

Dall'analisi del costruito storico danneggiato dal sisma alla definizione di nuove procedure per l'analisi del danno



From the analysis of the historical building damaged by the earthquake to the definition of new procedures for the damage analysis

Marco Zuppiroli
Veronica Vona

L'analisi integrata dei dati prodotti dal sisma dell'Emilia-Romagna offre oggi la possibilità di individuare nuovi strumenti e procedure volte alla maggior comprensione dei meccanismi di collasso del costruito storico.

The integrated analysis of the data produced by the Emilia-Romagna earthquake offers now the possibility of identifying new tools and procedures aimed at a better awareness of the historical buildings collapse mechanisms.

Cimitero monumentale di Finale Emilia, particolare del quadro fessurativo

Finale Emilia Monumental Cemetery, cracks detail



La serie di eventi sismici verificatisi nel corso del 2012 ha fatto emergere la vulnerabilità di un territorio come quello dell'Emilia-Romagna non educato alla prevenzione, con particolare riferimento al patrimonio culturale che ha rappresentato – e rappresenta tuttora – il 70% del costruito esistente danneggiato in Regione.

Con l'obiettivo di capitalizzare l'esperienza acquisita nell'ambito della gestione post-sisma ed avvalendosi del Fondo Sociale Europeo, la Regione ha avviato processi di verifica sull'attività svolta mediante percorsi di ricerca mirati.

In riferimento a tale finalità, il presente studio prende avvio da una riflessione sul quadro normativo che regola gli interventi di adeguamento e/o miglioramento sismico del patrimonio culturale costruito, con particolare attenzione alle *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineate alle nuove Norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008 e ss. mm.)*. Nello specifico, sono oggetto di

Cimitero di Cortile, Carpi (MO)
Cortile Cemetery, Carpi (MO)

approfondimento le metodologie per la qualificazione dei meccanismi di collasso e, conseguentemente, della vulnerabilità e le possibili strategie di intervento sugli edifici storici in muratura.

La recente pubblicazione delle nuove *Norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018)*, ad aggiornamento del quadro normativo preesistente, costituisce la cornice entro cui iscriverne una prima ed attenta disamina dei significativi risultati conseguiti, a livello regionale, nel processo di ricostruzione post-sisma "Emilia 2012". Inoltre, un ulteriore approfondimento è previsto in riferimento ai modelli finalizzati al rilevamento dei danni subiti dal patrimonio culturale costruito a seguito di calamità naturali (D.P.C.M. 23 febbraio 2006), basati sulla riconosciuta propensione degli edifici storici in muratura a danneggiarsi secondo meccanismi ricorrenti. Infine, così come auspicato dalle *Linee Guida*, saranno acquisiti i parametri meccanici dei tipi murari presenti in ambito locale, facendo riferimento, da una parte agli *almanacchi* costituiti, nel corso del tempo, dagli enti di tutela



Cimitero di Fossoli, Carpi (MO)
Fossoli Cemetery, Carpi (MO)

presenti sul territorio e, dall'altra alle tabelle desunte da sperimentazione, da verificarsi – mediante confronto – con i risultati delle prove diagnostiche più o meno distruttive precedentemente eseguite.

Sono proprio le caratteristiche costruttive, tipologiche e morfologiche delle strutture a rappresentare il valore, le potenzialità, ma anche le vulnerabilità stesse del sistema edificio. Sulla base di questa acquisizione l'analisi dei meccanismi di collasso tipici del costruito storico è stata ricondotta in Abachi di grande utilità per la comprensione delle carenze strutturali delle fabbriche. Allo stato attuale, tuttavia, questi esistono solo per Chiese e Palazzi. Durante le fasi di emergenza è, infatti, emersa l'esistenza di tipi edilizi che, per le loro specificità morfologiche e tipologiche, non consentono la diretta applicazione degli strumenti e delle procedure già validate. Per tali tipi, di natura schiettamente specialistica quali *teatri, edifici rurali, complessi cimiteriali, opifici storici, ecc.*, alla prova dei fatti, le rispettive SCHEDA A – CHIESE o SCHEDA B – PALAZZI si sono dimostrate inadatte a trarre una fotografia del danno subito. Si tratta di edifici posti sotto tutela che, in Emilia-Romagna, rappresentano una porzione pari a circa un terzo di tutto il patrimonio culturale danneggiato, numero che nasconde al suo interno una indiscussa potenzialità per allargare il campo delle ricerche già condotte sull'individuazione degli strumenti per l'analisi del costruito storico.



