mq) * Ic (indice di conservazione) * Ival (indice di valore);

- C4.3 = CI (costo unitario dell'impiantistica connessa al mq) * Ic (indice di conservazione) * Ival (indice di valore);

ANALISI DEI RISULTATI

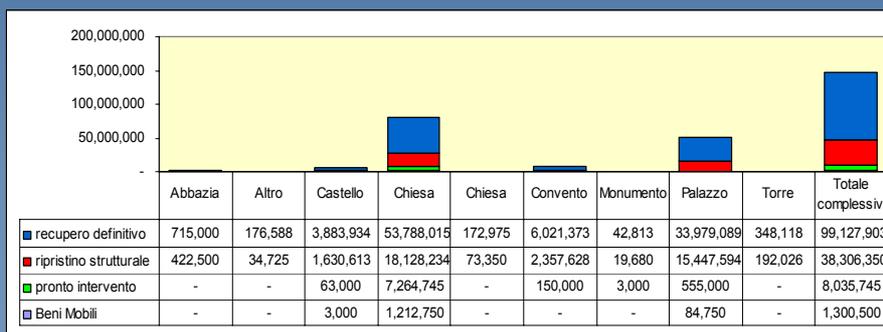
Il costo complessivo per gli interventi post-sisma, limitato ai beni vincolati, è stato stimato in circa 146 milioni di euro (93 Molise e 53 Puglia) suddivisi nelle quattro componenti relative al danno ai beni mobili, al pronto intervento, al danno strutturale e al recupero definitivo.

I criteri elaborati per il modello dei costi consentono di effettuare una prima graduatoria del danneggiamento e della vulnerabilità dei beni monumentali.

In tabella è riportato il costo complessivo degli interventi suddiviso per tipologia di bene e di intervento.

Il 97% del fabbisogno occorre per i beni architettonici e il restante 3% per le altre tipologie con 1,3% per i beni archeologici, il 1,85% per i beni mobili e soltanto lo 0,16% per i beni archivistici.

Tra gli interventi il 42% necessita per il recupero definitivo, 46% per il ripristino strutturale e il miglioramento sismico connesso, circa il 9% per le opere di pronto intervento e soltanto il 2,1% e lo 0,7% rispettivamente per il restauro e il danno alle opere d'arte.



IL RILIEVO DANNO-VULNERABILITA' ALLE CHIESE

IL RILIEVO È STATO EFFETTUATO CON LA SCHEDA DI II LIVELLO IMPIEGATA PER LA PRIMA VOLTA IN MOLISE NEL 2002

LA SCHEDA A 28 MECCANISMI DI COLLASSO CONTIENE :

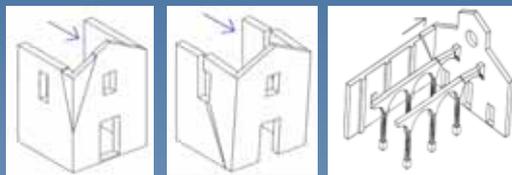
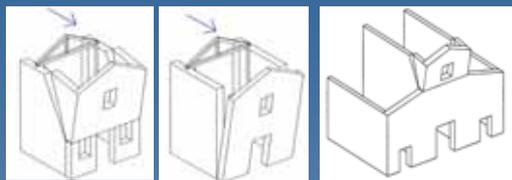
- LISTA DEGLI INDICATORI DI VULNERABILITA' : CARENZE COSTRUTTIVE CHE FAVORISCONO L'ATTIVAZIONE DEL MECCANISMO
- LISTA DEI PRESISI : SOLUZIONI TECNOLOGICHE CHE CONTRASTANO L'ATTIVAZIONE DEL MECCANISMO
- INDICAZIONI PER IL RICONFIMENTO DEL DANNO SISMICO

1 – RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA			
Presenza del macroelemento in relazione al meccanismo di danno SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>			
SI	NO	Presidi antisismici	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presenza di catene longitudinali	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presenza di elementi di contrasto (contrafforti, edifici adiacenti)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ammorsamento di buona qualità tra la facciata e le pareti laterali	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
SI	NO	Indicatori di vulnerabilità	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Assenza di elementi spingenti (copertura, volte, archi)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Assenza di grandi aperture nelle pareti laterali	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Danno pregresso		Distacco della facciata dalle pareti laterali - Fuoripiombo	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Danno attuale		Distacco della facciata dalle pareti laterali - Fuoripiombo	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

28 MECCANISMI DI DANNO

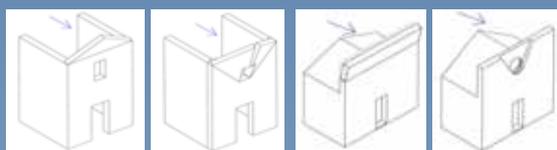
<i>Meccanismo di danno</i>	<i>Modo di danno</i>	<i>Parte della chiesa</i>
1 RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA	I	FACCIATA
2 MECCANISMI NELLA SOMMITÀ DELLA FACCIATA	I	
3 MECCANISMI NEL PIANO DELLA FACCIATA	II	
4 PROTIRO O NARTECE	I o II	AULA
5 RISPOSTA TRASVERSALE DELL'AULA	I	
6 MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI	II	
7 RISPOSTA LONGITUDINALE DEL COLONNATO DELLE CHIESE A PIÙ NAVATE	I	
8 VOLTE DELLE NAVATE CENTRALE	I o II	
9 VOLTA DELLA NAVATA LATERALI	I o II	TRANSETTO
10 RIBALTAMENTO DELLE PARETI DI ESTREMITÀ DEL TRANSETTO	I	
11 MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI DEL TRANSETTO	II	
12 VOLTE DEL TRANSETTO	I o II	ARCO TRIONFALE
13 ARCHI TRIONFALI	II	
14 CUPOLA - TAMBURO	I o II	CUPOLA
15 LANTERNA	I o II	
16 RIBALTAMENTO DELL'ABSIDE	I	ABSIDE
17 MECCANISMI DI TAGLIO NEL PRESBITERIO O NELL'ABSIDE	II	
18 VOLTE NEL PRESBITERIO O DELL'ABSIDE	I o II	
19 MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA (PARETI LATERALI DELL'AULA)	I o II	COPERTURA
20 MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA (TRANSETTO)	I o II	
21 MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA (ABSIDE E PRESBITERIO)	I o II	
22 RIBALTAMENTO DELLE CAPPELLE	I	CAPPELLE CORPI ANNESSI
23 MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI DELLE CAPPELLE	II	
24 VOLTE DELLE CAPPELLE	I o II	
25 INTERAZIONE IN PROSSIMITÀ DI IRREGOLARITÀ	I o II	
26 AGGETTI (VELA, GUGLIE, PINNACOLI, STATUE)	I	AGGETTI CAMPANILE
27 TORRE CAMPANARIA	I o II	
28 CELLA CAMPANARIA	I o II	

