



## Protocolli di acquisizione e gestione dati per la documentazione, rappresentazione e conservazione del patrimonio culturale danneggiato dal sisma

Protocols of data acquisition and management for Documentation, Representation and Conservation of the Cultural Heritage affected by the earthquake

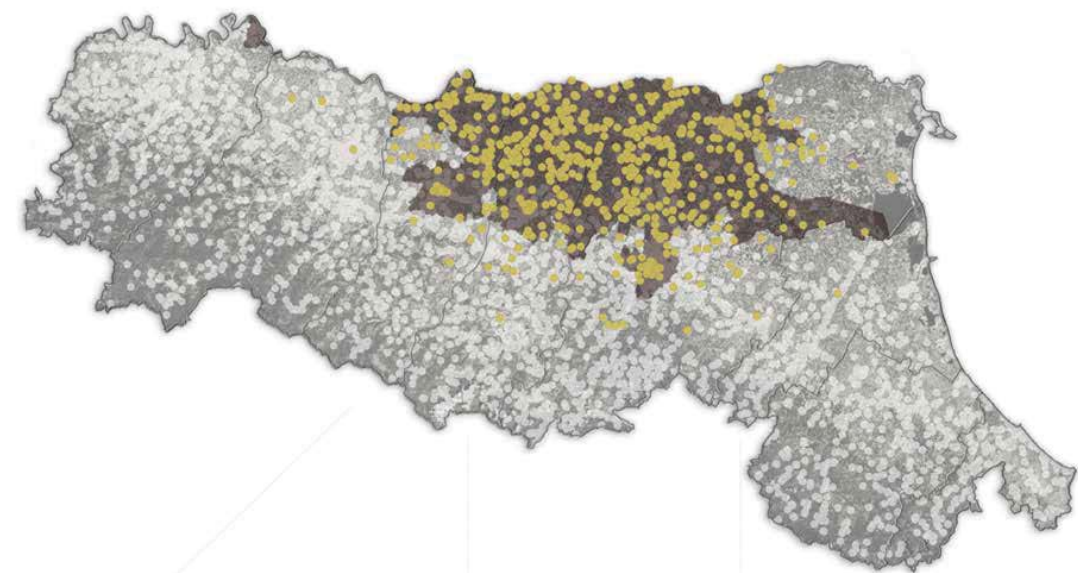
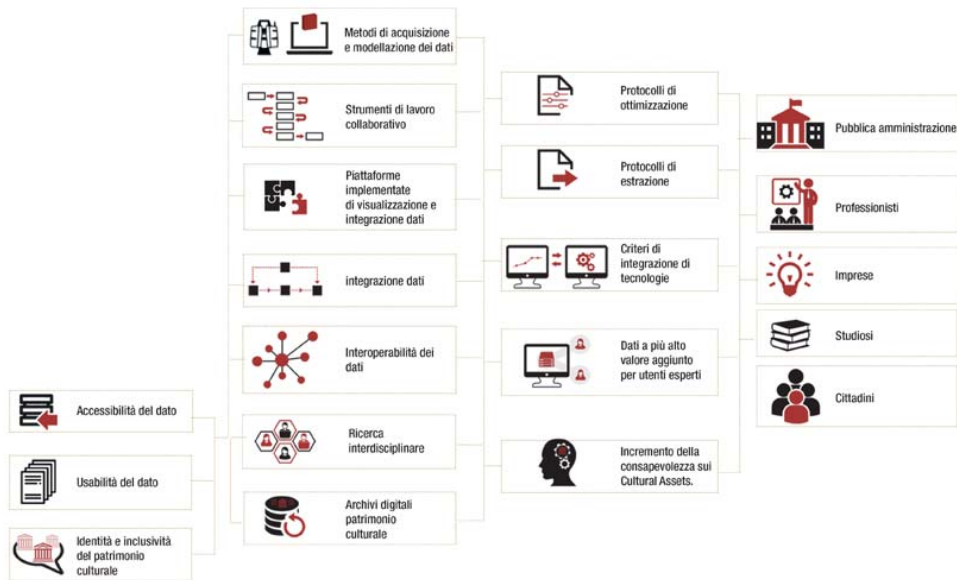
Marcello Balzani  
Fabiana Raco  
Martina Suppa