A partire dall'analisi sistematica ed integrata della significativa quantità di dati prodotti a seguito del sisma, con particolare riferimento alla caratterizzazione dei meccanismi di collasso, la ricerca ha come obiettivo la definizione di nuove procedure per l'osservazione del comportamento strutturale del patrimonio culturale costruito.

Sulla base di parametri che saranno definiti e posti a verifica e che dovranno fare riferimento a specifici criteri di rappresentatività e numerosità, in modo da poter definire sotto il profilo tipologico, costruttivo e strutturale ogni insieme di riferimento (a titolo esemplificativo: l'insieme di tutti i complessi

Cimitero di Concordia sulla Secchia (MO)
Concordia sulla Secchia Cemetery (MO)

cimiteriali presenti in Regione), per i diversi *tipi specialistici* saranno individuati e caratterizzati i principali meccanismi di collasso. Successivamente, con il supporto dell'Agenzia per la Ricostruzione – Sisma 2012 saranno acquisite le informazioni disponibili in riferimento ai progetti di miglioramento sismico e rafforzamento locale di tutti gli edifici affini al *tipo specialistico*, presentati alla Commissione congiunta RER-MiBAC per l'iter autorizzativo a valere sul *Programma delle opere pubbliche e dei beni culturali*. L'attenta analisi dello stato di fatto post sisma e la disamina dei meccanismi di collasso riconosciuti dai diversi gruppi di progettazione andranno a costituire una base informativa di

eccezionale rilevanza per la caratterizzazione dei fenomeni ricorrenti. Seguirà la costruzione di un Sistema Informativo, accessibile da piattaforma WebGIS (si fa qui riferimento al lavoro già iniziato dal Segretariato regionale MiBAC con la costituzione del WebGIS del Patrimonio), in grado di esplorare, sovrapporre ed elaborare dati intorno ai potenziali fattori di rischio riferiti al tipo specialistico individuato. Il Sistema Informativo acquisirà sia l'ampia mole di informazioni relative agli elementi di pericolosità (fattori di rischio che riferiscono all'intorno del manufatto), facendo tesoro dell'intensa attività di studio e caratterizzazione legata alla *Microzonazione sismica* segnatamente incentivata dal Servizio Geologico sismico e dei suoli della Regione Emilia-Romagna, sia gli indicatori di vulnerabilità (fattori di rischio intrinseci al tipo di manufatto), consentendo analisi incrociate su base geografica. La gestione integrata del dato, sempre aggiornabile, consentirà interrogazioni specifiche volte a determinare indicatori di rischio a scala individuale (susceptibilità ad un determinato meccanismo di collasso di ciascun manufatto) ed a scala territoriale (susceptibilità ad un determinato meccanismo di collasso dell'intero patrimonio in oggetto). Ancora, da una parte, consentirà analisi di tipo geografico (ad esempio, l'incidenza della distribuzione differenziale della probabilità che si manifesti un particolare

Fienile in stato di crollo a Mirabello (FE)
Collapsed barn in Mirabello (FE)

meccanismo di collasso in un determinato spazio territoriale, in relazione allo specifico livello di rischio – sempre rispetto a quel fenomeno – di tutti i manufatti presenti in tale spazio) e, dall'altra, la produzione di rappresentazioni cartografiche del rischio in relazione ad uno o più meccanismi. A conclusione del percorso di ricerca sarà posta particolare attenzione alle problematiche legate alla gestione delle informazioni, dalla validazione del dato alla condivisione del GIS con particolare riferimento alla descrizione dei metadati che, necessariamente, risponderanno alla direttiva europea INSPIRE.