Ribaltamento della facciata

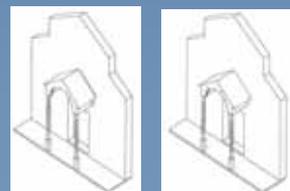
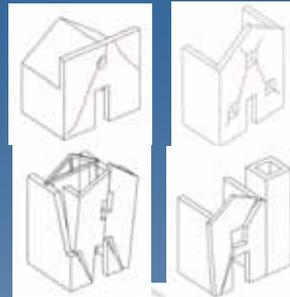


Meccanismi nella sommità della facciata

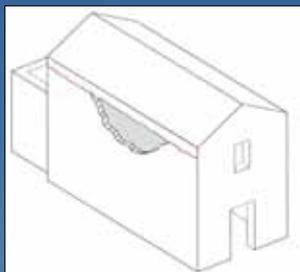
Protiro o nartrice



Meccanismi nel piano della facciata



8 - VOLTE DELLA NAVATA CENTRALE			
Presenza del macroelemento in relazione al meccanismo: S <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			Punta di danno massimo (da 0 a 5):
Vulnerabilità	S	No	<i>Presidi antisismici</i>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presenza di catene in posizione efficace
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	S	No	<i>Indicatori di vulnerabilità</i>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presenza di canchi concentrati trasmessi dalla copertura
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presenza di lunette di dimensioni considerevoli
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Volte il foglio, con campate di grande luce	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Danno	attuale	Lesioni nelle volte dell'aula centrale o sconnessioni dagli arconi	
	vecchio	Lesioni nelle volte dell'aula centrale o sconnessioni dagli arconi	



19 - MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA - PARETI LATERALI DELL'AULA			
Presenza del macroelemento in relazione al meccanismo: S <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			Punta di danno massimo (da 0 a 5):
Vulnerabilità	S	No	<i>Presidi antisismici</i>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, c.a. sottili)
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presenza di collegamento puntuale delle travi alla muratura
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presenza di controventi di falda (tavolato incrociato o tiranti metallici)
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presenza di buone connessioni tra gli elementi d'orditura della copertura
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	S	No	<i>Indicatori di vulnerabilità</i>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presenza di copertura staticamente spingente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presenza di cordoli rigidi, copertura pesante	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Danno	attuale	Lesioni vicine alle teste delle travi lignee, scorcimento delle stesse - Sconnessioni tra i cordoli e muratura - Movimenti significativi del manto - Sconnessioni e movimenti tra gli elementi d'orditura principale	
	vecchio	Lesioni vicine alle teste delle travi lignee, scorcimento delle stesse - Sconnessioni tra i cordoli e muratura - Movimenti significativi del manto - Sconnessioni e movimenti tra gli elementi d'orditura principale	

VALUTAZIONE DEL DANNO E DELLA VULNERABILITA' SISMICA

Scheda di I livello a 18 meccanismi

Indice di danno medio I_d

$$i_d = \frac{1}{5N} \sum_{k=1}^{18} d_k$$

Scheda di II livello a 28 meccanismi

Indice di danno medio I_d

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

Indice di vulnerabilità

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

Giudizio dell'efficacia	Numeri di indicatori	Punteggio finale v_k
3	almeno 1	3
2	almeno 2	
2	1	2
1	almeno 3	
1	1 o 2	1
0	-	0

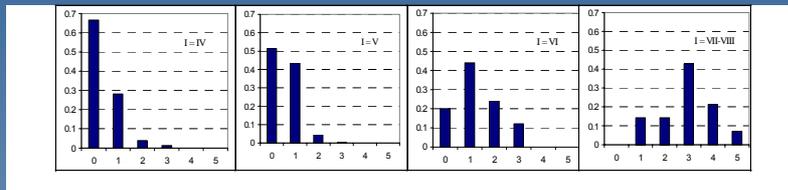
ρ_k = peso dei singoli meccanismi
punteggio degli indicatori di vulnerabilità (v_{ki}) e dei presidi sismici (v_{kp})

Gli istogrammi di danno (DPM), per differenti valori dell'intensità macrosismica, risultano bene approssimati dalla distribuzione binomiale

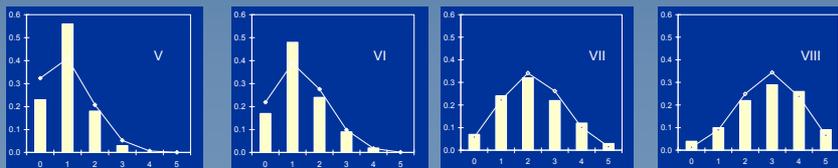
$$P_k = \frac{5!}{k!(5-k)!} \left(\frac{\mu_D}{5}\right)^k \left(1 - \frac{\mu_D}{5}\right)^{5-k}$$

$K = (0, 1, 2, 3, 4, 5)$

Dove ρ_k è la probabilità di avere un danno di livello K e μ_D ($0 < \mu_D < 5$) rappresenta il danno medio corrispondente alla intensità macrosismica



Istogrammi di danno (DPM) delle chiese del Molise e della Puglia danneggiate dal terremoto del 2002



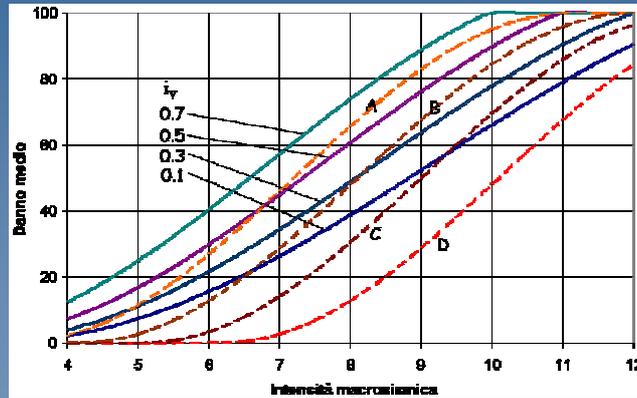
Istogrammi di danno (DPM) delle chiese dell'Umbria danneggiate dal terremoto del 1997

La comparazione dei valori ottenuti dopo precedenti eventi sismici (Umbria e Marche, Lunigiana e Garfagnana, (Lagomarsino e Podestà, 2004) conferma l'attendibilità e la robustezza della metodologia proposta.

