



SISMA ABRUZZO 2009 – Archeologia e Terremoto: strumenti per il rilievo del danno e della vulnerabilità dei Beni Archeologici danneggiati dal sisma.

Maria Rita Copersino, Maria Gabriella Florio

Direzione Regionale per i Beni Culturali e Paesaggistici dell'Abruzzo

G. Cialone, G. Cifani, A. Lemme

Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto per le Tecnologie della Costruzione - L'Aquila.

SOMMARIO

L'area del "cratere" aquilano, individuata a seguito dell'evento sismico del 6 aprile 2009, è interessata dalla presenza di notevoli emergenze archeologiche che hanno riportato danni medio-gravi a causa del terremoto. Il lavoro di rilievo del danno sismico inerente questa particolare categoria di Beni si è avvalso della stessa metodologia utilizzata per il rilievo del danneggiamento e della vulnerabilità dei Beni Monumentali, ed in particolare degli edifici di culto. Gli strumenti schedografici utilizzati per la valutazione del danno sismico, della vulnerabilità e della qualità muraria dei Beni Archeologici sono il risultato di un lavoro di comparazione tra le schede in uso, già recepite a livello nazionale, e la complessità e diversificazione delle tipologie costruttive, dei materiali, dei leganti, della presenza di Beni storico-artistici, nonché degli eventuali interventi di restauro, tutti elementi che influiscono in maniera determinante sulla risposta sismica e sulla vulnerabilità del Patrimonio Archeologico. Il rilievo ha consentito di trattare sia le peculiarità legate a un singolo bene sia quelle di un bene complesso. Sono stati individuati i meccanismi di collasso, le tipologie di danno e gli indicatori di vulnerabilità associati ai Beni Archeologici e sulla base del rilievo dei Beni dell'area Aquilana, danneggiati dal terremoto del 2009, è stata sperimentata la metodologia di rilievo. Il rilievo ha consentito di apprezzare l'influenza della variabilità delle tecniche costruttive, delle tessiture murarie, la carenza di manutenzione e, non da ultimo, gli interventi recenti di restauro effettuati con materiali e tecniche di natura diversa dall'originale che hanno favorito frequentemente l'accentuazione e l'amplificazione del danno.

1 PREMESSA

L'Italia possiede un immenso patrimonio ambientale e culturale che va salvaguardato, conservato e valorizzato. Il patrimonio culturale, storico-architettonico ed archeologico è una parte fondamentale dell'identità di ciascun popolo, ed è per tale ragione che la loro tutela e valorizzazione è tra gli obiettivi prioritari enunciati nell'Art. 1 del Codice dei beni culturali e del paesaggio (D. Lgs. 22 gennaio 2004, n. 42), in attuazione dell'articolo 9 della Costituzione. L'evento sismico del 6 Aprile del 2009 di Mw 6,3 ha colpito l'Abruzzo aquilano e provocato vittime e gravissimi danni al patrimonio edilizio ed a quello monumentale, non risparmiando i beni archeologici. Nell'area del "cratere" aquilano (57

comuni, di cui 42 in Provincia dell'Aquila, 8 in Provincia di Teramo, 7 in Provincia di Pescara) sono testimoniate emergenze archeologiche di notevole interesse che hanno riportato danni gravi e/o gravissimi. Gli interventi messi in atto immediatamente dopo l'evento sismico hanno riguardato prima di tutto la sistemazione della popolazione, poi l'agibilità e la messa in sicurezza del patrimonio costruito (edifici pubblici e privati) dell'Aquila e dei comuni maggiormente colpiti. La gestione di quella parte dell'emergenza sismica che riguarda le valutazioni dell'edificato ai fini dell'agibilità e della messa in sicurezza viene oggi affrontata facendo ricorso a strumenti ormai definiti e necessari ad una celere valutazione dello stato di fatto degli edifici civili, degli edifici monumentali e delle chiese. Gli eventi sismici che negli ultimi

tempi hanno interessato il territorio nazionale (terremoto Parco Nazionale d'Abruzzo 1984 Mw 5,2, terremoto della Lunigiana e Garfagnana, 1995 Mw 4,7, terremoto Umbria Marche 1997 Mw 5,6, terremoto del Pollino 1999, terremoto del Molise 2002 Mw 5,79) sono serviti a tutti coloro che istituzionalmente hanno competenza (Dipartimento della Protezione Civile, Ministero degli Interni, Ministero dei Beni Culturali) ed agli istituti di ricerca (CNR, INGV, ENEA, Università ecc.) a sviluppare una metodologia accurata, con particolare attenzione agli edifici religiosi e ai palazzi storici. Tale metodologia è stata testata in occasione degli eventi sismici della Lunigiana e della Garfagnana, dell'Umbria e delle Marche, del Pollino, del Lazio, di Asti e di Alessandria, ed è stata migliorata a seguito del terremoto che ha colpito il Molise nel 2002. I beni archeologici invece non sono ancora mai stati oggetto di studi specifici inerenti la vulnerabilità e la valutazione dei danni causati da eventi sismici. Per questo motivo il lavoro svolto è stato strutturato ed organizzato secondo criteri specifici ed adeguati sia all'oggetto dell'indagine, il "bene archeologico", che all'obiettivo finale, ossia la valutazione di quanto l'evento sismico abbia inciso sulla integrità dei beni archeologici e dunque sulla loro possibile conservazione nel tempo.

