



UNIVERSITÀ DI PARMA

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PARMA

DOTTORATO DI RICERCA IN
"Ingegneria Civile e Architettura"

CICLO XXXIV

**Architetture fortificate emiliane colpite dal sisma del 2012.
Dall'analisi dei meccanismi di dissesto alla definizione di strumenti per il
rilievo speditivo e per la prevenzione delle vulnerabilità**

*Fortified architectures in Emilia affected by the 2012 earthquake.
From the analysis of damage mechanisms to the design of tools for the emergency
phase survey and for the prevention of vulnerabilities*

Coordinatore:
Chiar.mo Prof. Sandro Longo

Tutore:
Prof.ssa Eva Coisson
Co-tutori:
Prof. Daniele Ferretti
Arch. Antonino Libro

Dottoranda: Elena Zanazzi

Anni Accademici 2018/2019 – 2020/2021

INDICE

ABSTRACT	8
INTRODUZIONE	15
Oggetto e struttura della tesi	15
Metodologia e Strumenti proposti.....	18
PARTE I EMILIA: SISMA 2012 E ARCHITETTURE FORTIFICATE	23
CAPITOLO 1	
EMILIA 2012: TERREMOTO E GESTIONE DELL'EMERGENZA PER I BENI CULTURALI	25
1.1 Sismicità storica in Pianura Padana	25
1.1.1 <i>Terremoto del 1117 nel veronese</i>	25
1.1.2 <i>Terremoto del 1570-74 a Ferrara</i>	25
1.1.3 <i>Terremoto del 1624 ad Argenta</i>	26
1.1.4 <i>Eventi sismici recenti</i>	27
1.2 Sisma emiliano del 2012	28
1.2.1 <i>La sequenza sismica: 20 e 29 maggio 2012</i>	28
1.2.2 <i>Shakemaps</i>	29
1.2.3 <i>Inquadramento dell'area di indagine</i>	30
1.3 In tempo di guerra: gestione dell'emergenza post sisma	31
1.4 In tempo di pace: gestione della ricostruzione	32
1.5 Schede per il rilievo del danno ai Beni Culturali	33
1.5.1 <i>Modello A: chiese</i>	34
1.5.2 <i>Modello B: palazzi</i>	37
CAPITOLO 2	
ARCHITETTURE FORTIFICATE EMILIANE	41
2.1 Definizione della tipologia oggetto di studio.....	41
2.2 L'evoluzione delle fortificazioni in Emilia Romagna: tipologia e materiali....	42
2.2.1 <i>Le origini</i>	43
2.2.2 <i>Dal XIII al XIV secolo</i>	45
2.2.3 <i>XIV secolo e l'avvio del periodo di transizione</i>	47

2.2.4	<i>Restauri in stile</i>	51
2.2.5	<i>Restauri del XX secolo</i>	53
2.3	Le parti del complesso castellano: dialogo tra difesa e offesa.....	58
2.3.1	<i>Beni componenti: evoluzione e caratteri costruttivi</i>	58
2.3.2	<i>Macro-elementi caratterizzanti: evoluzione e caratteri costruttivi</i>	65
2.4	Le architetture fortificate emiliane danneggiate dal sisma del 2012.....	73
PARTE II STRUMENTI		79
CAPITOLO 3		
VULNERABILITÀ E MECCANISMI DI DANNO: DEFINIZIONE DI UN ABACO SPECIFICO		81
3.1	Muratura.....	86
3.1.1	<i>Disgregazione</i>	87
3.1.2	<i>Delaminazione</i>	88
3.1.3	<i>Collapsi locali per irregolarità costruttive e del materiale</i>	89
3.2	Mura di cinta	90
3.2.1	<i>Ribaltamento fuori dal piano della cortina muraria</i>	90
3.2.2	<i>Rottura a flessione orizzontale della cortina muraria</i>	91
3.2.3	<i>Meccanismo a taglio nel piano della cortina muraria</i>	92
3.2.4	<i>Spinte del terreno o cedimento del terrapieno</i>	93
3.3	Torre	94
3.3.1	<i>Meccanismo a flessione della torre</i>	94
3.3.2	<i>Meccanismi a taglio</i>	95
3.3.3	<i>Cinematismi della parte sommitale</i>	97
3.4	Palazzo	99
3.4.1	<i>Meccanismi a ribaltamento fuori dal piano</i>	99
3.4.2	<i>Meccanismi a taglio</i>	104
3.4.3	<i>Scorrimento di piano</i>	106
3.4.4	<i>Danno a logge/porticati</i>	106
3.4.5	<i>Danno per irregolarità di forma</i>	107
3.5	Meccanismi di danno comuni a tutti e tre i beni componenti	108
3.5.1	<i>Danni agli elementi orizzontali</i>	108

3.5.2	<i>Danno alle scale</i>	112
3.5.3	<i>Danni ai corpi addossati (casematte)</i>	113
3.5.4	<i>Cedimento di fondazione</i>	114
3.5.5	<i>Danno agli elementi aggettanti/svettanti</i>	115
3.5.6	<i>Merli</i>	116
3.5.7	<i>Beccatelli</i>	118
3.6	Riepilogo dei meccanismi di danno illustrati.....	120