The series of earthquakes that occurred during 2012 brought out the Emilia-Romagna territory's vulnerability. Particularly important, of the existing damaged built environment, 70% represented – and still represents – the Region's cultural heritage. With the aim of capitalizing the experience gained in the context of post-earthquake management and making use of the European Social Fund, the Region has started verification processes on the activity carried out through focused research paths. In reference to this purpose, the present research path starts from reflection on the regulatory

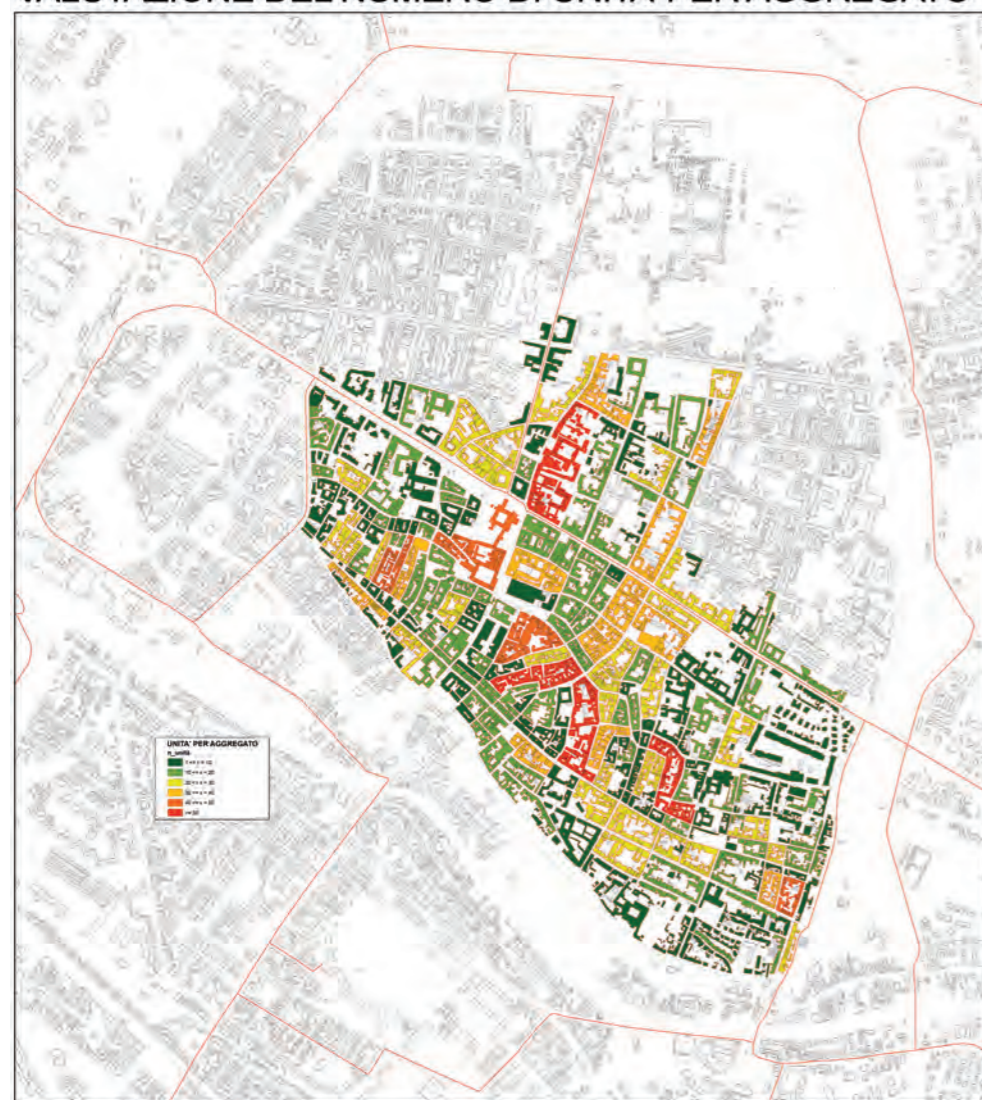
framework that regulates the seismic adaptation and/or improvement actions on the built cultural heritage. Specifically, the methodologies for the qualification of the collapse mechanisms are studied in detail, along with the vulnerability and the possible intervention strategies on historic masonry buildings. Starting from the systematic and integrated analysis of such data, with particular reference to the characterization of collapse mechanism, this research aims to define innovative procedures for observation of the built cultural heritage environment's structural