2 LA SCHEDA DI DANNO E VULNERABILITÀ ARCHEOLOGICA

In assenza di uno strumento catalografico di analisi adeguatamente calibrato per il rilievo del danno sismico e della vulnerabilità sui beni archeologici e volendo utilizzare tutti gli studi fatti in precedenza, il criterio adottato ha permesso di affrontare l'argomento sotto tutti i punti di vista. Il risultato ha dato luogo alla redazione di una scheda di rilievo del danno e della vulnerabilità adatta ai beni archeologici. Il lavoro di ricerca ha preso il via da un lato dallo studio analitico della "Scheda Chiese", della "Scheda Palazzi" (AA.VV. 2002) e del materiale catalografico elaborato in occasione del censimento dell'emergenza a carattere monumentale e ambientale ricadenti all'interno di aree protette (AA. VV. 2001); dall'altro dalla letteratura scientifica in materia di beni archeologici. Tutto questo è stato utile per conoscere la corretta classificazione dei beni, gli strumenti catalografici codificati e normalizzati, le diverse tipologie e tecniche costruttive, l'utilizzo di materiali e leganti, e tutto ciò che si è

ritenuto necessario approfondire al fine di comprendere in pieno la natura, le variazioni costruttive, l'articolazione planimetrica e il contesto ambientale in cui ricade il bene. Questo confronto ha permesso di evidenziare quanto diverso e complesso sia il bene archeologico "costruito", o ciò che resta di esso, rispetto a un qualsiasi fabbricato, sia esso civile o religioso, che conservi integre le parti che lo compongono. Nella definizione della scheda chiese la possibilità di identificare tutte le parti dell'edificio secondo tipologie ricorrenti (facciata, aula, transetto, arco trionfale, cupola, abside, copertura, campanile) ha consentito di definire 28 meccanismi di collasso (AA.VV. 2007), ottenendo un'analisi puntuale del danno e della vulnerabilità. Il patrimonio archeologico si contraddistingue invece per la presenza di strutture parzialmente integre o di semplici residui murari: sono infatti presenti casi in cui si conserva fuori terra il perimetro dell'edificio, variabile in altezza tra meno di 1 metro e oltre 10 metri, e casi in cui si conservano solo lacerti di murature spesso scollegati o collegati solo a livello di fondazione, mentre frequentemente sono assenti le coperture degli edifici o le strutture accessorie. L'articolazione planimetrica dei manufatti archeologici varia a causa della diversa destinazione d'uso degli edifici: terme, acquedotti, chiese, edifici residenziali, necropoli, complessi urbanistici, fortificazioni ecc. sono un esempio di quanti tipi di beni è verosimile riscontrare. A ciò si aggiunga che molti insediamenti hanno subito nel tempo consistenti modifiche nella destinazione d'uso, variando i pesi e gli equilibri delle parti del "costruito" spesso con conseguente aumento della vulnerabilità. Un aspetto da tenere in giusta considerazione riguarda lo stato di conservazione, spesso carente, in cui verte la maggior parte dei beni archeologici: la mancata manutenzione, l'azione esercitata dagli agenti atmosferici, il degrado dei materiali, l'attacco disgregante della vegetazione, restauri inappropriati rappresentano alcuni tra gli elementi che influiscono negativamente sulla corretta conservazione dei manufatti che, sommati alle sollecitazioni sismiche, sono spesso causa di gravi danni. Infine non è stata tralasciata l'azione antropica che in molti casi ha reso ancor più vulnerabili i beni archeologici: basti pensare che alcune emergenze un tempo ubicate in contesti extra urbani sono oggi localizzate in centri urbani o industrializzati e che l'azione dell'uomo ha spesso finito per alterare lo schema statico originario delle strutture residue. Queste considerazioni preliminari associate a una serie di sopralluoghi

effettuati su siti archeologici nella provincia di L'Aquila hanno fatto scaturire la necessità di avere un quadro il più possibile esaustivo del patrimonio al fine di poter individuare correttamente i meccanismi di danno applicabili ai beni archeologici e ad essi associare gli indicatori di vulnerabilità. E' stata pertanto elaborata una Check-List di primo livello dalla quale si ricava una sintesi completa delle emergenze archeologiche classificate per localizzazione, ambito cronologico, categoria di appartenenza, tipologia dei resti conservati e che contiene inoltre informazioni utili per definire la consistenza del "costruito". La Check-List consente anche di individuare gli elementi potenzialmente esposti a danneggiamento non direttamente connesso a eventi sismici. E' stata, dunque, fatta una preliminare selezione degli elementi architettonici maggiormente riscontrabili sui resti dell'edilizia antica seguendo la stessa logica consequenziale adottata per la stesura della "Scheda Chiesa" ma calibrata sulle testimonianze materiali che si conservano.