CAPITOLO 4

SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO AI BENI CULTURALI: DALL'ANALISI DEGLI STRUMENTI ESISTENTI ALLE NUOVE PROPOSTE.....123

4.1	Analisi delle Schede di Rilievo del Danno: problematiche emerse a valle del sisma del 2012	123
4.1.1	<i>Redazione di più schede di rilievo del danno per un singolo bene complesso</i>	124
4.1.2	<i>Difficoltà di reperimento dei dati e degli elaborati grafici in fase emergenziale</i>	125
4.1.3	<i>Censire meccanismi tipici delle architetture fortificate con la scheda Palazzi</i>	127
4.1.4	<i>Errori di compilazione e possibili soluzioni</i>	128
4.1.5	<i>Analisi degli indici di danno e delle valutazioni economiche</i>	129
4.2	Proposta per una Scheda di Rilievo del Danno specifica per le Architetture Fortificate	132
4.2.1	<i>La necessità di una scheda ah hoc per le architetture fortificate</i>	132
4.2.2	<i>Struttura di una possibile scheda per le architetture fortificate</i>	134
4.3	Manuale di compilazione della Scheda di Rilievo del Danno alle architetture fortificate	151

CAPITOLO 5

UN GEODATABASE GIS PER LA PREVENZIONE DEL RISCHIO SISMICO A SCALA TERRITORIALE

5.1	Cos'è un GIS.....	153
5.2	Database GIS applicati all'ambito dei Beni culturali.....	154
5.3	L'esperienza del sisma del 2012: quando la catalogazione sistematica e georeferenziata del patrimonio costruito diviene necessità.....	156

5.4	Un database GIS per le architetture fortificate	159
5.4.1	<i>Metodologia predittiva</i>	159
5.4.2	<i>Fasi di progettazione</i>	160
5.4.3	<i>Definizione dei confini d'indagine</i>	161
5.4.4	<i>Acquisizione dei dati già informatizzati</i>	161
5.4.5	<i>Progettazione del database e prima elaborazione dei dati</i>	163
5.4.6	<i>Raccolta e organizzazione del materiale</i>	165
5.4.7	<i>Popolamento e gestione della banca dati</i>	182
5.5	Interrogazione del database e prodotti di output	182
5.5.1	<i>Interrogazioni di tipo spaziale</i>	182
5.5.2	<i>Interrogazioni di tipo tabellare per le Mura di cinta</i>	185
5.5.3	<i>Interrogazioni di tipo tabellare per le Torri</i>	187
5.5.4	<i>Interrogazioni di tipo tabellare per i Palazzi</i>	191
5.5.5	<i>Interrogazioni di tipo tabellare per i Merli</i>	192
5.6	Curve di fragilità	193
5.7	Applicazione della metodologia predittiva all'area della Provincia di Parma	198
CONCLUSIONI		208
6.1	Risultati ottenuti	208
6.2	Prospettive future	209
RIFERIMENTI		212
PARTE III ALLEGATI		227
Allegato 1		229
Allegato 2		277
Allegato 3		317
Allegato 4		419

ABSTRACT

Il terremoto del 2012 che ha colpito il territorio dell'Emilia-Romagna ha ancora una volta evidenziato la vulnerabilità del patrimonio culturale. Conclusa la fase di emergenza, è oggi doveroso cercare di trarre quante più conoscenze possibili da questo terremoto e dai suoi effetti sulle strutture storiche, nell'ottica di progettare strumenti adeguati non solo per la fase emergenziale, ma anche e soprattutto per la prevenzione del rischio sismico futuro.

La Tesi elaborata verte sull'analisi dei meccanismi tipici e ricorrenti di danno sismico delle architetture fortificate emiliane, assunte come esempio paradigmatico della vulnerabilità delle strutture storiche in muratura. In particolare ci si è concentrati sullo studio di quei complessi fortificati, realizzati prevalentemente tra il X e il XV secolo, aventi caratteri costruttivi e morfologici comuni, in quanto generalmente caratterizzati dalla presenza di corpi palaziali, torri, mura di cinta e apparati a sporgere, ciascuno contraddistinto da propri specifici cinematismi. Nello specifico ci si è focalizzati su 21 architetture fortificate emiliane danneggiate dal sisma del 2012.

Questa ricerca, in una prima fase, ha affrontato lo studio degli strumenti schedografici adottati per il rilievo speditivo in fase emergenziale dei beni architettonici tutelati, con particolare attenzione per quelli redatti per i complessi fortificati a valle del terremoto del 2012; l'analisi della letteratura nel campo della classificazione dei meccanismi di danno per la tipologia in esame e la raccolta delle informazioni relative ai 21 casi di studio, tramite i dati provenienti dai *database open source* e dalla ricerca d'archivio.