Curve di vulnerabilità

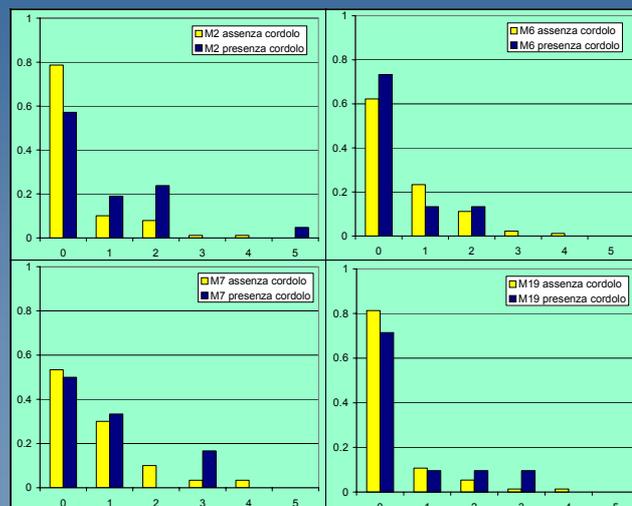
Analoghe alle curve di fragilità di II livello degli edifici, permettono una valutazione del singolo manufatto

$$\mu_D = 2.5 \cdot \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 3.4375 \cdot i_v - 8.9125}{3} \right) \right]$$



- Elevata vulnerabilità delle chiese per terremoti di modesta intensità
- Indicatori correlati alla pericolosità del sito

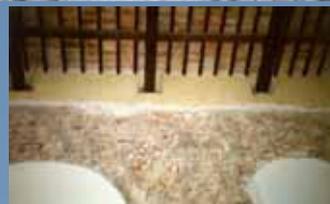
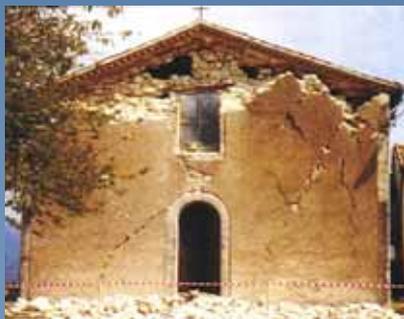
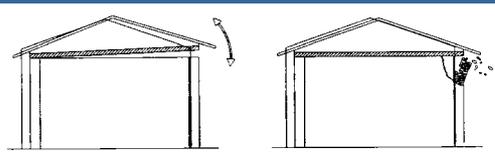
Nei diagrammi seguenti sono riportati per 4 diversi meccanismi (M1: meccanismo in sommità della facciata; M6: meccanismi di taglio nelle pareti laterali; M7: risposta longitudinale del colonnato nelle chiese a più navate; M19: meccanismo negli elementi copertura dell'aula), l'influenza della presenza di cordoli rigidi in sommità alla muratura sul livello di danno rilevato.



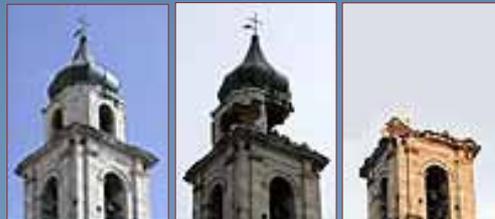
Chiesa S. Maria delle Rose – Bonefro (CB)



Il rifacimento di solai e tetti in cemento armato



Chiesa S. Giacomo – S. Croce di Magliano (CB)



CRITERI PER LA PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO DEI BENI MONUMENTALI LINEE GUIDA SISMA MOLISE 2002 – PARTE PRIMA E SECONDA



www.regione.molise.it/sis - beni monumentali - vulnerabilità

FASI OPERATIVE DELLA PROGRAMMAZIONE POST- SISMA 2002

- Stima dei Costi in emergenza
(2003 - circa 100 milioni di euro)

- Messa in sicurezza dei beni monumentali
(2002-2003 – circa 6 milioni euro)

- Piano straordinario per i Beni Monumentali
(novembre 2003 - circa 6 milioni di euro)

- Progetti Preliminari Semplificati PPS
(novembre 2004 – circa 120 milioni di euro)

- Secondo piano per i Beni Monumentali
(Ottobre 2005 – circa 2 milioni di euro)

- Completamento lavori Piano Straordinario 2003 (Dicembre 2005)

- Piano Generale Edifici di Culto
(gennaio 2006 – circa 60 milioni di euro)

- Piano Generale dei Beni Monumentali (in fase di verifica)

**LINEE GUIDA PER LA PROGETTAZIONE E LA SCELTA DEGLI
INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO**



C.2. Macroelemento facciata

Meccanismi di collasso per azioni fuori del piano (I modo) e nel piano (II modo)	Possibilità di attivazione	Attivazione
- Ribaltamento globale della facciata (I modo)	98 %	35 %
- Ribaltamento della parte sommitale della facciata (I modo)	98 %	31 %
- Risposta nel piano della facciata (II modo)	99 %	33 %

Descrizione dei meccanismi. L'analisi tipologica effettuata sulle chiese danneggiate dal terremoto ha evidenziato due tipologie prevalenti. Le chiese a navata unica presentano, generalmente, una facciata snella con poche aperture, sommità a vela e timpano triangolare. Le chiese a tre navate (di medie dimensioni) presentano una facciata a salienti, quasi sempre, con aperture di modeste dimensioni con sommità a vela. I casi di ribaltamento osservati presentano, nella maggior parte dei casi, lesioni ad andamento verticale in prossimità del cantonale tra la facciata e i muri perimetrali per l'ammorsamento scadente con le pareti laterali. Le lesioni nel piano sono ad andamento sub-verticale o inclinate sono spesso connesse al martellamento della copertura e/o alla spinta delle volte dell'aula.

Danno

Ribaltamento globale: il livello di danno che si è verificato nel campione delle chiese analizzate è riassumibile come segue: 65% danno nullo, 31% danno lieve-moderato, 4% medio-grave.

Ribaltamento della parte sommitale: si sono verificate lesioni inclinate, sub-verticali connesse a rotazioni fuori del piano delle capriate di copertura, per quanto riguarda il livello di danno rilevato: 69% del campione ha mostrato un danno nullo; il 28% un danno livello lieve-moderato; il 3% un danno medio-grave.

Risposta nel piano della facciata: il meccanismo di collasso è possibile in quasi tutte le chiese (circa 99%), in quanto raramente le chiese sono inglobate all'interno di un aggregato edilizio; tuttavia il livello di danno massimo rilevato si attesta per il 33% del campione in un danno lieve-moderato.