Meccanismi di danno dei beni archeologici	
1-Meccanismi nelle fondazioni	FONDAZIONI
2- Meccanismi nei piani pavimentali	PIANI PAVIMENTALI
3- Disgregazione nella muratura	PARETI MURARIE
4- Meccanismi fuori del piano delle pareti murarie	
5- Meccanismi nel piano delle murature	
6- Meccanismi su strutture ad arco	ARCO
7- Meccanismi nei colonnati	COLONNATI
8- Meccanismi nelle coperture	COPERTURE
9- Meccanismi nelle strutture voltate	VOLTE
10- Meccanismi nelle scale	SCALE
11- Meccanismi dovuti a irregolarità piano-altimetriche	IRREGOLARITA' PLANO-ALTIMETRICHE
12- Aggetti	AGGETTI

Tabella 1 – 12 Meccanismi di danno dei beni archeologici

Sono stati anche esaminati i modi di danno e i tipi di danno possibili sulla particolare tipologia di beni archeologici e valutati gli studi effettuati sia sulle tipologie murarie antiche (Giuliani C.F. 2010, Giuliano C. F. 1990) che sul comportamento meccanico delle murature (Binda L. - Borri A. - Bignoli A., 2004). Nella stesura della scheda di danno sono stati indicati 12 meccanismi per le 9 tipologie architettoniche maggiormente riscontrate nei beni archeologici: fondazioni, piani pavimentali, pareti murarie, strutture ad arco, colonnati, strutture voltate, a cui si aggiungono tipologie presenti solo in casi eccezionali come le coperture, le scale o gli aggetti. L'irregolarità piano – altimetrica è considerata come fattore che influenza il

comportamento statico della struttura determinando l'attivazione dei meccanismi collegati. Ogni singolo meccanismo è identificato da quattro parametri: tipologia di danno, danno pregresso, livello di danno, estensione del danno. A ognuno dei 12 meccanismi corrispondono diverse **tipologie** di danno che variano da un minimo di due, come nel meccanismo 7 (colonnati) ad un massimo di sette nel meccanismo 6 (strutture ad arco). In particolare nel caso del singolo elemento - muratura, prevalente nei siti archeologici, sono stati individuati tre distinti meccanismi: disgregazione della muratura (M3), meccanismi fuori del piano delle pareti murarie (M4), meccanismi nel piano delle pareti murarie (M5).

Un elemento imprescindibile è l'analisi del danno **pregresso** riportato in termini di presenza/assenza. Per quanto concerne il **livello** di danno si è tenuto conto della classificazione scale EMS98 basata su un danno variabile da 1 a 5, non segnalando il valore 0 in quanto nullo. Le diverse dimensioni dei siti indagati e, spesso, il loro complesso sviluppo planimetrico hanno posto il problema dell'**estensione** del danno in rapporto alla dimensione del bene analizzato. Per la valutazione dell'estensione è stato adottato lo stesso parametro utilizzato per il rilievo del danno nei palazzi monumentali ("Scheda Palazzi"):

>2/3 pari ad un'estensione di danno superiore ai due terzi della struttura;

1/3-2/3 pari ad un'estensione di danno compreso tra un terzo e due terzi della struttura;

<1/3 pari ad un'estensione di danno inferiore ad un terzo della struttura.

Il calcolo dell'indice di danno e del livello di estensione può essere utile per fornire indicazioni per gli interventi di restauro oltre che per una macrostima dei costi necessari alla salvaguardia e alla conservazione del bene archeologico.

Per la definizione della vulnerabilità a ogni meccanismo di danno individuato sono stati associati i presidi e gli indicatori di vulnerabilità che sono stati determinati sulla base delle osservazioni dirette effettuate sugli elementi analizzati. Il rilevatore dovrà segnare i presidi e gli indicatori, quando presenti, ed anche indicare il peso degli stessi. Considerata la molteplicità dei fattori che costituiscono una fonte di vulnerabilità, è stato inserito un numero d'indicatori e di presidi, laddove presenti, suscettibili di implementazione da parte del rilevatore. Data la complessità dell'argomento non si esclude un successivo approfondimento delle problematiche legate a presidi e indicatori di vulnerabilità che possono venir fuori dall'analisi di particolari contesti archeologici. Le

considerazioni fatte analizzando la Check-List hanno evidenziato la difficoltà di affrontare con un'unica scheda l'analisi del danno e della vulnerabilità per beni archeologici diffusi sulla stessa area. Se, infatti, per i beni individui, caratterizzati da un corpo unico con medesima funzione, la scheda di rilievo si è rivelata sufficientemente esaustiva, non è stata altrettanto efficace per i beni componenti (corpo costituito da più elementi da medesima funzione) o complessi (corpo costituito da più elementi con funzioni diverse). Per questa ragione è stata utilizzata la struttura “madre-figlie” codificata per la catalogazione di beni complessi dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali - Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione. E' stata pertanto elaborata una scheda “madre” e una o più schede denominate “Sottoschede-figlie” che rappresentano le sue componenti. La scheda “madre” contiene tutte le informazioni che in generale identificano il bene e ne ricostruiscono il contesto di appartenenza riportando l'aspetto geomorfologico, i provvedimenti di tutela del bene complesso ed i rischi naturali che eventualmente gravano sul bene. Sono così evidenziati i fattori di vulnerabilità non strettamente legati al bene da analizzare ma connessi al territorio circostante di cui il bene è parte integrante. Ogni “Sottoscheda-figlia” è dedicata invece al bene oggetto di analisi e comprende i 12 meccanismi di danno già illustrati ai quali sono associati gli indicatori di vulnerabilità. In base alla complessità strutturale del bene analizzato viene redatto un numero progressivo di “Sottoschede-figlie”, ciascuna delle quali analizza in modo puntuale un singolo elemento considerato. Un codice univoco e progressivo collega ogni “Sottoscheda” alla scheda “Madre” (Fig.2).