Nella seconda parte vengono proposti tre possibili strumenti operativi per il rilievo, la previsione e quindi la prevenzione del danno: i primi due, che si integrano vicendevolmente, da adottare in tempo di guerra ossia in fase emergenziale; il terzo pensato per la gestione corrente dei beni e la previsione del danno, in tempo di pace. Il primo: un abaco dei meccanismi di danno tipici e ricorrenti dei macro-elementi individuati per le architetture fortificate, per la conoscenza della variegata casistica dei possibili danneggiamenti e il riconoscimento degli stessi fin dalle fasi iniziali. Alla luce delle difficoltà emerse nell'incasellare le peculiarità delle architetture fortificate in strumenti schedografici ideati per un'altra tipologia (Scheda Palazzi Modello B-DP), è stato proposto un secondo strumento: una scheda di rilievo del danno *ad hoc* per la tipologia oggetto di studio, per un rilievo più celere e corretto in fase emergenziale dei meccanismi e come potenziale strumento di conoscenza anche nella fase pre-sisma. Il terzo: un database GIS per le architetture fortificate emiliane, progettato con un approccio proattivo, per la previsione delle vulnerabilità delle architetture fortificate su scala territoriale, funzionale all'individuazione degli interventi più urgenti e prioritari, consentendo potenzialmente di stilare un programma di manutenzione programmata.

In particolare è stato possibile verificare la sussistenza a livello statistico di correlazioni tra caratteri costruttivi e insorgenza di meccanismi di dissesto.

Inoltre il database GIS progettato, agevolando il confronto tra dati relativi al danno subito con l'azione sismica di sito, tramite le *shakemaps* prodotte dall'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), ha consentito la definizione di curve di fragilità, che rappresentano il punto di svolta dalla conoscenza alla previsione, in quanto rappresentative del danno atteso, in funzione dell'azione sismica, per i diversi macro-elementi precedentemente individuati.

Infine per verificare la metodologia predittiva adottata, questa è stata applicata all'area della Provincia di Parma, al di fuori del cratere sismico, in modo da individuare le vulnerabilità presenti sul territorio ed agire in maniera preventiva, cioè prima che si manifesti il danno. Tale metodologia ha quindi il doppio vantaggio di ottimizzare la gestione delle risorse economiche, spesso limitate, e di consentire la conservazione materiale del patrimonio costruito evitando di operare nell'emergenza e puntando invece alla definizione di strategie programmate di tutela dei beni culturali su larga scala.

ABSTRACT

The earthquake that affected the Emilia-Romagna Region in 2012 has highlighted, once again, the vulnerability of our cultural heritage. After the end of the emergency phase, it is now necessary to learn as much as possible from this earthquake and from its effects on historical structures, in order to design suitable tools, not only for the emergency phase, but also, and foremost, for the prevention of future seismic risk.

The Thesis focuses on the analysis of typical and recurrent seismic damage mechanisms of fortified architectures, in the Emilia region, which can be as a paradigmatic example of the vulnerability of historic masonry structures. Specifically, the research study analysed fortified structures built mainly between the 10th and 15th century which have in common morphological and construction features. Indeed, these architectures are usually formed by fortified residences, towers, curtain walls and several protruding elements, each of them characterized by its own specific kinematic behaviour. In particular, the research focuses on 21 fortified architectures damaged by the 2012 Emilia earthquake.

This thesis, in the first section, deals with the analysis of the damage assessment inventory sheets adopted during the emergency phase survey of heritage listed buildings, with particular attention to the sheets used to survey the fortified structures affected by the 2012 earthquake. Furthermore, it examines the analysis of literature about the classification of damage mechanisms for the typology examined and the collection of information related to the 21 case studies, from open-source databases and from archival research.

In the second part, three possible operative tools are proposed for the survey, the forecast, and then the prevention of damage: the first two, which complement each other, are meant to be used during “war-time”, i.e. in the emergency phase; the third has been designed for cultural heritage management and damage prevention, hence during “peace-time”. The first one: an abacus of the typical and recurrent damage mechanisms of the macro-elements of fortified architectures, for the knowledge of the different cases of the possible damages and the acknowledgement of the same ones from the initial phases. Considering the difficulties emerged from the application of the current inventory sheet (Palace Model B-DP), designed for another typology, to the survey of the specific features of the castles, a second tool was proposed: a specific damage assessment inventory sheet for the typology examined in this thesis, for a faster and more correct survey of damages in the emergency phase and as a potential knowledge tool even in the pre-earthquake phase. The third: a GIS database for the fortified architectures of the Emilia Region, designed with a proactive approach, for the prediction of the vulnerability of the fortified architectures on a territorial scale,

functional to the identification of the most urgent and priority interventions, in order to plan a maintenance program. In particular, statistical analysis revealed correlations between constructive characters and onset of damage mechanism.

Moreover, the GIS database designed, thanks to its contribution in the comparison between data related to the damage levels with the seismic action of the site, through the shakemaps of INGV (Italian National Institute of Geophysics and Volcanology), has allowed the definition of experimental fragility curves. These curves represent the turning point from knowledge to prediction, as representative of the expected damage for each of the different macro-elements previously identified, depending on the seismic action.