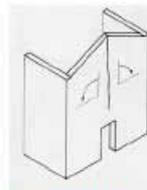
Figura C.2.1 - Ribaltamento complessivo. S. Nicola in Bosello (CB)



Figura C.2.2 - Ribaltamento della parte sommitale. S. Pietro in Vincoli in Castellino sul Biferno (CB)



Figura C.2.3 - Meccanismo nel piano della facciata. S. Francesco a Larino (CB)



Indicatori di vulnerabilità

Ribaltamento globale: assenza di catene longitudinali; scarsa resistenza a flessione della muratura; assenza di collegamento della parte alta della facciata alla copertura e alle pareti laterali per mancanza di cordolo leggero o controventi di falda; ammorsamento scadente tra la facciata e le pareti laterali.

Ribaltamento della parte sommitale della facciata: presenza di grandi aperture; assenza di collegamenti puntuali e di controventi di falda con la copertura (travi-catene); assenza di cordoli metallici reticolari piani e in c.a. di limitato spessore.

Risposta nel piano della facciata: presenza di grandi aperture (anche tamponate); presenza di copertura spingente; assenza di architravi rigidi; assenza di catene in controfacciata.

Indicazioni per la definizione degli interventi di miglioramento sismico

Ribaltamento globale: collegamento della facciata alle pareti laterali tramite due catene metalliche, una per lato, ancorate in facciata, correnti all'interno in adiacenza al muro; collegamenti delle travi di colmo e dei terzi al timpano mediante piastre metalliche opportunamente sagomate; parziale irrigidimento dell'impalcato con un tavolato incrociato.

Ribaltamento della parte sommitale della facciata: collegamenti delle travi di colmo o di terzere al timpano mediante piastre metalliche opportunamente sagomate; irrigidimento nel piano dell'impalcato di falda mediante chiodatura di tavole; posa in opera di un elemento reticolare in acciaio sul coronamento del timpano, solidarizzato alla muratura consolidata eventualmente con iniezioni di malta compatibile con la muratura in esame.

Risposta nel piano della facciata: realizzazione di un cordolo di sommità (piano o metallico); parziale irrigidimento dell'impalcato di falda; inserimento di una o più catene trasversali, aderenti alla muratura all'interno e lasciate libere di scorrere per eventuali successivi ritensionamenti, posizionate nella zona soprastante il portale di ingresso ed eventualmente nella zona sopra il rosone, miglioramento della qualità muraria della muratura tramite diafani armati o iniezioni con miscela di malta compatibile con la muratura in esame.

IL PROBLEMA DELLA PERMANENZA NEL TEMPO DELLE PUNTELLATURE AGLI EDIFICI MONUMENTALI



	A	P	I
Livello I			
Livello II			
Livello III			
Livello IV			
Livello V			

(a) edificio agibile con provvedimenti

	A	P	I
Livello I			
Livello II			
Livello III			
Livello IV			
Livello V			

(b) edificio inagibile

Tabella 5. Livelli di danno e obiettivi dell'intervento

Obiettivo	Livello danneggiamento	Interventi da prevedere per la messa in sicurezza
A - agibilità	Danno compreso tra 1 (lieve) e 3 (grave di limitata estensione). Nei casi di danno limitato occorre stimare la perdita di resistenza alle azioni verticali e orizzontali provocata dal danneggiamento e sulla base di tale valutazione dimensionare il presidio da mettere in opera. Oltre al livello di danneggiamento è importante valutare l'estensione del danno stesso e il livello di vulnerabilità del macroelemento.	Opere minime che consentono di ridare l'agibilità al manufatto sono, ad esempio, la sarcitura di lesioni, la protezione degli spazi interni con reti o camminamenti protetti con tavolati da dimensionare in base alla vulnerabilità dell'opera.
P - preservazione	Danno grave (livello 3) e danno molto grave (livello 4) di limitata estensione. In questo caso è indispensabile valutare la riserva di resistenza del macroelemento e verificare se sono presenti stati deformativi significativi e parti pericolanti della struttura.	Per la messa in sicurezza possono essere eseguite sia opere provvisorie che opere definitive. Ad esempio il montaggio di una catena può rappresentare una valida alternativa ad opere di puntellatura ingombranti e costose.
I - incolumità	Danno grave (livello 4) collasso parziale o totale (livello 5) di un macroelemento.	In questo caso l'intervento potrebbe anche limitarsi al transennamento se si considera irrimediabilmente perso il manufatto ovvero eseguire interventi di puntellatura nel caso si voglia recuperare le parti pericolanti in quanto di elevato valore storico-architettonico.

Tabella 6. Descrizione degli obiettivi: livelli di danno ed interventi di messa in sicurezza



Figura 3. Schema tipologici d'interventi progettuali per il ribaltamento di pareti: tipologia a sperece (A), tipologia ad incastellamento (B), tipologia a controce (C).



Figura 4. La chiesa di S. Giovanni e S. Francesco di Magliano. In opera provvedimenti antiscandalo.



Figura 5. Tipologie tipologiche di interventi sulle volte e sugli archi.

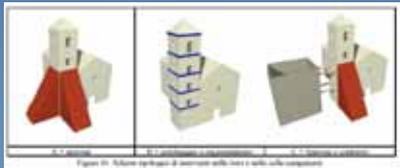


Figura 6. Alzate tipologiche di interventi sulle pareti e sugli archi.



Figura 8. Interventi di ribaltamento delle volte e degli archi. In opera provvedimenti antiscandalo.



Figura 10. Lavorazioni della struttura interna in opera.

IL PIANO STRAORDINARIO 2003

Il decreto n.85/2003 che ha finanziato il piano straordinario 2003 (n.17 chiese appartenenti alle diocesi di Termoli-Larino e Boiano-Campobasso) , è stato finalizzato alla esecuzione di interventi di riparazione del danno, miglioramento sismico e recupero della funzionalità totale o parziale degli edifici nei comuni che non dispongono di una chiesa agibile o abbiano un edificio di culto agibile ma puntellato

Il piano straordinario per il 2003 è stato predisposto sulla base dei seguenti criteri .

n.	Criterio	Requisiti
1	Edificio danneggiato dalla crisi sismica iniziata il 31.10.2002	Presenza della scheda di rilievo del danno sismico compilata dalla Funzione Beni Culturali che ha operato presso il Com di Larino nella fase dell'emergenza
2	Edificio inagibile	Presenza di ordinanza di sgombero, emanata nella fase dell'emergenza, a seguito di segnalazione delle squadre Nopsa operanti presso il Com di Larino
3	Edificio puntellato	Intervento di messa in sicurezza eseguito dalla Soprintendenza Architettónica BAP_PSAD del Molise o dai Vigili del Fuoco nella fase dell'emergenza
4	Edificio ubicato in un comune che non dispone di una chiesa agibile o abbia un solo edificio di culto agibile ma puntellato	
5	Fabbisogno economico	Il fabbisogno economico, preliminare, è stato determinato sulla base della stima dei costi effettuata dalla Funzione Beni Culturali. Tale fabbisogno potrà essere successivamente integrato, per la riapertura al culto, sulla base dello studio di vulnerabilità del CNR e dei PPS.