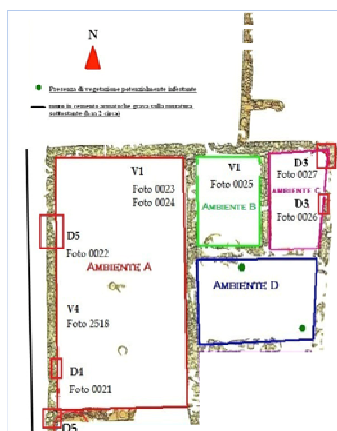


Figura 1 – Mansio di Bazzano (Aq) : stralcio della pianta con documentazione grafica del danno

Figura 2 - Relazione scheda madre/scheda figlia

Nella “Sottoscheda” si è volutamente distinta la parte dedicata alla descrizione della tipologia costruttiva dell'elemento originale da quella del restauro. I preliminari sopralluoghi effettuati hanno, infatti, evidenziato che molti dissesti sono concentrati nelle parti restaurate, in particolar modo quando sono state utilizzate nel consolidamento malte cementizie. Per questo motivo è stata inserita una sezione specifica per la descrizione degli interventi di restauro.

Nella definizione di tutti gli elementi indagati sono stati considerati, quando presenti, i collegamenti e le interazioni tra i diversi elementi, dato fondamentale per la valutazione e la possibile amplificazione del danno provocato dal sisma. Per meglio precisare tutte le eventuali relazioni correnti tra gli elementi presenti nella stessa struttura è richiesto ai rilevatori l'inserimento, sotto forma di allegato e per ciascun elemento analizzato (sottoscheda), una planimetria o uno schizzo dettagliato con la localizzazione della tipologia di danno rilevato, correlata da immagini fotografiche (Fig.1).

A integrare la documentazione sono indicate sulle planimetrie di ciascun elemento analizzato le parti che hanno subito interventi di restauro

con i codici corrispondenti delle immagini fotografiche effettuate durante il sopralluogo.

La scheda così strutturata è stata regolata in modo da essere utilizzabile in qualsiasi contesto archeologico ed in qualunque territorio, anche se geograficamente differente da quello attualmente analizzato: fra gli esemplari abruzzesi, infatti, alcune voci presenti nella scheda sono scarsamente ricorrenti (scale, aggetti, colonnati) ma diffusamente attestate in altre località italiane e pertanto inserite nella casistica d'analisi.

La metodologia individuata per il rilievo del danno e della vulnerabilità dei beni archeologici ha previsto anche l'analisi delle tipologie e della qualità muraria mediante il riesame della "Scheda in muratura" sviluppata in ambito ReLUIS e utilizzata in Molise per la ricostruzione post-sisma 2002. La scheda è stata opportunamente rielaborata e calibrata inserendo i parametri di confronto riconosciuti dalla letteratura scientifica in materia di Beni Archeologici.

La formulazione della metodologia da applicare sui beni archeologici fornisce strumenti utili per l'analisi del danno e della vulnerabilità anche indipendentemente da un evento calamitoso come può essere un terremoto. Nel caso di una situazione post sisma tale strumento diventa invece fondamentale per individuare l'intervento più adeguato e per definire un modello di stima dei costi.

In quest'ottica si ottiene un criterio utile a monitorare lo stato di fatto del bene e quindi ad intervenire in modo adeguato nella prospettiva della conservazione e della valorizzazione.

3 DESCRIZIONE DELLA SCHEDA

Come detto in precedenza la scheda è distinta in due parti (scheda "madre" – sottoschede "figlie") correlate da un codice numerico univoco, ad eccezione dell'identificativo numerico dato all'oggetto che è progressivo a seconda degli elementi analizzati.

La scheda "madre" è impostata per raccogliere i dati generali con l'obiettivo di acquisire la conoscenza del bene, della sua consistenza e del suo contesto di appartenenza (*Fig. 3*). Sono da indicare nella scheda: la localizzazione geografica-amministrativa, l'inquadramento geografico sullo stralcio C.T.R. (Carte Tecnica Regionale in scala 1:5.000), l'identificazione del bene, i riferimenti cartografici, la georeferenziazione del sito (anche mediante GPS), i provvedimenti di tutela (Aree tutelate per Legge, Vincolo Paesistico, Vincolo Idrogeologico), le caratteristiche