In conclusion, in order to verify the predictive methodology adopted, this approach has been applied to the territory of the Province of Parma, located outside the area affected by the 2012 earthquake. The approach has shown to be crucial for the detection of vulnerabilities in the territory and to be able to act in a preventive way, i.e. before the damage occurs. Therefore, this methodology has the double advantage of optimizing the management of economic resources, often limited, and to allow the material conservation of the architectural heritage, avoiding to operate during the emergency phase, instead aiming to define strategies for the protection of the cultural heritage on a larger scale.

“Le fasi prevenzione, emergenza e ricostruzione non sono distinte ma strettamente collegate: quello che viene fatto in ogni fase, nel bene e nel male, è condizionato dalla fase precedente e condiziona quella successiva”

Giandomenico Cifani, Alberto Lemme, Carmenzo Miozzi

INTRODUZIONE

OGGETTO E STRUTTURA DELLA TESI

Il presente progetto di ricerca, finanziato nell'ambito dei Progetti di Alta Formazione alla ricerca dalla Regione Emilia Romagna, si è avvalso della collaborazione dell'Agenzia Regionale per la Ricostruzione – Sisma 2012 ed è maturato nell'ambito di un gruppo di tre tesi di dottorato sul tema dell'analisi dei meccanismi di danno sismici di edifici specialistici storici in muratura, rivelatisi particolarmente vulnerabili a seguito degli eventi tellurici del Maggio del 2012, appartenenti in particolare a tre tipologie: cimiteri, teatri e architetture fortificate.

La presente tesi intende indagare i meccanismi di dissesto tipici e ricorrenti delle architetture fortificate emiliane colpite dal terremoto del 2012, nell'ottica di fornire strumenti per il rilievo, la previsione e quindi la prevenzione del danno.

La tesi si articola in due parti, la prima inerente allo stato dell'arte e la seconda alla proposta di possibili strumenti. I principali temi affrontati sono cinque, ognuno sviluppato nel relativo capitolo. La *prima parte* comprende l'analisi di due tematiche: il sisma del 2012 e la gestione dei beni tutelati in fase emergenziale e la definizione della tipologia in esame, ossia le architetture fortificate emiliane. Il sisma del 2012 e la sua gestione divengono quindi caso esemplificativo dei tanti terremoti che hanno interessato il territorio della penisola nell'ultimo secolo e che hanno fatto emergere chiaramente la vulnerabilità del patrimonio storico, di cui le architetture fortificate vengono assunte come esempio paradigmatico. Nella *seconda parte* vengono illustrati tre possibili strumenti operativi per il riconoscimento, il rilievo e la previsione dei cinematismi ricorrenti nelle architetture fortificate. Si fa riferimento rispettivamente a un abaco dei meccanismi di dissesto tipici e ricorrenti e a una scheda di rilievo del danno *ad hoc* per le architetture fortificate e infine a un database GIS per la tipologia oggetto di studio. I primi due strumenti sono stati ideati in prima istanza per un uso in fase emergenziale post-sisma, per essere usati per così dire in *tempo di guerra*, al fine di agevolare, sia in termini di tempo che di qualità del dato, il rilievo speditivo. Ciò non toglie che possano entrambi fornire un valido supporto alla conoscenza dei manufatti castellani e delle loro principali vulnerabilità. In particolare l'elenco della variegata gamma dei possibili meccanismi di dissesto ne permette il riconoscimento fin dalle fasi iniziali, senza tuttavia avere la presunzione di coprire tutte le possibili casistiche dei dissesti che possono interessare la tipologia in esame. Infatti ogni manufatto facente parte del patrimonio costruito costituisce un *unicum* e quindi andrà studiato ed approfondito in quanto tale. Il database GIS, progettato secondo un approccio proattivo, costituisce un possibile e valido strumento per il *tempo di pace*, in quanto in grado di prevedere le vulnerabilità delle architetture fortificate e quindi

potenzialmente di prevenire l'insorgenza del danno, stilando un elenco degli interventi più urgenti e prioritari. L'obiettivo è quello di sostituire un approccio emergenziale al restauro con un piano di manutenzione programmata.

Come preannunciato, il primo passo è stato cercare di delineare la tipologia oggetto di ricerca. Infatti sotto al cappello del termine *architettura fortificata* rientrano in realtà numerose categorie di strutture fortificate, che si differenziano notevolmente tra loro. Molti studiosi e cultori della scienza dei castelli¹ si sono spesi, in particolare nel corso del XX secolo, per cercare di dare una definizione al termine *castello*, ricostruendone l'etimo o individuandone i componenti fondamentali, che per il castello medievale sono torre, mura di cinta, corpo palaziale e a corredo di questi gli apparati difensivi: merli, beccatelli e via discorrendo. La verità è che i complessi fortificati, legati come sono al contesto orografico, all'area geografica, alle contingenze politiche ed economiche e soprattutto all'evoluzione storica delle tecniche ossidionali in un dialogo serrato tra difesa e offesa, assumono di volta in volta differenti manifestazioni. Senza considerare l'immaginario romantico, che spesso avvolge questi manufatti, che sull'onda dello spirito di revival gotico maturato tra Settecento e Ottocento, sono stati soggetti a restauri in stile che ne hanno ulteriormente modificato l'aspetto.