IL PIANO STRAORDINARIO 2003

Criteri per la scelta degli interventi

B3 - STIMA DEI COSTI EFFETTUATA NELL'AMBITO DELLO STUDIO PER LA VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI PUBBLICI, STRATEGICI E DI CUI FO' NEI COMUNI COLPITI DAL SISMA DEL 31 OTTOBRE 2002 (DECRETO DEL COMMISSARIO DELEGATO N.29 DEL 5.8.03)

Obiettivo della presente analisi è quello di valutare, per un campione di progetti i cui lavori sono stati già eseguiti, il costo degli interventi di miglioramento sismico, previsti nei progetti, in relazione alla loro efficacia intesa in termini di riduzione della vulnerabilità.

Sono stati individuati 7 gruppi di interventi collegati alla riduzione di vulnerabilità dei principali meccanismi di collasso.

Per ogni gruppo di interventi è stata valutata sia la vulnerabilità che il costo di intervento al netto di ponteggi e altre spese.

I gruppi di interventi sono stati individuati tra quelli che riescono con il minor costo, a ridurre la vulnerabilità dei meccanismi di collasso.

Per valutare l'efficienza dell'intervento è stato calcolato, con l'analisi all'equilibrio limite, il moltiplicatore di collasso nella situazione con intervento ed il relativo costo di intervento.

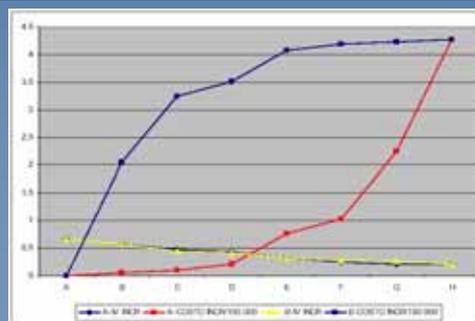
Per alcuni meccanismi di collasso si riportano i possibili interventi

Gr	Meccanismo	Scelta	Costo	Interventi
1	Ribaltonamento delle pareti verticali (facciata anteriore, facciata posteriore, pareti laterali.)	1	1	Montaggio di catene longitudinali alla facciata anteriore, posteriore, del travetto e delle cappelle.
		2	1	Chiusure con cordoli in acciaio.
		3	1	Chiusure con tiranti di FRP.
		4	1	Annoveramento della facciata alle pareti con elementi lapidei di grandi dimensioni.
2	Meccanismi nel piano e risposta trasversale	1	1,2	Annoveramento della facciata alle pareti laterali con perforature a matita e risposta di matita.
		2	1,2	Montaggio di una o più catene libere di scorrere nel piano delle pareti di facciata (facciata anteriore, posteriore, travetto, cappelle.)
		3	1,2	Montaggio di catene trasversali negli archi trasversali della navata centrale e delle navate laterali.
		4	2	Consolidamento con fibre su estradosse di facciata.
		5	2	Iniezioni di malta.
3	Torre e cella campanaria	1	1,2	Montaggi di catene su più ordini e consolidamento del diaframma della torre e della cella campanaria.
		2	1	Tiranti antiribaltamento nei tempi della facciata dove è possibile il ribaltamento per azioni indotte dalle strutture di copertura.
4	Controventatura coperture	1	1	Chiusure con tiranti di FRP.
		2	1	Chiusure con tiranti di FRP.
5	Cordoli	1	1,2	Cordoli in acciaio sulla sommità delle pareti perimetrali.
		2	1,2	Chiusure con tiranti di FRP.
6	Consolidamento delle strutture voltate	1	1,2	Chiusure con tiranti di FRP.
		2	1,2	Chiusure con tiranti di FRP.
7	Consolidamento murature	1	2	Iniezioni di malta compatibile con la muratura in opera.
		2	1,2	Annoveramento dei due paramenti, problema ad esterno delle pareti murarie con tiranti trasversali e iniezioni di malta.

IL PIANO STRAORDINARIO 2003

Criteri per la scelta degli interventi

n.	Sequenza n.1	n.	Sequenza n.2
1	catene longitudinali : ribaltamento della pareti verticali (facciata anteriore, facciata posteriore, pareti laterali.)	1	Consolidamento murature
2	catene trasversali : meccanismi nel piano e risposta trasversale	2	Consolidamento delle strutture voltate
3	catene torre e cella campanaria	3	Cordoli in copertura
4	Controventatura coperture	4	Controventatura coperture
5	Cordoli in copertura	5	catene torre e cella campanaria
6	Consolidamento delle strutture voltate	6	catene trasversali : meccanismi nel piano e risposta trasversale
7	Consolidamento murature	7	catene longitudinali : ribaltamento della pareti verticali (facciata anteriore, facciata posteriore, pareti laterali.)



IL PIANO STRAORDINARIO 2003

ANALISI DANNO-VULNERABILITA' E FABBISOGNO ECONOMICO

COMUNE	NOME CHIESA	Indice di danno	Indice di vulnerabilità prima dell'intervento	Stima COM	Finanziamento anno 2003
BONEFRO	S. Nicola	0,455	0,50	279.086,18	300.000
CAMPODIPIETRA	S. Martino	0,238	0,581	411.078,08	411.078
CAMPOLIETO	S. Michele Arcangelo	0,371	0,375	418.076,57	418.078
CASTELLINO DEL BIFERNO	S. Pietro in Vincoli	0,822	0,638	660.136,11	660.136
COLLETORTO	S. Giovanni Battista	0,569	0,775	402.550,08	402.550
GUARDIAFIERA	S. Maria Assunta	0,271	0,574	387.941,18	387.941
LIMOSANO	Chiesa S. Francesco	0,217	0,595	203.037,58	203.037
MACCHIA VALFORTORE	S. Nicola di Bari	0,214	0,43	742.237,86	400.000
MONTAGANO	SS. Nome di Maria	0,292	0,643	135.135,00	153.633
MONTECILFONE	Chiesa S. Giorgio	0,327	0,611	254.998,38	254.998
MONTELONGO	S. Rocco	0,527	0,681	161.074,64	161.074
PROVIDENTI	S. Maria della Libera	0,185	0,61	115.273,08	115.273
RIPABOTTONI	S. Maria della Concezione	0,700	0,646	295.000,00	295.000
ROTELLO	S. Maria degli Angeli	0,144	0,72	582.768,50	582.768
SAN GIOVANNI IN GALDO	S. Giovanni Battista	0,171	0,571	179.365,20	179.365
SANTA CROCE DI MAGLIANO	S. Antonio	0,459	0,50	1.128.450,09	700.000
SANTELLIA A PIANISI	S. Elia Profeta	0,243	0,561	243.668,57	243.668
TOTALE				6.617.873,1	5.888.593