geomorfologiche del sito e la presenza di rischi (sismico, incendio, industriale, idrogeologico, vulcanico). La compilazione di questa prima parte può essere compilata indipendentemente dal sopralluogo perché fornisce indicazioni d'inquadramento generale sui possibili rischi riscontrabili sul bene. La "sottoscheda figlia", dedicata all'analisi del danno e della vulnerabilità, si articola in due sezioni. La prima sezione descrive ed identifica l'elemento da analizzare: partendo dallo stato di conservazione e dai provvedimenti di tutela (Vincolo archeologico e vincolo architettonico diretto e/o indiretto) si procede quindi alla individuazione della tipologia e delle caratteristiche specifiche. Al fine di evitare l'uso di termini impropri si è fatto ricorso alla classificazione e alle liste terminologiche per la definizione degli oggetti (OGTD) e della tipologia (OGTT) stabilita dall'ICCD (Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione). Per quanto riguarda la descrizione della tipologia costruttiva, esclusivamente finalizzata alla diagnosi della parte originale, sono state inserite tutte le indicazioni necessarie ad un'accurata definizione dell'elemento analizzato: la tipologia muraria, la lavorazione superficiale, l'allettamento della muratura, il materiale, il legante, ed anche la presenza di rivestimenti parietali, orizzontamenti, coperture (originali o da intervento) ed eventuali collegamenti verticali. La prima sezione finisce con una parte dedicata agli interventi di restauro che possono aver interessato l'intero manufatto o una porzione di esso. In primo luogo si cerca di definire la storia del restauro distinguendo tra recente e antico al fine di ricostruire la stratificazione degli interventi eseguiti nel tempo; quindi s'indica la parte restaurata su schizzo o planimetria, il tipo d'intervento, il materiale utilizzato, il legante e la messa in opera. La seconda sezione è completamente dedicata all'individuazione del danno e della vulnerabilità. Come già accennato, i 12 meccanismi di danno sono stati dedotti dallo studio effettuato sulle diverse tipologie dei resti dell'edilizia antica. Per questa ragione prima dell'analisi del danno e della vulnerabilità, è stato inserito un campo in cui sono riportati gli elementi individuati, con l'opzione di segnalarne anticipatamente la presenza o l'assenza, agevolando il compito ai rilevatori che, in questo modo, si orientano meglio sia nei casi di insediamenti complessi (beni complessi o componenti) che di semplici edifici (beni individui). La seconda sezione termina con la segnalazione di apparati decorativi, delle indicazioni sull'agibilità, dei provvedimenti urgenti per la tutela del bene ed

infine il calcolo della stima dei costi da sostenere per un eventuale intervento di restauro.

4 ANALISI PRELIMINARE DEI DATI DEL RILIEVO DEL DANNO DEI BENI ARCHEOLOGICI

Il rilievo del danno e della vulnerabilità dei Beni Archeologici è stato svolto, preliminarmente, nei siti della zona epicentrale colpita dal sisma del 2009 e attualmente è in fase di completamento e revisione. L'analisi dei dati è stata programmata su due livelli in funzione dei risultati e degli obiettivi del rilievo. Obiettivo principale è stato quello di individuare il livello di danneggiamento e di associare tale livello all'azione sismica che ha colpito il sito di ubicazione del bene e collegarlo ad alcune caratteristiche costruttive e tipologiche dello stesso bene.

Gli elementi che caratterizzano questo livello informativo di base sono i seguenti :

- Documentazione fotografica : consente di ottenere informazioni di diversa natura e documenta lo stato di danneggiamento del Bene;
- Localizzazione del bene : consente di individuare la zona di ubicazione e quindi l'azione sismica che ha colpito il bene e di rilevare, attraverso la correlazione con la microzonazione sismica, eventuali effetti di amplificazione sismica;
- Tipologia costruttiva: nel caso dei Beni Archeologici sono possibili diverse tipologie costruttive che abbiano una differente risposta alle azioni sismiche (esempio: edificio, parete, torre,);
- Stato di conservazione del Bene: influisce in modo decisivo sul danneggiamento;
- Tipologia dei materiali: la conoscenza della tecnica costruttiva e della qualità muraria è strettamente collegata al livello di danneggiamento. Questo livello informativo può essere definito a valle del rilievo con il supporto della documentazione fotografica e di abachi delle murature;
- Altezza degli elementi costruttivi : facilmente rilevabile influenza notevolmente il danneggiamento.
- Livello di danneggiamento speditivo basato su giudizio esperto e presenza di crolli: consente di ottenere una valutazione preliminare del danneggiamento surrogata anche dalla documentazione fotografica.

Questi elementi di base consentono di determinare per ciascun Bene l'azione sismica

che lo ha colpito e di stimare la sua vulnerabilità intesa come azione sismica che può provocarne il danneggiamento e/o il collasso. Gli altri elementi offrono la possibilità di affinare la stima e di fare prime considerazioni sul danneggiamento come ad esempio la correlazione con la tipologia costruttiva, lo stato di conservazione e l'altezza. Il livello successivo comprende informazioni più dettagliate che, nel modello previsto nella scheda, riguardano i singoli meccanismi di collasso sia in termini di attivazione del danno e sia in termini d'indicatori di vulnerabilità. Con dati ricavabili da questo secondo livello in formativo è possibile calibrare meglio il livello di danno associandolo ai singoli meccanismi di collasso, determinare un indice di danno, un indice di vulnerabilità tipologica e conoscere meglio le carenze costruttive e le caratteristiche dei Beni al fine di individuare e programmare eventuali interventi. Per i Beni Archeologici danneggiati dal sisma del 2009 il primo livello è stato eseguito e completato mentre è in fase di revisione e completamento il secondo livello che richiede un approfondimento e la calibrazione dello stesso strumento di rilievo. Di seguito si riporta una sintesi dei dati rilevati tenendo conto delle informazioni del primo livello di analisi. Nel campione esaminato (54 sottoschede-figlia) i beni che conservano ancora una fisionomia compiuta di "edificio" sono circa il 37% e si ha un'elevata presenza di porzioni di complessi edilizi costituiti da pareti di altezza variabile tra 2 e 5 m (circa 32%) e da pareti basse inferiori a 1.5 m (circa 20%). Significativo è anche lo stato di conservazione che per oltre il 60% è scadente.