behavior. For the different specialised types the main collapse mechanisms will be identified and characterized. Then, with the support of the Agenzia per la Ricostruzione (Agency for Reconstruction) – Sisma (Earthquake) 2012, available information will be collected with reference to local seismic improvement and local strengthening projects of all buildings similar to the specialised type identified that have been submitted to the RER-MiBACT Joint Commission authorization procedure for the Program of public works and cultural heritage. The careful analysis of the post-

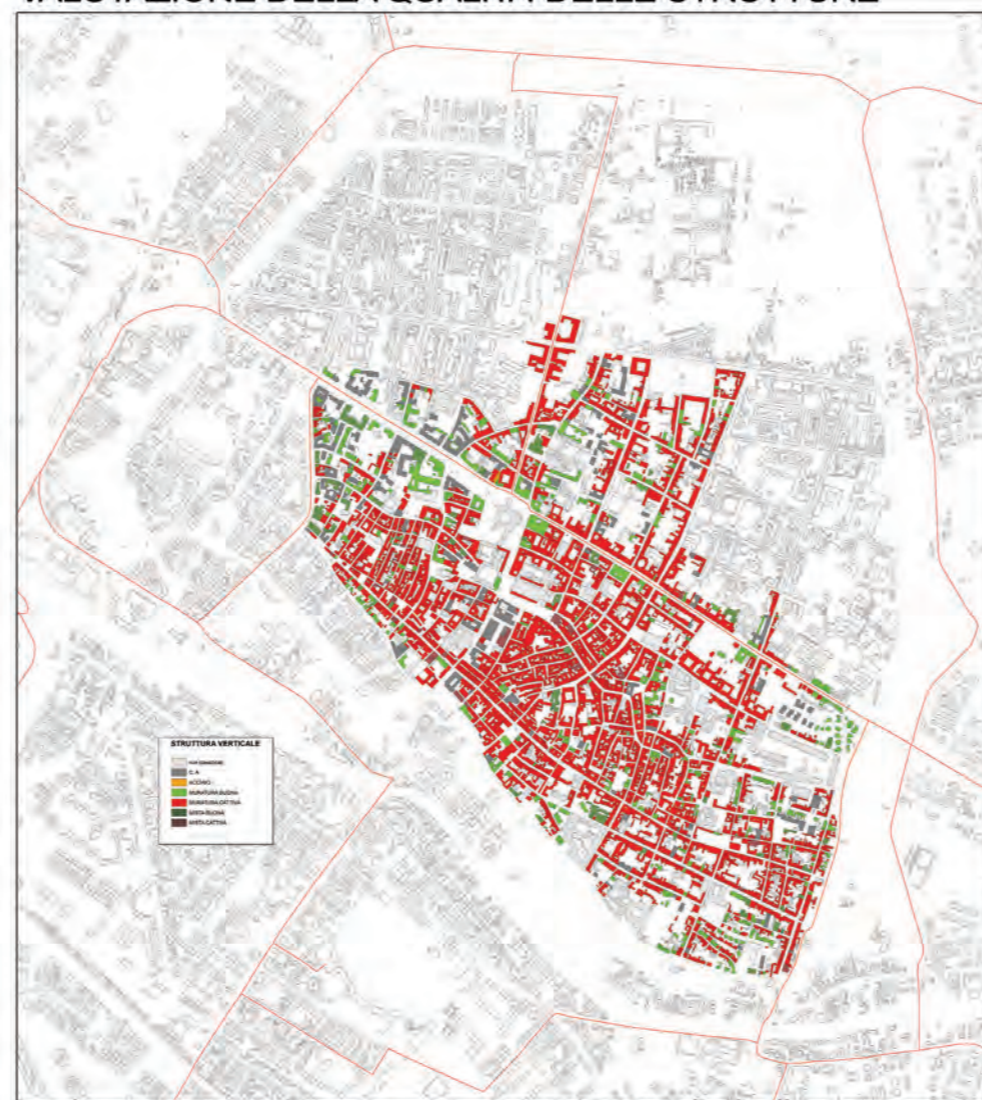
earthquake conditions and the examination of the collapse mechanisms recognized by the various design groups will constitute an information base of exceptional relevance for characterizing recurring phenomena on the specialised type identified. It will follow the creation of an Information system that will be made accessible as WebGIS) platform, able to explore, overlay and process data around potential risk factors to identified assets. The integrated data management will allow ongoing updates, and enables specific queries to determine risk indicators at the individual level (each building's susceptibility to a