La vastità del patrimonio culturale danneggiato dal sisma del 2012 in Emilia-Romagna consente oggi, in virtù della disponibilità di tecnologie digitali avanzate, lo sviluppo di protocolli di ottimizzazione per l'estrazione e la condivisione dei dati al fine della definizione di data-base del patrimonio costruito esistente implementabili nel tempo e accessibili da categorie diverse di utenti.

Teatro Borgatti, Cento, Ferrara,  
Italia

Borgatti theatre, Cento, Ferrara,  
Italy

*The availability of advanced ICT and KETs technologies provides the researchers, with reference to the cultural heritage damaged by the earthquake in Emilia-Romagna in 2012, with the opportunity to support the development of inclusive digital platforms in order to facilitate interactions across distinct groups of users.*



Edifici vincolati danneggiati nell'area del cratere Emilia-Romagna 2012  
 Cultural heritage damaged by the earthquake in Emilia-Romagna 2012

L'attuale disponibilità di tecnologie ICT e abilitanti (*Key Enabling Technologies, KETs*) integrate permette di sviluppare protocolli di ottimizzazione e implementazione di archivi digitali del patrimonio costruito esistente al fine di supportare l'accessibilità e l'inclusività dei dati e della conoscenza ad essi associata rispetto a target differenti di utenti: esperti e non esperti. La ricerca *Ottimizzazione delle procedure e applicazione di strumenti digitali integrati per il rilievo del danno sismico del patrimonio culturale e definizione di strumenti a supporto del progetto di riparazione, miglioramento e adeguamento sismico e della valutazione della compatibilità degli interventi* finanziata nell'ambito

Schema metodologico degli obiettivi, aree d'intervento e target di utenti finali del progetto  
 Methodological scheme of project aims, issues and target of users involved in the project

del POR FSE 2014/2020, Obiettivo tematico 10, Regione Emilia-Romagna persegue, con riferimento a tale scenario, l'obiettivo specifico di sviluppare un prototipo di banca dati digitale integrata, attraverso l'applicazione di tecnologie avanzate, (laser scanner 3D, BIM ecc.) a supporto dell'ottimizzazione delle procedure di rilievo del danno sismico, per tipologie specifiche quali, in particolare, teatri, complessi cimiteriali monumentali, centri storici minori, al fine di favorire processi decisionali basati sull'analisi di dati e metadati. L'ingente quantità di dati relativi al sisma emiliano del 2012 prodotti nelle fasi di gestione dell'emergenza prima e di avvio delle fasi di

ricostruzione poi consente infatti, anche con riferimento unicamente al patrimonio culturale danneggiato che rappresenta oltre il 70% del patrimonio tutelato regionale, di individuare i criteri e i livelli di ottimizzazione correlati alle fasi di acquisizione, estrazione e elaborazione dei dati in rapporto ai fabbisogni informativi dei diversi soggetti pubblici e privati che intervengono nei processi attuativi di tutela e gestione del territorio.

Gli strumenti attualmente in adozione per il rilievo del danno quali il *Modello scheda Palazzi* e il *Modello scheda Chiese* non consentono, per la natura stessa delle condizioni di operatività ad essi correlati, di documentare e rappresentare la "memoria geometrica" dei manufatti colpiti da eventi sismici. Nel contesto del patrimonio culturale, anche diffuso, tale "memoria" delle caratteristiche morfometriche oltre che materiche connesse alle diverse fasi di trasformazione della fabbrica è essenziale per la definizione di interventi, anche di messa in sicurezza, compatibili con il patrimonio costruito esistente. Allo stesso modo la documentazione non strettamente limitata ai meccanismi di collasso, ove riconducibili agli strumenti di analisi in uso, bensì alla stratificazione degli interventi nel tempo consente lo sviluppo di più adeguati e efficaci protocolli a supporto del successivo progetto di riparazione, miglioramento e adeguamento sismico.