Element strutturale	Totale
Blocco	1.85%
Edificio	37.04%
parete lunga	1.85%
parete-arco	1.85%
Pareti	31.48%
pareti basse	20.37%
pareti interrate	1.85%
piloni	1.85%
torre	1.85%
Totale	100.00%

Tabella 2 - Distribuzione elementi strutturali

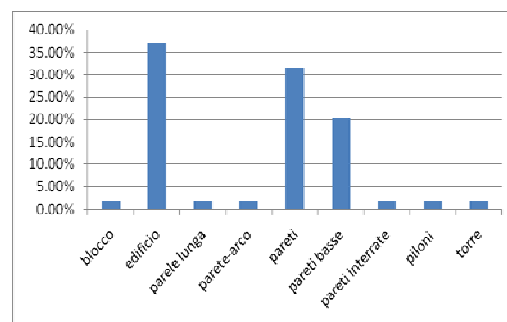


Figura 3 – Distribuzione elementi strutturali

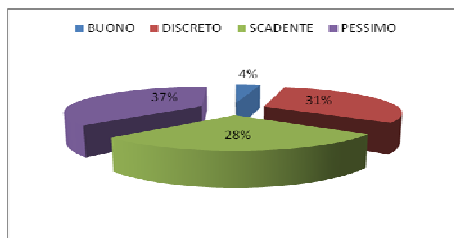


Figura 4 – stato di conservazione

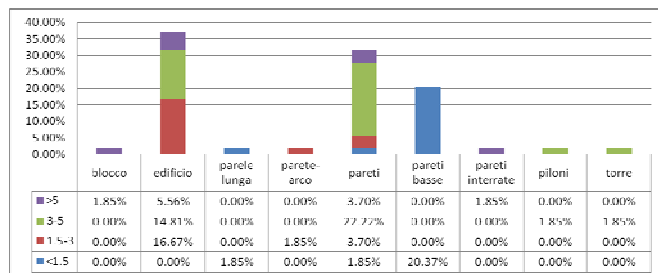


Figura 5 – correlazione altezza tipologia costruttiva

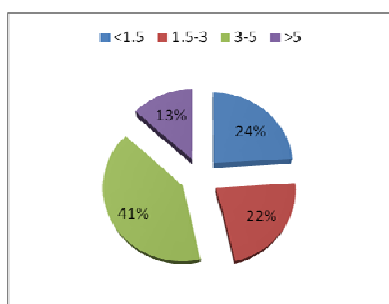


Figura 6 – correlazione altezza tipologia costruttiva

Sulla base dei dati del primo livello sono state determinate *matrici di probabilità del danno* (DPM) che sintetizzano il danneggiamento. Tale analisi è stata eseguita per la prima volta, in via sperimentale, in Abruzzo dopo il sisma del 2009 e pertanto non si dispone di dati rilevati a seguito di precedenti campagne di rilievo. Il campione è stato suddiviso in 3 aree aventi stessa intensità macrosismica e la rappresentazione è stata effettuata per l'intera zona e per le tre aree con intensità macrosismica diversa. Dal grafico d'insieme si rileva una distribuzione continua con una percentuale massima di circa il 17% per il livello di danno 1 mentre per le singole intensità macrosismiche si ha una distribuzione crescente per Imcs 6, Imcs 6.5 e Imcs 8.5 e una distribuzione discontinua con salti per Imcs 7.5.

Si riportano come confronto le DPM degli edifici di culto danneggiati a seguito di eventi sismici in Abruzzo nel 2009 e in Molise nel 2002.

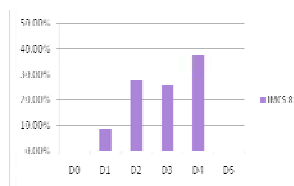
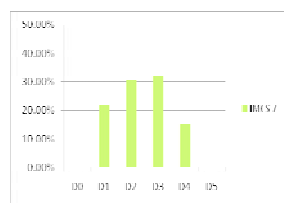
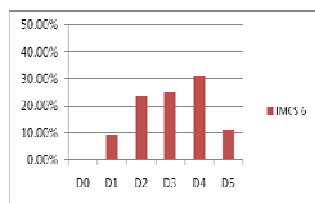


Figura 7 – DPM edifici di culto – Abruzzo 2009

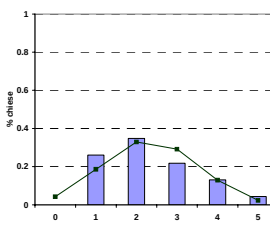
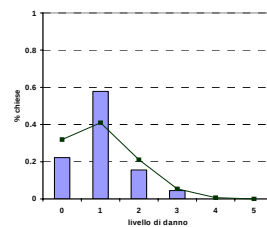
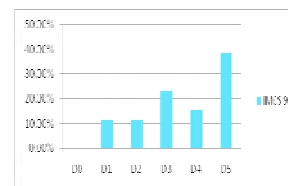