given collapse mechanism) and on a territorial scale (susceptibility to a specific collapse mechanism by the entire heritage in question). Furthermore, on one hand, it will allow geographic analysis and, on the other, the production of cartographic risk representations in relation to one or more mechanisms. At the end of the research path, particular attention will be paid to the problems on the problem linked to the information management, data validation and on the GIS structure, with particular reference to the metadata description, which, necessarily, will respond to the European INSPIRE directive.

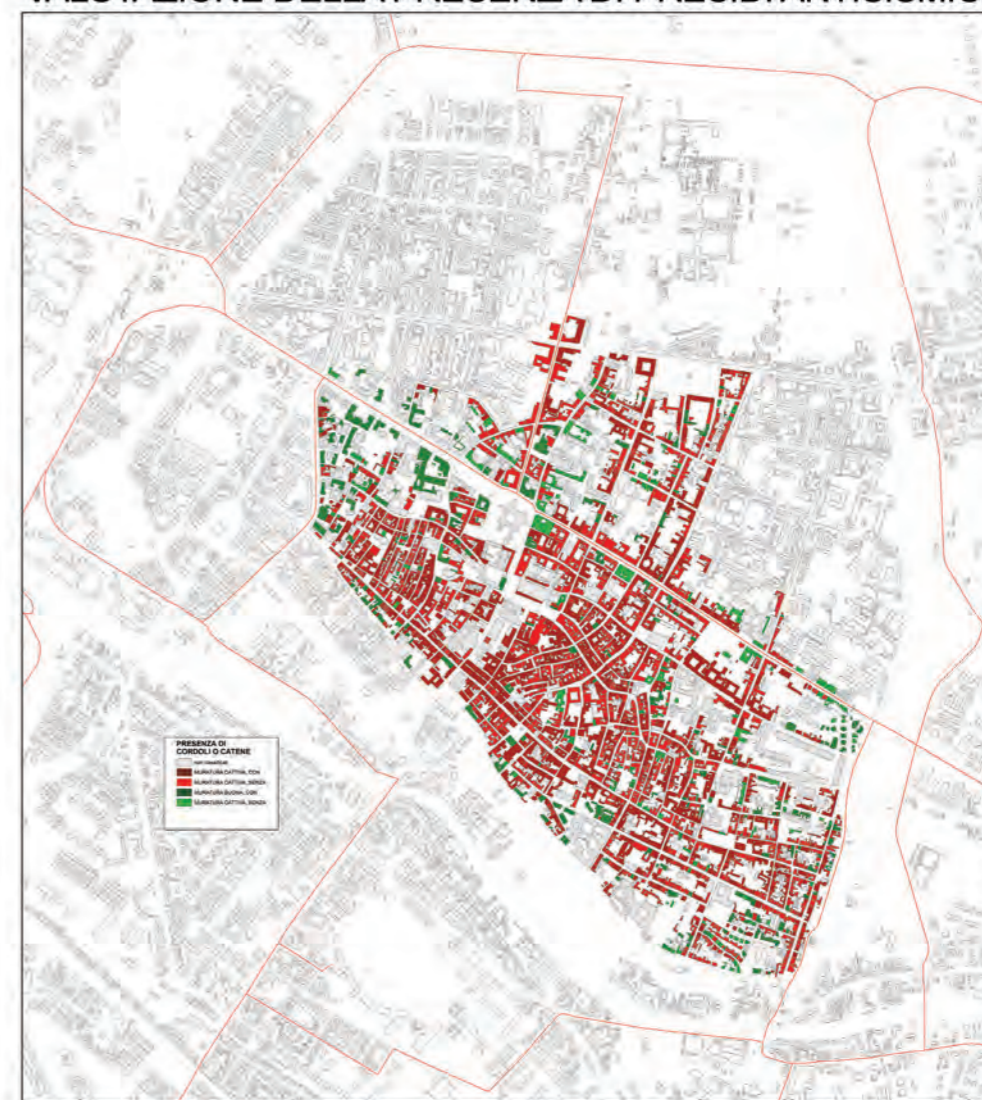
VALUTAZIONE DEL NUMERO DI UNITA' PER AGGREGATO