Gli strumenti di rilievo del danno in uso, come previsti dalla normativa, risultano per diversi aspetti inadeguati se correlati al quadro di obiettivi descritto così come alle diverse finalità e scale del rilievo connesse alla gestione del rischio nel settore dei beni culturali. Una efficace e ottimizzata progettazione della fase di acquisizione dei dati non può essere demandata, ovviamente, alla fase di emergenza propriamente detta, così come una efficace valutazione dell'impatto di errori strumentali o connessi a condizioni ambientali o di esecuzione. In un'ottica di implementazione e sviluppo di piattaforme digitali già in uso - WebGIS del Patrimonio culturale RER, Moka, Geoportale nazionale sisma- a

The research path "Development of optimization of procedures and application of integrated digital tools for the seismic damage assessment of cultural heritage; definition of tools to support earthquake risk reduction in buildings and investigation for the compatibility of interventions", is funded under the "Three-year High Skills Plan for Research, Technology Transfer and Entrepreneurship" - OP ESF 2014/2020 Thematic Objective 10. The project is entirely financed by the Emilia Romagna Region. The project aim is the

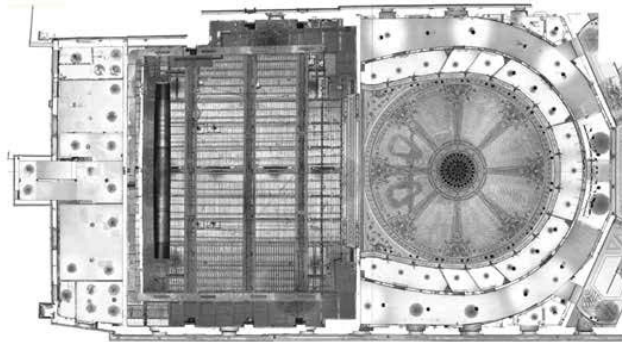
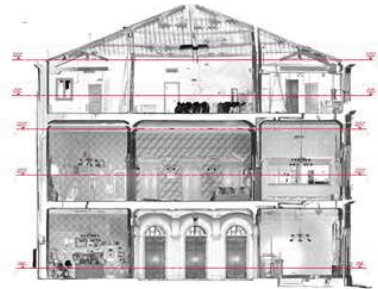
development of an integrated digital platform prototype, through the application of advanced technologies (such as 3D laser scanner, BIM etc.) in order to support the optimization of seismic damage detection procedures. The research path takes into account specific building typologies such as in particular, theatres, monumental cemetery complexes, minor historical city centres, in order to allow policy makers with more effective decision-making tools and procedures, based on data and metadata. Definitely, in the context

of seismic vulnerability assessment both methodology and tools provided by the Italian law showed, after the events in Emilia-Romagna Region in 2012, lacks with reference to some aspects such as: lack of specific survey tools for theatres and monumental cemetery complexes; inadequacy of "Scheda palazzi" and "Scheda chiese" in order to describe the "memory" of morphometric characteristics as well as of materials linked to the different stages of transformation of the factory. In fact, the documentation of the historical transformations

of cultural heritage not strictly limited to the collapse mechanisms, where they can be traced back to the analytical tools in use, could allow, with reference to the stratification of the interventions over time, the development of more adequate and effective protocols to support the subsequent seismic repair and adaptation project. The overall needs related with this scenario, with reference to all the actors and stakeholders involved, determine the boundaries conditions for the development of integrated digital platforms

and collaborative database for the documentation, analysis, sharing, extraction and implementation of data for cultural assets risk management.