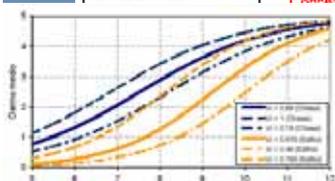
IL PIANO STRAORDINARIO 2003

RIDUZIONE DELLA VULNERABILITA' A SEGUITO DEGLI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO

COMUNE	NOME CHIESA	Indice di danno prima intervento	Indice di vulnerabilità prima dell'intervento	Indice di vulnerabilità rilevato sulla base degli interventi previsti nei PPS
BONEFRO	S. Nicola	0,455	0,50	0,262
CAMPODIPIETRA	S. Martino	0,238	0,581	0,219
CAMPOLIETO	S. Michele Arcangelo	0,371	0,375	0,15
CASTELLINO DEL BIFERNO	S. Pietro in Vincoli	0,822	0,638	0,232
COLLETORTO	S. Giovanni Battista	0,569	0,775	0,125
GUARDIAFIERA	S. Maria Assunta	0,271	0,574	0,167
LIMOSANO	Chiesa S. Francesco	0,217	0,595	0,214
MACCHIA VALFORTORE	S. Nicola di Bari	0,214	0,43	0,167
MONTAGANO	SS. Nome di Maria	0,292	0,643	0,228
MONTECILFONE	Chiesa S. Giorgio	0,327	0,611	0,25
MONTELONGO	S. Rocco	0,527	0,681	0,333
PROVIDENTI	S. Maria della Libera	0,185	0,61	0,278
RIPABOTTONI	S. Maria della Concezione	0,700	0,646	0,271
ROTELLO	S. Maria degli Angeli	0,144	0,72	0,375
SAN GIOVANNI IN GALDO	S. Giovanni Battista	0,171	0,571	0,345
SANTA CROCE DI MAGLIANO	S. Antonio	0,459	0,50	0,15
SANTELLIA A PIANISI	S. Elia Profeta	0,243	0,561	0,196
TOTALE				

IL PIANO STRAORDINARIO 2003 : SCENARI DI DANNO

COMUNE	NOME CHIESA	Vulnerabilità studio CNR dopo intervento	Id atteso per l'Imcs pari a 5	Id atteso per l'Imcs pari a 6	Id atteso per l'Imcs pari a 7	Id atteso per l'Imcs pari a 8	Id atteso per l'Imcs pari a 9
BONEFRO	S. Nicola	0,15	0,08	0,17	0,28	0,41	0,55
CAMPODIPIETRA	S. Martino	0,123	0,08	0,16	0,27	0,40	0,54
CAMPOLIETO	S. Michele Arcangelo	0,15	0,08	0,17	0,28	0,41	0,55
CASTELLINO DEL BIFERNO	S. Pietro in Vincoli	0,108	0,07	0,16	0,27	0,39	0,53
COLLETORTO	S. Giovanni Battista	0,125	0,08	0,16	0,27	0,40	0,54
COLLETORTO	Purgatorio		0,08	0,13	0,23	0,35	0,47
GUARDIALFIERA	S. Maria Assunta	0,167	0,08	0,17	0,29	0,42	0,56
LIMOSANO	Chiesa S. Francesco	0,202	0,09	0,18	0,30	0,44	0,58
MACCHIA VALFORTORE	S. Nicola di Bari	0,158	0,08	0,17	0,29	0,42	0,56
MONTAGANO	SS. Nome di Maria	0,179	0,09	0,18	0,29	0,43	0,57
MONTECILFONE	Chiesa S. Giorgio	0,25	0,10	0,20	0,32	0,46	0,61
MONTELONGO	S. Rocco	0,154	0,08	0,17	0,28	0,41	0,55
PROVVIDENTI	S. Maria della Libera	0,15	0,08	0,17	0,28	0,41	0,55
RIPABOTTONI	S. Maria della Concezione	0,177	0,09	0,18	0,29	0,43	0,57
	degli	0,15	0,08	0,17	0,28	0,41	0,55
	li	0,262	0,10	0,20	0,33	0,47	0,61
	anni	0,15	0,08	0,17	0,28	0,41	0,55
	ta	0,125	0,08	0,16	0,27	0,40	0,54
	no						
	ofeta						



IL PIANO STRAORDINARIO 2003

Verifica dell'efficacia di un intervento di miglioramento sismico

MODELLI DI CALCOLO : ANALISI LIMITE DELL'EQUILIBRIO

- analisi limite dell'equilibrio di corpi rigidi per meccanismi conseguenti ad azioni nel piano e fuori del piano
- ipotesi di non resistenza a trazione della muratura
- individuazione dei moltiplicatori (λ) dei carichi orizzontali che attivano i meccanismi di collasso ottenuti applicando il teorema dei lavori virtuali considerando le forze agenti e lo stato di spostamenti virtuali associati all'atto di moto - il moltiplicatore (λ) e' corretto se il vero cinematismo attivato e' tra quelli analizzati
- individuazione dei meccanismi rispetto ai quali fare le verifiche (osservazione di casi reali di danno)
- confronto dei moltiplicatori di collasso (λ) con l'azione sismica che li attiva o li ha attivati
- influenza della qualità muraria sull'attivazione dei meccanismi

λ moltiplicatore di collasso coincidente con l'accelerazione spettrale che mette in crisi la struttura

IL PIANO STRAORDINARIO 2003 :

VERIFICA DEGLI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO

S.NICOLA - BONEFRO (CB) - Imcs 7

$\Lambda_1 = 0,039$
meccanismo attivato

$\Lambda_2 = 0,45$
aumento di Λ
Miglioramento sismico ottenibile con il montaggio di due catene longitudinali a 8 m da terra