VALUTAZIONE DELLA QUALITA' DELLE STRUTTURE



VALUTAZIONE DELLA PRESENZA DI PRESIDI ANTISISMICI



Elementi di vulnerabilità

Vulnerability elements

Principali criticità nella gestione del dato

Main critical issues in data management

Marco Zuppiroli
 Architetto PhD; Ricercatore a tempo determinato
 Labo.R.A. – Laboratorio di Restauro Architettonico,
 Dipartimento di Architettura, Università degli studi
 di Ferrara • Architect PhD; fixed-term researcher Labo.R.A. –
 Architectural Restoration Workshop – Department of Architecture,
 University of Ferrara
 marco.zuppiroli@unife.it

Veronica Vona
 Architetto, IDAUP PhD candidate – Dottorato
 Internazionale Architettura e Pianificazione Urbana,
 Labo.R.A. – Laboratorio di Restauro Architettonico,
 Dipartimento di Architettura, Università degli studi
 di Ferrara • Architect IDAUP PhD candidate - International
 Research Doctorate in Architecture and Urban Planning,
 Labo.R.A. – Architectural Restoration Workshop – Department of
 Architecture, University of Ferrara
 veronica.vona@unife.it



IL TERRITORIO EMILIANO DOPO IL SISMA DEL 2012

RESTAURO E TERRITORIO

Il rilievo del danno al patrimonio storico-artistico



IL TERRITORIO EMILIANO DOPO IL SISMA DEL 2012

RESTAURO E TERRITORIO

Il rilievo del danno al patrimonio storico-artistico

Mostra Restauro e territorio: il territorio emiliano dopo il sisma del 2012, Ferrara, "Giornate del Restauro e del Patrimonio Culturale", 28-30 marzo 2019. Rilievo del danno a teatri danneggiati dal sisma con riferimento ai meccanismi individuati nella "Scheda Modello B - Palazzi".

Cimitero Monumentale di Mirandola

Mirandola [Modena]

Denominazione bene: Cimitero Capoluogo
Denominazione storica: Cimitero di Mirandola
Tipologia: cimitero
Pianta: con Cortili

Contesto urbano: area industriale - commerciale
Posizione: isolato
Caratteristiche del sito: in piano
Accessibilità: accesso con mezzi pesanti
Agibilità: inagibile

Num meccanismi possibili: 36
somma dei livelli di attivazione dei meccanismi primari: 20
Id = 0,11

I meccanismi di danno qui sotto rappresentati sono stati scelti tra quelli individuati dal funzionario che, in fase di emergenza, ha compilato la scheda per il bene vincolato. La scheda utilizzata per il Cimitero di Mirandola è la SCHEDA MODELLO B - DP [PALAZZI]. I meccanismi sono stati selezionati in base alla rilevanza del danno subito dalla struttura e le difficoltà dell'operatore (così come segnalato dallo stesso nelle note) ad utilizzare la scheda per il rilievo dei cinematismi visibili.