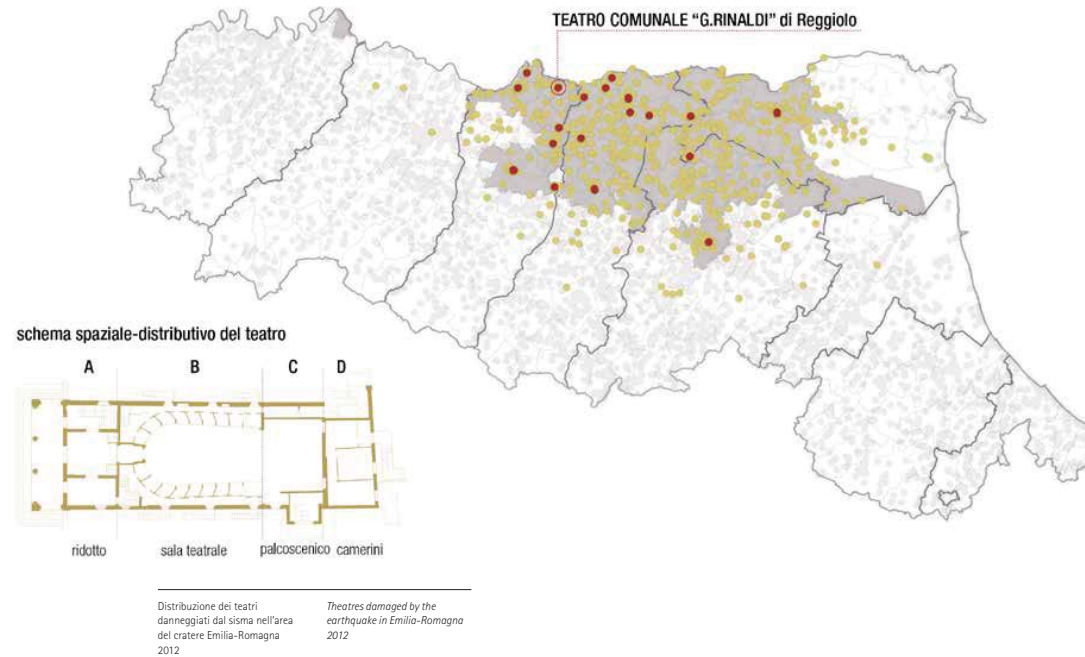
supporto dello sviluppo di protocolli per la gestione ordinaria del rischio connesso al patrimonio culturale la fase di acquisizione dei dati riveste inoltre un ruolo centrale al fine di favorire il conseguimento di obiettivi di: accessibilità del dato; usabilità del dato; identità e inclusività del patrimonio culturale. Conseguentemente gli ambiti di sperimentazione risultano: i metodi di acquisizione e modellazione dei dati; gli strumenti di lavoro collaborativo; le piattaforme implementate di visualizzazione e integrazione dati; le problematiche connesse all'interoperabilità dei dati; l'ottimizzazione di protocolli per la ricerca interdisciplinare; lo sviluppo di archivi digitali del patrimonio culturale. Ciascun ambito è infine indagato all'interno del percorso di ricerca con riferimento a target diversi di utenti e user finali quali: pubblica amministrazione; professionisti; imprese; studiosi, cittadini. La ricerca è sviluppata all'interno del dottorato internazionale IDAUP - *International Doctorate Architecture and Urban Planning 34th Cycle* ed è finanziata nell'ambito del piano triennale alte competenze per la ricerca, il trasferimento tecnologico e l'imprenditorialità della Regione Emilia-Romagna. In tale contesto il partenariato di ricerca include, oltre al Laboratorio di ricerca industriale TekneHub, al centro di ricerca DIAPReM e al Dipartimento di Architettura dell'Università

Rilievo tridimensionale laser scanner del Teatro Borgatti di Mirandola, Modena, Italy realizzato nell'ambito della convenzione tra Politecnica, Ingegneria e Architettura e CFR, Consorzio Futuro in Ricerca, Responsabile scientifico Prof. Marcello Balzani, 2018