$\Lambda = 0,121$ - meccanismo possibile

S.MARIA DELLA CONCEZIONE - RIPABOTTONI (CB) - Imcs 7

$\Lambda_1 = 0,186$
meccanismo attivato

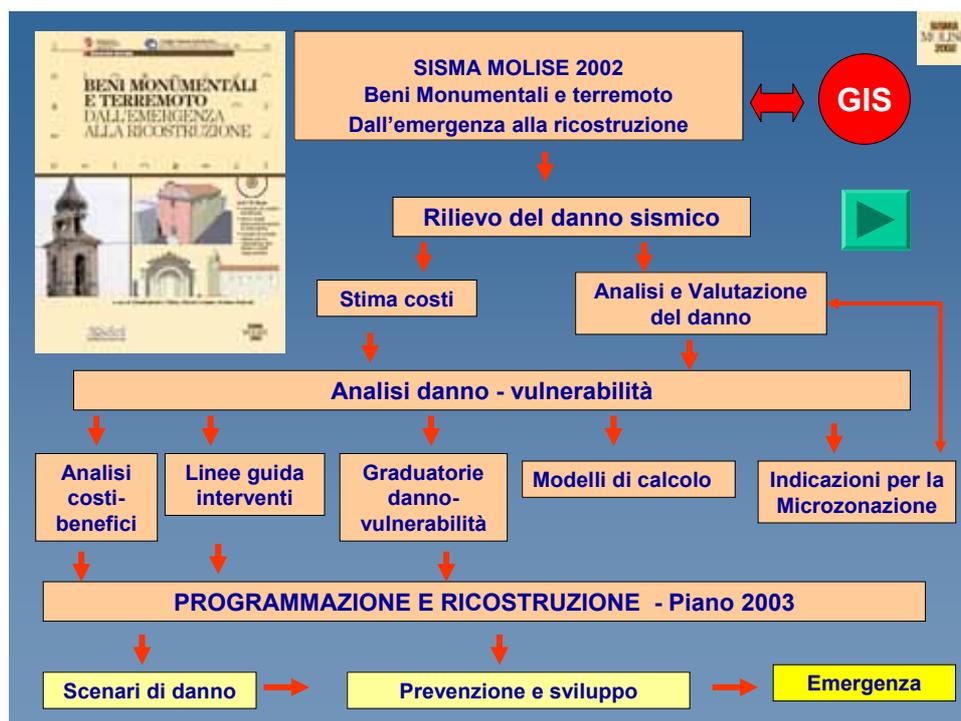
$\Lambda_2 = 0,405$
aumento di Λ
Miglioramento sismico ottenibile con il montaggio di due catene longitudinali a 8 m da terra

$\Lambda = 0,154$ - meccanismo possibile

IL PIANO STRAORDINARIO 2003 :

VERIFICA DEGLI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO

COMUNE	NOME CHIESA	4 - Livello di danno ems 98	ID-SDF	IV-SDF	IV dopo Int	RIPOLOGIA DI TERRENO	R_GLO_INTERA-SDF	R_GLO_INTERA-INT	R_GLO_PARZ-SDF	R_GLO_PARZ-INT	MIGLIORAMENTO SISMICO	acc.spettrale di riferimento -il ci
BONEFRO	S.Nicola	4 - danno grave	0.28	0.500	0.130	C	0.0246	0.174	0.0265	0.24	707%	0.083
CAMPODIPIETRA	S.Martino	3 - danno medio	0.23	0.537	0.123	B	0.484	0.531	0.478	0.551	109.000	0.083
CAMPOLIETO	S.Michele Arcangelo	4 - danno grave	0.30	0.525	0.15	D	0.185	0.218	0.196	0.234	117%	0.090
CASTELLINO DEL BIFERNO	S.Pietro in Vincoli	5 - crollo parziale	0.74	0.644	0.108	C	0.0445	13.04	0.0593	13.27	>1000%	0.083
COLLETORTO	S.Giovanni Battista	4 - danno grave	0.44	0.771	0.125	B	0.171	3.33	0.172	3.31	>1000%	0.083
GUARDIALFIERA	S.Maria Assunta	4 - danno grave	0.27	0.520	0.167	A	0.03	0.469	0.038	0.158	>1000%	0.067
LIMOSANO	Chiesa S.Francesco	4 - danno grave	0.15	0.551	0.202	B	0.484	0.531	0.478	0.551	109%	0.083
MACCHIA VALFORTORE	S.Nicola di Bari	4 - danno grave	0.18	0.351	0.158	B	0.0979	16.15	0.0928	18.45	>1000%	0.083
MONTAGANO	SS. Nome di Maria o della Congrega	4 - danno grave	0.28	0.600	0.179	B	0.128	0.142	0.169	0.188	110%	0.083
MONTECILFONE	Chiesa S.Giorgio	2 - danno moderato	0.28	0.590	0.25	B	0.48	0.55	0.14	0.61	114%	0.083
MONTELONGO	S.Rocco	4 - danno grave	0.38	0.682	0.154	C	0.0368	0.244	0.0408	0.278	863%	0.083
RIPABOTTONI	S. Maria della Concezione	5 - crollo parziale	0.64	0.600	0.177	B	0.0358	0.119	0.0397	0.216	332.000	0.083
SAN GIOVANNI IN GALDO	S.Giovanni Battista	3 - danno medio	0.17	0.577	0.262	C	0.203	0.309	0.215	0.33	152%	0.083
SANTA CROCE DI MAGLIANO	S.Antonio	5 - crollo parziale	0.40	0.494	0.15	B	0.0212	0.201	0.165	0.189	948%	0.083



CONCLUSIONI

La metodologia basata sulla osservazione dei danni e sui meccanismi di collasso consente di guidare il tecnico :

- nella valutazione del danno e dell'agibilità
- nella valutazione della vulnerabilità in emergenza e in prevenzione
- nella scelta degli interventi di messa in sicurezza in emergenza
- nella scelta degli interventi di riparazione del danno e di miglioramento sismico
- nella fase di programmazione, controllo e monitoraggio degli interventi