Figura 1 Il termine architetture fortificate include tipologie architettoniche assai differenti in base al periodo storico e alla zona geografica. Come è evidente il castello di Neuschwanstein (prima immagine a sinistra) e lo Château de Chaumont (seconda immagine a sinistra) presentano caratteri costruttivi molto diversi da quelli dei castelli emiliani oggetto di tesi (da sinistra le Rocche estensi di San Felice sul Panaro, Modena, e di Cento, Ferrara).

Così non rimane che cercare di trovare una regola in questa varietà. A tal proposito Carlo Perogalli² propone, nel primo numero della rivista *Castellum*, una classificazione (grafica e linguistica) delle varie tipologie, basandosi sulla presenza o meno di determinati elementi e sullo stato di conservazione del manufatto, nel tentativo di creare un vocabolario scientifico comune e univoco.

¹ Si vedano PALLONI D. 2005, pp. 183-190; CACIAGLI G. 1979, pp.49-64

² PEROGALLI C. 1965, pp. 17-24

SIMBOLOGIA CARTOGRAFICA

PER CARTE SCIENTIFICHE

denominazione

traccia storica ruderi conservato

Fortificazione preistorica			
Accampamento militare (castra)			
Recinto fortificato			
Muraglia			
Torre			
Castello			
Casa torre			
Edificio agricolo fortificato			
Residenza castellata o maniero (Chateau-residence, Schloss)			
Palazzo fortificato			
Edificio religioso fortificato			
Ponte fortificato			
Tipi speciali fortificati			
Città fortificata			
Fortezza - forte			
Caratteristiche militari			

PER CARTE TURISTICHE

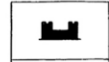
INFERIORI A 1 : 200.000

Tutti i tipi



1 : 200.000 E SUPERIORI

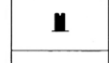
Castello



Residenza castellata o maniero (Chateau-residence, Schloss)



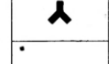
Torre



Città fortificata



Altri tipi



Di medio interesse

Di maggiore interesse

Di massimo interesse

VISITE

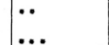


Figura 2 Ad ogni tipologia viene associato un simbolo figurativo. Tale simbologia nasce per essere utilizzata nella cartografia sia scientifica, contemplando numerose casistiche (a sinistra), sia turistica, privilegiando la semplificazione (a destra). Tratto da Perogalli C. 1965, p.22-23.

In definitiva si è quindi cercato di circoscrivere la tipologia oggetto di indagine ai confini dell'area del cratere del sisma 2012, corrispondente a un settore emiliano di Pianura Padana e in un periodo storico che va dal X al XV, fatti salvi successivi rimaneggiamenti, arco temporale in cui è approssimativamente possibile racchiudere la parabola dell'evoluzione delle architetture militari emiliane³, alle soglie quindi del periodo di

³ PEROGALLI C. 1972, p.13

transizione. Infatti l'avvento dell'artiglieria sancisce l'epilogo degli apparati ossidionali medievali, divenuti ormai obsoleti, definendo forme nuove dell'architettura militare.

I confini geografici e temporali così definiti hanno permesso di identificare quindi architetture fortificate aventi caratteri costruttivi, tipologici e morfologici comuni e soprattutto caratterizzati dagli stessi beni componenti e macro-elementi. In particolare nel presente elaborato ci si è focalizzati sullo studio delle 21 architetture fortificate danneggiate dal terremoto dell'Emilia e dei cinematismi ricorrenti di quei macro-elementi tipici individuati.

METODOLOGIA E STRUMENTI PROPOSTI

SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO E RELATIVO ABACO SPECIFICI PER LE ARCHITETTURE FORTIFICATE E L'APPROCCIO A MACRO-ELEMENTI

Come è ormai ampiamente noto, specifiche tipologie di edifici storici in muratura sono caratterizzati da macro-elementi tipici che tendono a danneggiarsi secondo meccanismi ricorrenti. Riconoscerli, è il primo passo per prevederli e quindi prevenirli. Tale consapevolezza deriva dall'osservazione del danno terremoto dopo terremoto. Un approccio empirico abbracciato dagli studi avviati negli anni Ottanta, tra i quali è doveroso citare i contributi di Antonino Giuffrè⁴, di Edoardo Benvenuto⁵ e Salvatore Di Pasquale⁶, successivamente aggiornati e confermati da altre ricerche più recenti⁷. Dunque a partire da questo periodo, anche alla luce dei terremoti distruttivi che colpiscono l'Italia, si iniziano a rivalutare l'approccio empirico e l'analisi cinematica applicati al patrimonio costruito in muratura⁸. Infatti, nel corso degli eventi tellurici degli ultimi 50 anni, le fabbriche storiche hanno dimostrato non solo la loro vulnerabilità, ma anche l'inadeguatezza dei sistemi di calcolo per la previsione del loro comportamento sismico⁹. Attualmente infatti la normativa¹⁰ riconosce che le procedure standard di modellazione globale e i calcoli numerici, validi per gli edifici ordinari, non sono adottabili per le strutture storiche in muratura. Questi strumenti sono infatti inadeguati alla rappresentazione dei comportamenti sismici di tali fabbriche, contraddistinte da meccanismi di collasso locali, legati a irregolarità