Figura 8 – DPM edifici di culto – Molise 2002

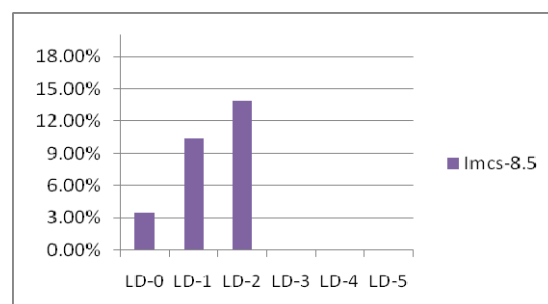
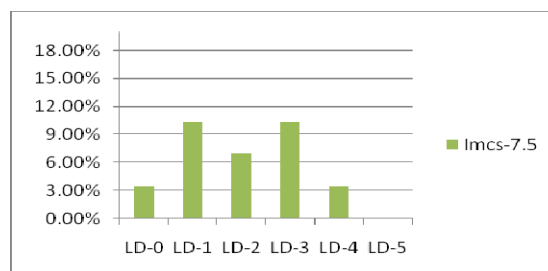
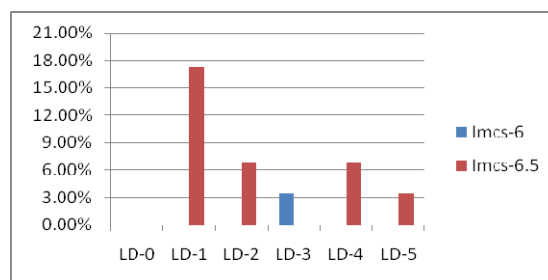


Figura 9 – DPM - Beni Archeologici Abruzzo 2009

Dai primi risultati dell'analisi dei dati rilevati è stato possibile constatare che i meccanismi individuati nella scheda riescono a sintetizzare e definire il comportamento degli elementi strutturali e la distribuzione del danno evidenzia l'attivazione prevalente dei meccanismi fuori del piano, per disgregazione e in percentuale minore i meccanismi nel piano. Nella tabella è indicato il livello di attivazione dei 12 meccanismi previsti nella scheda. I meccanismi di disgregazione e nel piano delle murature sono attivati per oltre il 70% e per il 62% i meccanismi fuori del piano.

L'attivazione elevata dei meccanismi di primo modo va messa in relazione alla scadente qualità della muratura confermata dalla percentuale elevata di disgregazione. In modo minore sono stati attivati i meccanismi nelle strutture ad arco e voltate (circa 14%), nelle coperture (9.26%), nei piani pavimentali e per irregolarità altimetriche (circa 7,41%). Nella tabella è indicato il livello di danno medio e si può rilevare che per i 3 meccanismi attivati in modo maggiore il livello di danno medio (LD) e di danno esteso (LDE) sono maggiori del livello "3" che corrisponde al danno medio-grave.

MECCANISMI	Meccanismi attivati	Livello di danno medio LD	Livello di danno esteso LDE
MECCANISMI NELLE FONDAZIONI	1.85%	1.00	1.00
MECCANISMI NEI PIANI PAVIMENTALI	7.41%	4.25	5.00
DISEGREGAZIONE DELLE MURATURA	77.78%	3.24	3.71
MECCANISMI FUORI DEL PIANO DELLA MURATURA	61.11%	3.16	3.47
MECCANISMI NEL PIANO DELLE MURATURE	72.22%	3.01	3.54
MECCANISMI SU STRUTTURE AD ARCO	12.96%	3.56	3.56
MECCANISMI NEI COLONNATI	0.00%	-	-
MECCANISMI NELLE COPERTURE	9.26%	5.00	5.94
MECCANISMI NELLE STRUTTURE VOLTATE	14.81%	2.40	2.73
MECCANISMI NELLE SCALE	0.00%	-	-
MECCANISMI DOVUTI AD IRREGOLARITA' PLANO ALTIMETRICHE	7.41%	1.75	2.13
AGGETTI, STATUE PINACOLI,	0.00%	-	-

Tabella n.3 – attivazione dei meccanismi e livelli di danno

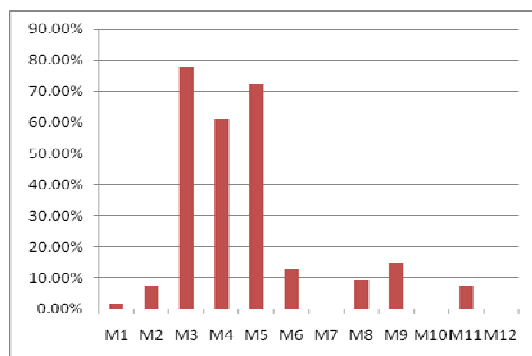


Figura 7 - Percentuale di attivazione dei meccanismi

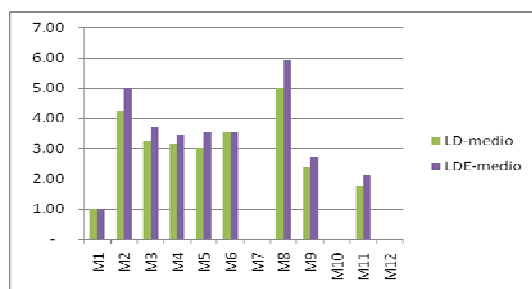


Figura 8 - Confronto tra il livello di danno medio e il livello di danno medio esteso