Borgatti theatre: 3D laser scanner survey financed under the grant between Politecnica, Ingegneria e Architettura and CFR, Consorzio Futuro in Ricerca. Scientific Responsible, Prof. Marcello Balzani, 2018

degli Studi di Ferrara, l'Agenzia per la Ricostruzione regionale - Sisma 2012, il MiBAC, Soprintendenza Archeologia, belle arti e paesaggio per la città metropolitana di Bologna e le province di Modena, Reggio Emilia e Ferrara e l'Associazione Clust-ER Edilizia e Costruzioni della Rete Alta Tecnologia dell'Emilia-Romagna, associazione PP alla quale aderiscono attualmente oltre settanta soggetti tra imprese e centri di ricerca. Tale rete di partner e stakeholder si inserisce nell'ambito degli obiettivi strategici della Strategia di Specializzazione Intelligente S3 della Regione Emilia-Romagna, con particolare riferimento alle tematiche dello sviluppo di:

- 1 - nuove tecnologie diagnostiche e ottimizzazione delle tecnologie disponibili per l'indagine storica, conoscitiva in situ e per l'acquisizione speditiva dei dati;
- 2 - strumenti e tecnologie per la valutazione del rischio sismico alla scala dell'aggregato edilizio e urbano;
- 3 - banche dati accessibili di documentazione del ciclo di vita del costruito (BIM per la gestione della conoscenza dei materiali e delle tecnologie, del progetto, della fase di gestione e fine vita dell'opera). Tali obiettivi specifici si inseriscono nell'obiettivo generale di contribuire al rafforzamento, con riferimento agli ecosistemi della ricerca, delle imprese

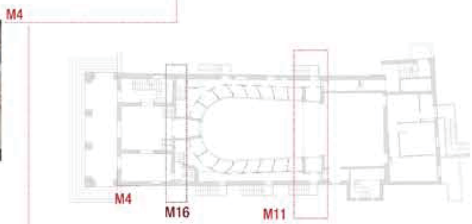


## ANALISI DEL DANNO - SISMICO

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



in angolo è possibile identificare il cinematismo di ribaltamento del cantile dovuto all'azione sismica. Lesioni passanti con leggeri spostamenti fuori piano delle murature, sono presenti lesioni da taglio lungo gli architravi delle aperute.



M11



Il quadro delle lesioni si presenta complesso. Le azioni del sisma si sono manifestate con effetti deleteri sulle componenti maggiormente vulnerabili e di pregio. Si rilevano lesioni di diverso grado sulle murature del boccascena, con parziali crolli di intonaci e di elementi lapidei decarati, lacerazioni e frammentazioni degli strati di rivestimento dell'incannucciato della volta. Si presenta una lesione continua con rigonfiamento delle pellicole pittoriche affrescate su tutta la volta in corrispondenza della trave superiore di una capriata.



M16



crollò del manto di copertura in latero cemento (intervento degli ultimi decenni) nel corpo fabbrica di testata. Questi elementi sotto l'azione sismica hanno dato luogo a martellamenti con le strutture circostanti, comportando gravi lesioni nel prospetto sud - ridotto- e sul cornicione del frontone

Valutazione del danno sismico e relazione con gli strumenti e le procedure di rilievo metrico morfologico

Seismic damage assessment and relationship with tools and procedures for morphological survey



Lesioni passanti con leggeri spostamenti fuori piano delle murature, sono presenti lesioni da taglio lungo le murature esterne dell'aula del teatro (Corpo B e C).



Prospetto nord



Prospetto sud



e delle persone, dell'efficienza delle attività di ricerca e di innovazione tecnologica, nonché alla competitività delle catene del valore e dell'organizzazione dei servizi post produttivi e di specializzazione dei saperi.

In un'ottica di sviluppo di archivi digitali del patrimonio costruito esistente, il partenariato garantisce infatti: la coerenza tra i risultati della ricerca e la strategia di specializzazione intelligente della regione Emilia-Romagna, nella quale la ricerca si colloca; il coinvolgimento contestuale e all'interno di tavoli di lavoro congiunti dei sistemi della ricerca, delle imprese e delle persone (professionisti); la coerenza tra gli output e il quadro dei fabbisogni, anche legato all'uso e all'implementazione delle tecnologie per la gestione dei dati.