⁴ GIUFFRÈ A. 1988; GIUFFRÈ A. 1991

⁵ BENVENUTO E. 1981

⁶ DI PASQUALE S. 1996

⁷ Tra gli altri si ricordino i numerosi lavori di DOGLIONI F., D'AYALA D., LAGOMARSINO S., MODENA C. in bibliografia.

⁸ Ad esempio il D.M. 24/01/1986 introduce il concetto di *miglioramento sismico*, ossia la possibilità di aumentare la sicurezza dell'edificio storico senza l'obbligo di raggiungere gli standard delle nuove costruzioni, preservando dunque l'integrità materiale del patrimonio architettonico, dando il via a un diverso tipo di approccio, non più quantitativo (modelli di calcolo e analisi), ma qualitativo.

⁹ BLASI C. 2013, pp. 1-13.

¹⁰ D.M. Infrastrutture e Trasporti 17 gennaio 2018, *Norme tecniche per le costruzioni* (NTC 2018) e relativa Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019.

costruttive, assenza di connessioni adeguate, qualità e spessori murari, fenomeni di degrado e modifiche avvenute nel corso del tempo¹¹.

Su queste basi si fondano quindi i successivi studi, intrapresi sotto l'impulso di nuovi eventi calamitosi, strettamente improntati sull'osservazione del danno e che associano, alla metodologia di suddivisione della fabbrica in macro-elementi, un'analisi sistematica e organizzata per l'approfondimento dei dissesti tipici e ricorrenti di due delle tipologie architettoniche più diffuse: chiese e palazzi. La prima ad essere indagata, a valle del terremoto del Friuli del 1976¹², è quella delle chiese, in quanto, per le loro caratteristiche peculiari¹³, costituivano un perfetto caso di studio. Agli studi di Francesco Doglioni ne sono seguiti altri¹⁴, che ad oggi permettono di avere una chiara ed esaustiva panoramica della casistica dei meccanismi di danno possibili per i macro-elementi di questi edifici ecclesiastici. Il sisma del 1997 in Umbria e Marche e quello successivo in Molise del 2002 hanno spinto all'approfondimento dei meccanismi di dissesto della tipologia palazzi e all'aggiornamento della normativa¹⁵, se pur con tempistiche lunghe. Nel frattempo nuovi eventi, se pur drammatici e distruttivi, hanno offerto ulteriori occasioni di osservazione e studio dei cinematismi e di approfondimento di altre tipologie. Così se gli eventi del Friuli del 1976 ha dato il via a ricerche analitiche sui danni da sisma sulla tipologia chiese, così successivi terremoti possono fornire un'opportunità per l'analisi dei meccanismi tipici di altre categorie di edifici, tra queste quella delle architetture fortificate che presenta numerose specificità che la distinguono dalla tipologia Palazzi. In particolare nella presente tesi è stato stilato un abaco dei meccanismi di danno ricorrenti per le architetture fortificate, improntato sulla base sia degli studi specifici già pubblicati¹⁶, che offrono prime importanti fondamenta per la decodificazione e schematizzazione dei cinematismi tipici di tale tipologia; sia degli abachi dei meccanismi di collasso già esistenti per altri beni tutelati, quali Chiese, soprattutto in merito a meccanismi di campanili e lanterne, e Palazzi, per ovvie analogie con le strutture su più piani presenti anche nei complessi fortificati.

Tale abaco ha fornito a sua volta le basi per la redazione di una scheda di rilievo del danno redatta ad hoc per le architetture fortificate. Infatti, come verrà illustrato nel

¹¹ COÏSSON E., OTTONI F. 2013, pp.57-63

¹² DOGLIONI F., MORETTI A., PETRINI V. 1994

¹³ Le chiese sono costituite da macro-elementi analoghi e quindi facilmente confrontabili. Sono strutture che, soprattutto al di fuori dei centri storici, si presentano isolate, consentendo una più agile lettura dei cinematismi.