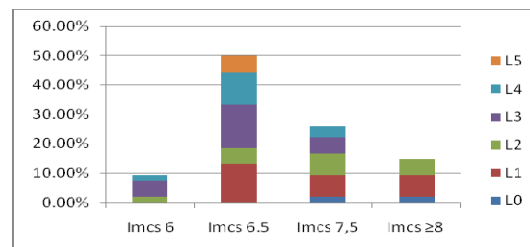


Figura 9 – correlazione Imcs Livelli di danno

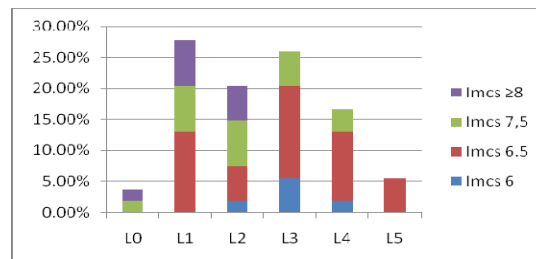


Figura 10 – Correlazione Livelli di danno Imcs

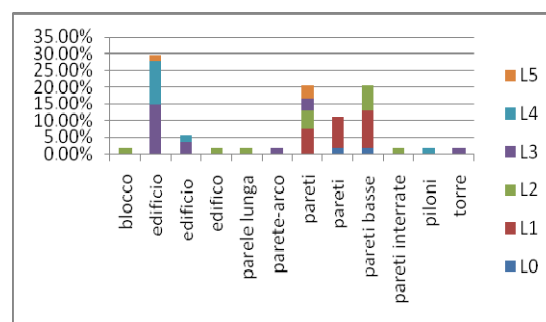


Figura 11 – Correlazione livelli di danno tipologia costruttiva

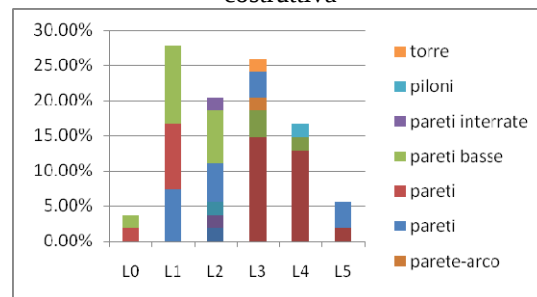


Figura 11 – Correlazione livello di danno e tipologia costruttiva

Per quanto riguarda il livello di danno complessivo circa il 50% ha un livello da nullo a moderato e il restante 50% ha un danno elevato con circa il 22 % di beni danneggiati in modo grave. Il livello di danno è stato correlato anche alla intensità macrosismica rilevata nel 2009 e circa il 90% degli edifici ricade in zone con Imcs maggiore o uguale a 6.5 e il danneggiamento maggiore si rileva per gli edifici ricadenti in zone con Imcs 6.5 e 7.5.

5 CONCLUSIONI

Il rilievo ai beni Archeologici, eseguito per la prima volta dopo un evento sismico, con una metodologia simile a quella impiegata per le altre tipologie di beni monumentali ha confermato la

possibilità di procedere con un percorso simile e di raggiungere risultati confrontabili. E' stato messo a punto uno strumento di rilievo che ha dimostrato una elevata affidabilità e i primi risultati ottenuti confermano la validità del percorso.

SCHEDA PER IL RILEVAMENTO DANNO DEI BENI ARCHEOLOGICI

DATI GENERALI
 Data: 08-02-2011 | N° Squadra: 00001 | N° Scheda: 00001

IDENTIFICATIVO OGGETTO (Codice ID)
 Progressivo Contenzione: 00001 | Oggetto: 00000

DENOMINAZIONE
 Castello, recinto di San Pio delle Camere

LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA AMMINISTRATIVA
 Regione: Abruzzo | Provincia: L'Aquila | Diocesi: L'Aquila
 Comune: S. Pio delle Camere | Quartiere: | Rione: |
 Località: Monte Gentile (Declivus Cameratus)
 Via/Piazza: |
 Proprietà: comunale (per visura catastale) | Attendibilità: ☒ Alta ☐ Media ☐ Bassa

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO
 Carta Tecnica Regionale | Scale: ☒ 1:5.000; ☐ 1:10.000; ☐ Altro 1: | N° Elemento: 359121

Map showing the location of San Pio delle Camere and the Castello area, with a red circle highlighting the specific site.

Figura 12 – Scheda per rilievo del danno e della vulnerabilità

BIBLIOGRAFIA

Binda, L., Borri, A., Bignoli, A., 2004, *Sull'analisi dell'analisi della qualità muraria e la modellazione della risposta sismica del costruito: verso un "Manuale delle Murature storiche"*, in Atti dell'XI Convegno Nazionale: *L'Ingegneria Sismica in Italia*, Genova.

Giuliani, C.F., 1990, *L'edilizia nell'antichità*, Roma.

Giuliani, C.F., 2010, *L'edilizia nell'antichità*, Nuova edizione con CD-ROM, Roma.

Dipartimento Protezione Civile, Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti GNDT, 2001, *Censimento relativo alle emergenze a carattere monumentale e ambientale nei comuni ricadenti in tutto e in parte all'interno di parchi naturali nazionali e regionali*, Roma, 409-456.

G.Cifani, A.Lemme, S.Podesta, 2004, *Linee Guida per gli interventi di riparazione del danno e miglioramento sismico per gli edifici di culto e monumentali danneggiati a seguito al terremoto del 2002 in Molise*, Campobasso.

G.Cifani, C.Civerra, A.Lemme., 2007, *Strumenti per il rilievo del danno e della*

vulnerabilità sismica dei beni culturali, Ed. Lampo Campobasso, 15-68.

G.Cifani, A.Lemme, S.Podesta, 2006, *Sisma Molise 2002: Beni Monumentali e Terremoto* Ed. Dei, Roma.

A.Lemme, A.Martinelli, S.Podestà, 2008, *Sisma Molise 2002: dall'emergenza alla ricostruzione. Edifici in muratura*, Ed. Dei, Roma.