**Marcello Balzani**  
Architetto, Professore Ordinario in Disegno,  
Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di  
Ferrara • Architect, Full Professor in Drawings, Department of  
Architecture, University of Ferrara  
marcello.balzani@unife.it

**Fabiana Raco**  
Architetto, PhD, Laboratorio di ricerca industriale  
TekneHub, Università degli Studi di Ferrara • Architect,  
PhD, TekneHub industrial research laboratory, University of Ferrara  
fabiana.raco@unife.it

**Martina Suppa**  
Dottoranda, IDAUP – Dottorato Internazionale  
Architettura & Pianificazione Urbana 34° ciclo,  
Università degli Studi di Ferrara • PhD candidate, IDAUP  
– International Doctorate Architecture and Urban Planning 34th  
Cycle, University of Ferrara  
martina.suppa@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 al patrimonio monumentale storico artistico: tipologia "Castelli".

### PINACOTECA DI CENTO

Comune di Cento (FE)  
 Denominazione bene: Pinacoteca civica "Il Guercino"  
 Denominazione attuale: -  
 Tipologia palazzo  
 Pianta: non regolare, a L; presenza di porticali; disposizioni aperture regolare  
 Destinazione d'uso: museo  
 Contesto urbano: centro storico  
 Posizione: connesso ad altri edifici  
 Caratteristiche del sito: in piano  
 Accessibilità: buona  
 Agibilità: -

### STRUMENTI DEL RILIEVO DEL DANNO SISMICO

La scheda MODELLO B - DP è indirizzata al rilievo del danno dei palazzi. I MECCANISMI DI COLLASSO STRUTTURALE: secondo la classificazione riportata nella scheda che propone 22 meccanismi ripartiti tra i diversi elementi strutturali identificati nel palazzo. Per ogni meccanismo riconosciuto nel palazzo viene compilata una riga della tabella indicando l'identificativo del meccanismo riscontrato (da M1 a M22) e la localizzazione del meccanismo secondo il codice relativo all'area (A) e agli eventuali elementi verticali (PE, PI, CSI, CA) e orizzontali (O, P, CO) interessati. Per tutti i meccanismi individuati deve essere indicato il livello di attivazione e la eventuale preesistenza del meccanismo (già nonché il rischio apportato dal meccanismo in relazione all'agibilità (basso, basso con provvedimenti, alto). Il livello di attivazione dovrà essere graduato su cinque livelli (assente; lieve; moderato; gravemente; crollo).

SCHEDA MODELLO B - DP [PALAZZI] Id= 0,39  
 D.P.C.M 23 Febbraio 2006

Abaco dei Meccanismi di collasso.

I 22 meccanismi di danno presenti nella scheda, caratteristici per i palazzi permettono di descrivere i danni subiti dall'intero complesso, attraverso la suddivisione della fabbrica in macro-elementi.

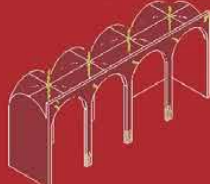
M5. taglio nelle pareti esterne: macchi



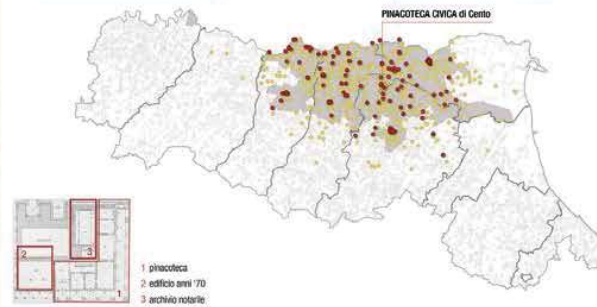
M7. taglio nelle pareti interne



M9. danno ai porticali / logge



M13. danno alle volte per deformazione di piano



### ANALISI DEL DANNO - SISMICO

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



### TEATRO NUOVO

Mirandola [MO]