SCHEDA MODELLO B - DP [PALAZZI]

D.P.C.M 23 Febbraio 2006

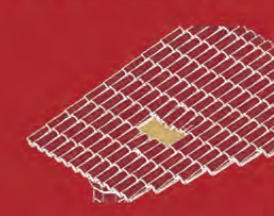
Abaco dei Meccanismi di collasso

Qui di seguito sono riportati i meccanismi di collasso della scheda B-PALAZZI individuati in fase di sopralluogo post emergenza

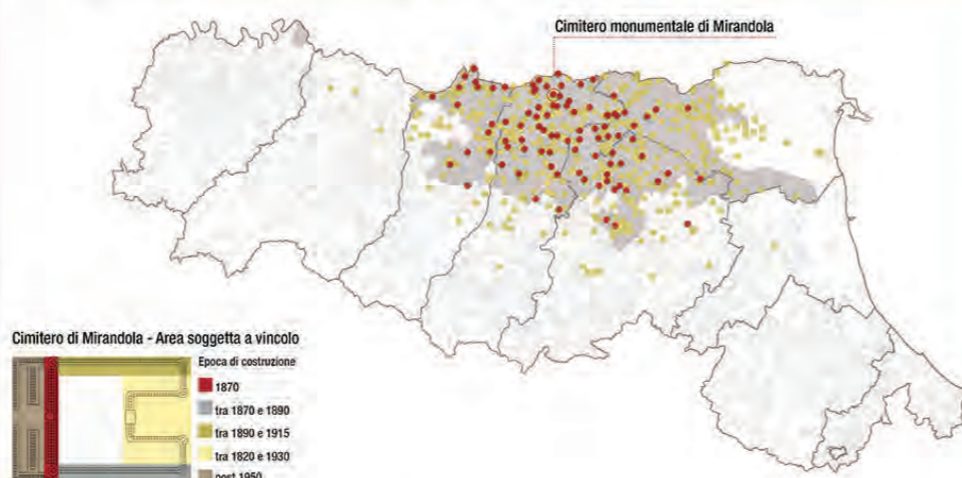
M5. TAGLIO NELLE PARETI ESTERNE: MASCHI



M16. DANNO AL MANTO DI COPERTURA



M9. DANNO AI PORTICATI/LOGGE



ANALISI DEL DANNO - SISMICO

1 - danno lieve 2 - danno moderato 3 - danno grave 4 - danno molto grave 5 - crollo

16 - RIBALTAMENTO DELL'ABSIDE

17 - MECCANISMI DI TAGLIO NELL'ABSIDE

M5

Le lesioni presenti in alcune pareti tra cui nell'abside della Cappella Mortuaria sono state catalogate attraverso la scheda B-PALAZZI come meccanismo di taglio dei maschi murari. Tuttavia la Cappella Mortuaria, con terminazione semicircolare per morfologia è più facilmente catalogabile attraverso i macro elementi della scheda A-CHIESE.

M16

Lo spostamento delle travi di copertura a causa della spinta sismica ha comportato lo scivolamento del manto di copertura.

M9

L'area dove si è verificato il crollo catalogato come M9, DANO AI PORTICATI /LOGGE è quella corrispondente alla seconda fase costruttiva del cimitero : 1870-1890.

La spinta delle travi varesi di copertura, sottoposte a sisma, ha comportato il crollo delle volte non strutturali ed il ribaltamento delle colonne fuori dal proprio piano

AREA DI CROLLO

M9

Il crollo degli elementi decorativi in copertura è stato classificato come danno agli elementi aggettanti/svettanti attraverso la scheda B-PALAZZI. Essa riferisce tale danno a lesioni su oggetti quali terrazze o abbaini. La presenza degli elementi crollati lungo frontoni o elementi caratterizzanti del cimitero rende il meccanismo più facilmente classificabile con la scheda A-CHIESE.