¹⁴ Si ricordino in particolare Irpinia 1980: PROIETTI 1994, GUCCIONE et al. 1998; Modena e Reggio Emilia 1987: DECANINI et al. 1997; Umbria e Marche 1997: LAGOMARSINO et al. 1997; LAGOMARSINO E PODESTÀ 2004

¹⁵ Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale; D.P.C.M. 23/02/2006, G.U. 07/03/2006, n 55

¹⁶ Tra cui CATTARI S. et al. 2014a; COÏSSON E., FERRETTI D., LENTICCHIA E. 2017; FREDDI F., NOVELLI V., GENTILE R. et al. 2021

capitolo 5, a valle del terremoto del 2012 sono emerse non poche difficoltà, da parte dei funzionari addetti ai sopralluoghi, nel cercare di incasellare le specificità morfologiche, strutturali e i cinatismi delle architetture fortificate in una scheda nata per il censimento dei danni dei Palazzi (Scheda Palazzi, Modello B-DP). In questo ambito è maturata quindi la necessità di definire uno strumento per il rilievo speditivo, cucito su misura per questa tipologia. Tale scheda inoltre è composta da una sottoscheda anagrafica che raccoglie i dati identificativi del complesso fortificato che può essere compilata prima di un evento sismico, da una parte nel tentativo di facilitare le operazioni di rilievo in fase emergenziale, dall'altra di poter potenzialmente catalogare informazioni su un dato bene (denominazione, localizzazione, ma anche struttura planimetrica, beni componenti e interventi passati) secondo un metodo ordinato e univoco.

IL GEODATABASE GIS PER LE ARCHITETTURE FORTIFICATE E L'APPROCCIO PREDITTIVO

A ormai 10 anni dal terremoto, conclusa da tempo la fase emergenziale e avviata verso la conclusione la fase di ricostruzione, almeno quella privata¹⁷, è ora indispensabile adoperarsi per la definizione di uno strumento, da adottare in tempo di pace, per la previsione e la prevenzione del rischio sismico del patrimonio costruito, individuandone le vulnerabilità a scala territoriale. In particolare questa tesi si concentra sulla tipologia delle architetture fortificate, assumendola a caso emblematico. È stato quindi progettato un geodatabase GIS in un'ottica predittiva. Tale sistema infatti consente di associare agevolmente le informazioni relative ai beni tutelati dislocati sul territorio, tra cui i loro meccanismi di dissesto, con i dati relativi agli eventi sismici avvenuti, tramite le *shakemaps* prodotte dall'INGV¹⁸, o alla gravità di quelli attesi, grazie alle mappe di pericolosità¹⁹. Grazie ai dati precedentemente elaborati, tramite il software GIS, è stato possibile applicare, ad alcuni meccanismi ritenuti significativi, le curve di fragilità, funzioni che esprimono il rischio sismico, tramite la correlazione dei livelli di danno rilevati, definiti dalla scala macrosismica europea, con le accelerazioni registrate.

Tramite questo approccio sarà quindi possibile stilare una lista di priorità degli interventi di consolidamento da eseguire su scala territoriale, sia nell'ottica di consentire una migliore gestione delle risorse sia di sostituire un approccio emergenziale al restauro, ancora troppo spesso tipico delle fasi successive a grandi calamità distruttive, con un piano opere di manutenzione programmata per la

¹⁷ REGIONE EMILIA ROMAGNA, 2021

¹⁸ Reperibili al seguente link e scaricabili in formato *shapefile* <http://shakemap.ingv.it/shake/archive/> (consultato in data 15/12/2021)

¹⁹ Si fa riferimento alla mappa di pericolosità, prodotta dall'INGV, con i valori espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli rigidi, a cui si fa riferimento anche nell'Ordinanza del P.C.M. del 28 Aprile 2006 n°3519

prevenzione del danno, che consentirebbe inoltre di agire nel rispetto dei principi del restauro.

Questo tipo di approccio si inserisce quindi nel più ampio filone noto con l'espressione *conservazione programmata*. Una strategia che si propone come globale, in quanto pone il focus sulla gestione integrata di interventi a scale diverse e sul lungo periodo, in cui quindi la gestione del rischio sul patrimonio costruito non è relegata al singolo intervento diretto sul bene per migliorarne il comportamento, ma bensì correlata a una programmazione a scala territoriale. Infatti, a differenza del concetto tradizionale del restauro, sposta il focus dal singolo intervento a una logica processuale in cui si programmano gli interventi futuri coerenti sulla base dello storico di quelli passati, anche e soprattutto in un'ottica preventiva. Per riuscire in tale intento determinante è l'adozione di nuove tecnologie che possano integrare e agevolare il percorso di conoscenza e gestirne in maniera organizzata le informazioni prodotte (i sistemi GIS ne sono un esempio paradigmatico)²⁰. Il processo di conoscenza è inoltre supportato da *“attività diagnostiche e prognostiche, le une in grado di risalire alle cause di degrado attraverso l'analisi degli effetti che le hanno generate; le altre di prefigurare possibili evoluzioni degenerative per prevenirle e contrastarle”*²¹. Nell'ambito di questa ricerca quindi a supporto delle attività di diagnosi intervengono gli strumenti schedografici per il rilievo del danno sismico unitamente al relativo abaco, mentre l'aspetto prognostico è affidato al database GIS. In definitiva questo tipo di programmazione “proattiva” potrebbe avere importanti vantaggi oltre che naturalmente nella conservazione del manufatto storico, anche nell'ambito dell'investimenti pubblici nel settore dei beni culturali, ottimizzando le risorse economiche spesso limitate e direzionandole in maniera più efficace e tempestiva²².