Denominazione bene: Teatro Nuovo di Mirandola  
 Denominazione storica: -  
 Tipologia: Teatro  
 Pianta: regolare; rettangolare allungata; presenza di porticali, atrio e terrazze  
 Proprietà: Pubblica  
 Contesto urbano: centro storico  
 Posizione: isolato  
 Caratteristiche del sito: in piano  
 Accessibilità: buona  
 Agibilità: inagibile

La tipologia architettonica dei Teatri si articola prevalentemente in tre corpi che possono essere identificati in:  
 - Il macrocorpo (A) - ambiente del teatro;  
 - L'aula (B - C) - ambienti della sala teatrale e palcoscenico;  
 - Il blocco camerini (D).  
 Questo schema spaziale per i Teatri permette di analizzare il danno sismico suddividendo i corpi A e B e D in meccanismi di collasso presenti nella scheda Modello B - DP [Palazzi] e il corpo centrale (B - C) al comportamento dall'aula della chiesa - scheda Modello A - DC [Chiese].

Id=0,69

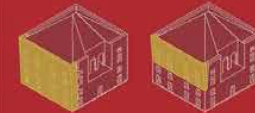
### SCHEDA MODELLO B - DP [PALAZZI]

D.P.C.M 23 Febbraio 2006

Abaco dei Meccanismi di collasso

I 22 meccanismi di danno presenti nella scheda, caratteristici per i palazzi permettono di descrivere i danni subiti dall'intero complesso, attraverso la suddivisione della fabbrica in macro-elementi.

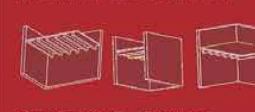
M1. ribaltamento della facciata



M4. ribaltamento del cantonale



M10. sfaldamento della testa delle travi e/o mantenimento



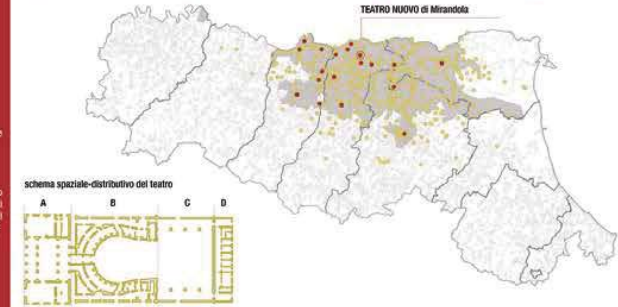
### SCHEDA MODELLO A - DC [CHIESE]

D.P.C.M 23 Febbraio 2006

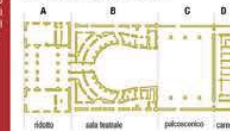
Abaco dei Meccanismi di collasso

I 28 meccanismi di danno presenti nella scheda, caratteristici per le chiese, permettono di descrivere i danni subiti dall'intero complesso, attraverso la suddivisione della fabbrica in macro-elementi.

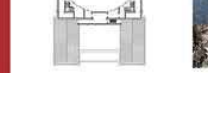
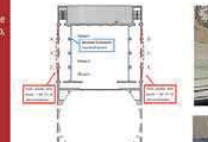
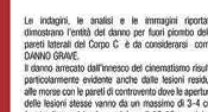
13 archi tondi



### schema spaziale-distributivo del teatro



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



La struttura in muratura presenta geometrie e caratteristiche costruttive tali da evidenziare vulnerabilità all'innescarsi di meccanismi locali di collasso attivati dalle forze sismiche. Lo stesso stato di danno riscontrato nelle varie parti del Corpo C e del Corpo D consente l'individuazione di diversi meccanismi cromatici responsabili delle lesioni; in particolare, sono stati individuati alcuni profili murari "robotti" in corrispondenza dei quali sono stati analizzati il ribaltamento di parete multiple e singola ed il cernieramento di rottura per flessione.