26 - AGGETTI (VELA, GUGLIE, PINACOLI, STATUE)

Chiesa di Sant'Egidio Abate

Cavezzo [Modena]

Denominazione bene: Chiesa di Sant'Egidio Abate
Denominazione storica: Cimitero di Mirandola
Tipologia: chiesa

Contesto urbano: centro storico
Posizione: connessa con altri edifici su 3 lati
Caratteristiche del sito: in piano
Accessibilità: accesso con mezzi pesanti
Agibilità: inagibile

Num meccanismi possibili: 19
Punteggio totale del danno 55
Id = 0,60

STRUMENTI DEL RILIEVO DEL DANNO SISMICO

Il comportamento delle chiese in muratura a seguito di terremoto può essere rappresentato attraverso una serie di meccanismi predefiniti che si manifestano correntemente seppure si tratti di manufatti realizzati in epoche, con tecnologie, dimensioni e forme differenti. Il presente manuale è articolato tenendo conto delle due sezioni in cui è suddivisa la scheda "Modello A - DC". La prima parte contiene l'illustrazione ed i suggerimenti per la corretta compilazione delle parti di carattere generale, mentre la seconda parte contiene schemi grafici e fotografie per aiutare il riconoscimento di tutti i 28 meccanismi di danno.

SCHEDA MODELLO A - DC [CHIESE]

D.P.C.M 23 Febbraio 2006

Abaco dei Meccanismi di collasso

Qui di seguito sono illustrati

1. RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA



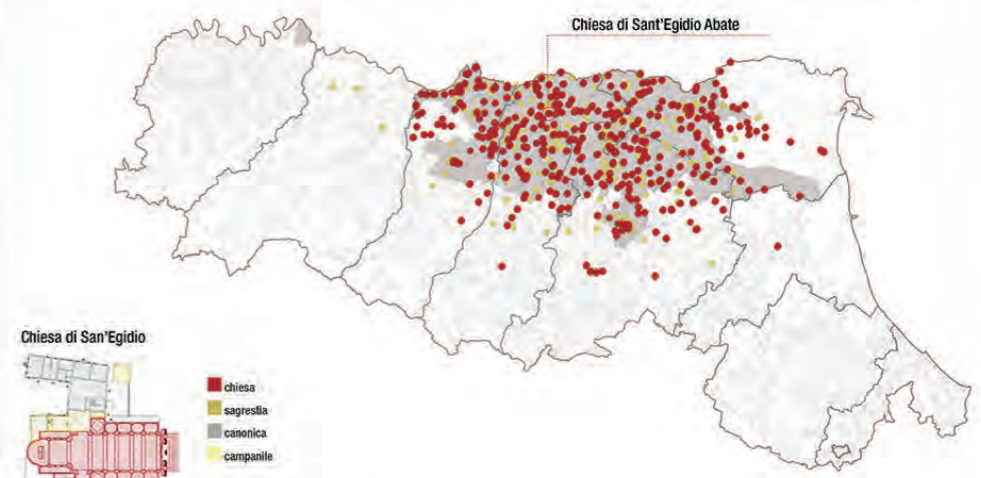
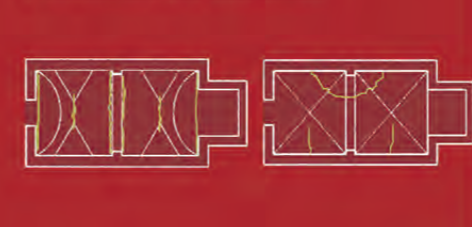
7. RISPOSTA LONGITUDINALE DEL COLONNATO



13 - ARCHI TRIONFALI



8 - VOLTE DELL'AULA O DELLA NAVATA CENTRALE



ANALISI DEL DANNO - SISMICO

1 - danno lieve 2 - danno moderato 3 - danno grave 4 - danno molto grave 5 - crollo

M5

1. RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA

M5

7. RISPOSTA LONGITUDINALE DEL COLONNATO

M13

13 - ARCHI TRIONFALI

M8

8 - VOLTE DELL'AULA O DELLA NAVATA CENTRALE