SISMA MOLISE 2002

SISMA MOLISE 2002 : BENI MONUMENTALI E TERREMOTO DALL'EMERGENZA ALLA RICOSTRUZIONE

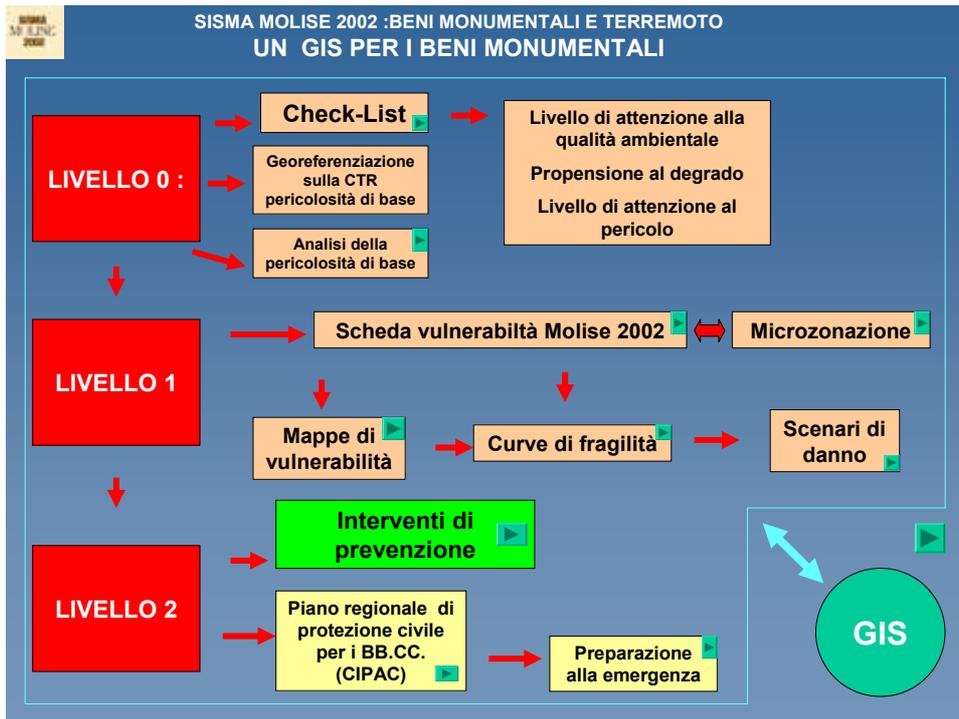
METODOLOGIE PER IL RILIEVO DEL DANNO E DELLA VULNERABILITA' DEI BENI MONUMENTALI

ANALISI SU PIU' LIVELLI

LIVELLO 0 : ANALISI DEL SISTEMA TERRITORIALE (Check-List) - GEOREFERENZIAZIONE SULLA CARTOGRAFIA REGIONALE DEI BB.CC - SOVRAPPOSIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE

LIVELLO 1 : VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITA' (CARENZE COSTRUTTIVE, TIPOLOGIE, PROPRIETA' MATERIALI, STIMA COSTI INTERVENTO) – SCENARI DI DANNO – ASPETTI GEOMORFOLOGICI E MICROZONAZIONE SPEDITIVA

LIVELLO 2 : PROGRAMMAZIONE ED ESECUZIONE DEGLI INTERVENTI PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO SISMICO – CARTA DEL RISCHI (Piani di protezione Civile)



LIVELLO 0 : ANALISI DEL SISTEMA TERRITORIALE – CHECK LIST

Comune di S.Massimo - Check_list urbana

Comune di Paternò - Check_list territoriale

CHECK LIST		SISTEMA URBANO		SISTEMA TERRITORIALE	
PARAMETRO	VALORE	PARAMETRO	VALORE	PARAMETRO	VALORE
URBANIZZAZIONE		POPOLAZIONE		URBANIZZAZIONE	
...

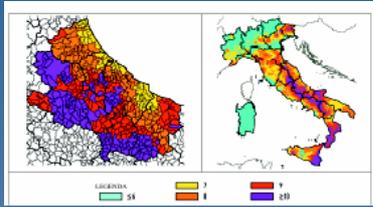
Check - List

Sistema urbano e territoriale

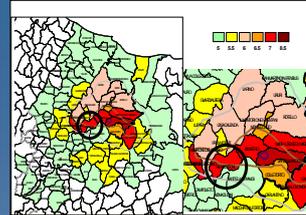
Catalogo dei Beni Monumentali

Sistema Urbano

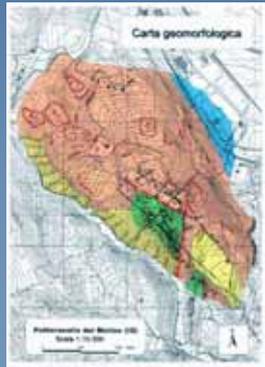
LIVELLO 0 : ANALISI DELLA PERICOLOSITA' DI BASE



Massime intensità Abruzzo e Molise – Italia



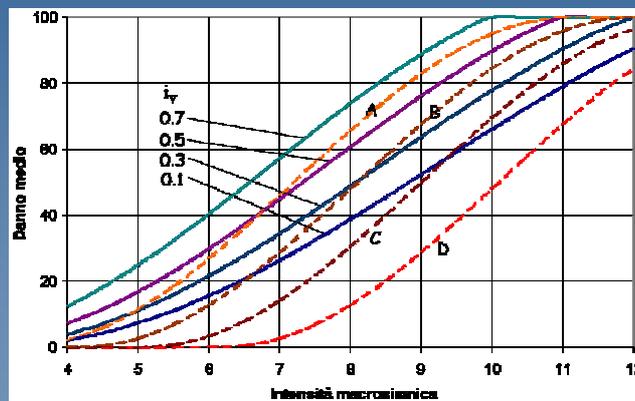
Intensità macrosismiche - Molise 2002



Curve di vulnerabilità

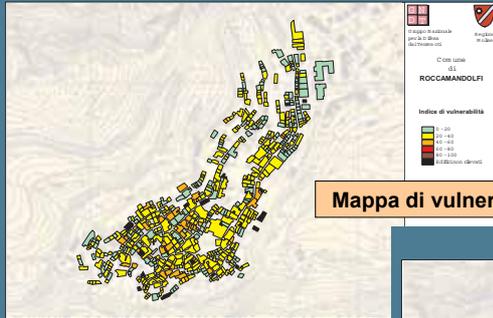
Analoghe alle curve di fragilità di II livello degli edifici, permettono una valutazione del singolo manufatto

$$\mu_D = 2.5 \cdot \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 3.4375 \cdot i_v - 8.9125}{3} \right) \right]$$



- Elevata vulnerabilità delle chiese per terremoti di modesta intensità
- Indicatori correlati alla pericolosità del sito

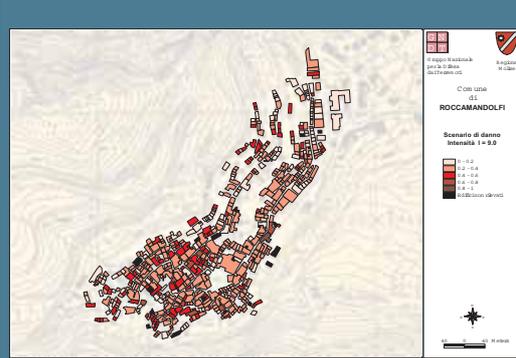
Caso studio Matese :Centro storico di Roccamandolfi (Molise)



Mappa di vulnerabilità



Scenario di danno
Intensità I = 9.0



Sisma 2002 : Caso studio Ripabottoni rilievo del danno e della vulnerabilità sismica – effetti di sito

Danno alle
Strutture verticali



Danno globale