²⁰ DELLA TORRE S. 2010, pp. 67 - 76; DELLA TORRE S. 2014, pp. 107-117

²¹ DELLA TORRE S., M., BORGARINO M. P., ROSSELLA MOIOLI R. 2011

²² COÏSSON E. 2019, pp. 39

PARTE I EMILIA: SISMA 2012 E ARCHITETTURE FORTIFICATE

In questa prima parte le due tematiche trattate, sisma del 2012 e architetture fortificate emiliane, sono esemplificative rispettivamente dei numerosi eventi tellurici distruttivi che hanno colpito il territorio italiano e dei beni architettonici in muratura, di cui i suddetti terremoti hanno evidenziato ampiamente la vulnerabilità. Nel primo capitolo viene inoltre fornita una panoramica delle prassi operative adottate per la gestione dell'emergenza post-sisma dei beni culturali, con particolare riferimento alla fase di rilievo speditivo. Tali sopralluoghi vengono effettuati tramite dei modelli schedografici. Nel secondo capitolo viene delineata con precisione la tipologia oggetto di studio.

CAPITOLO 1

EMILIA 2012: TERREMOTO E GESTIONE DELL'EMERGENZA PER I BENI CULTURALI

1.1 SISMICITÀ STORICA IN PIANURA PADANA

Ogni nuovo terremoto sembra sempre giungere in maniera inaspettata e questo è tanto più vero per il terremoto emiliano del 2012, verificatosi in un'area ritenuta a lungo tempo non sismica, o a bassa sismicità, anche dalla normativa, nonostante le evidenze scientifiche¹.

Consultando il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani², emerge che l'area della Pianura Padana colpita dal terremoto del 2012 ha in realtà una sua sismicità storica. Tra gli eventi di maggior rilevanza, censiti dal CPTI15, nelle zone limitrofe a quelle epicentrali, è possibile annoverare i terremoti del 1117 nel Veronese avvertito anche in area emiliana, del 1570-74 nel ferrarese di cui Pirro Ligorio ci ha lasciato ampia testimonianza scritta e del 1624 ad Argenta. Inoltre anche in tempi più recenti l'area della *bassa* emiliana è stata interessata da altre scosse di modesta entità rispetto a quelle verificatesi nel 2012. I fenomeni tellurici sono dunque destinati a ripetersi in maniera ciclica. Di vitale importanza è quindi lo studio dei terremoti storici, per evitare di sottostimare la pericolosità sismica di un'area in futuro³.

1.1.1 TERREMOTO DEL 1117 NEL VERONESE

La sequenza sismica avvenuta intorno al 3 gennaio 1117 è tutt'oggi considerata dagli studiosi la più forte della storia conosciuta della Pianura Padana⁴. Per tale terremoto il Catalogo Parametrico dei Terremoti stima una magnitudo pari a 6,5. Avvertito in tutto il Nord Italia e al di là delle Alpi, questo evento distruttivo è citato nelle fonti dell'epoca in maniera diffusa e se ne ha testimonianza diretta dall'analisi degli edifici storici, in parte ricostruiti proprio a partire dalla fatidica data del 1117⁵.

1.1.2 TERREMOTO DEL 1570-74 A FERRARA

“Scosse dunque nella suddetta notte la città grandemente, et tuonava tanto spesso che pareva tante artiglierie [...] Et fu molto dannoso e pieno di detrimento. Smosse le mura delle case, cascarono merli et camini con tanta ruina che pareva che il ciel cadesse et la

¹ TARANTINO A.M. 2016, p.15

² CPTI15-DBMI15 v3.0, www.ingv.it (consultato in data 14 dicembre 2021).

³ PIEROTTI P. 2016

⁴ GUIDOBONI E., COMASTRI A., BOSCHI E. 2005; GUIDOBONI E., BOSCHI E. 1991

⁵ GUIDOBONI E. 2018, pp. 9-10

*terra insieme mancasse [...] alle ventiquattr'hore scosse talmente la città il moto della terra, che i merli e i camini ch'erano già caduti dalle cime delle case, tutti quelli che erano rimasti interi, rovinarono anchora et tutte le muraglie creparono e parte delle cime dei camini cadendo sulli coperti et parte sulle strade [...]*⁶

Numerose sono le testimonianze storiche pervenute in merito al terremoto che danneggiò Ferrara nel XVI secolo, probabilmente sia per via della sua intensità distruttiva (Magnitudo stimata 5,44 e intensità compresa tra 7 e 8⁷), sia per la sua durata, in quanto caratterizzato da scosse di assestamento protrattesi dal 1570 al 1574. Tale circostanza è analoga a quella manifestatasi nel corso del terremoto del maggio-giugno 2012, contraddistinto anch'esso da multiple scosse principali, se pur in un lasso di tempo più ristretto. Inoltre è interessante notare che il sistema di faglie inverse che ha dato origine al questo evento storico è il prolungamento di quello responsabile del sisma del 2012⁸, a dimostrazione della ciclicità storica, e quindi prevedibilità, di questi eventi, se non ancora in termini temporali per lo meno spaziali.

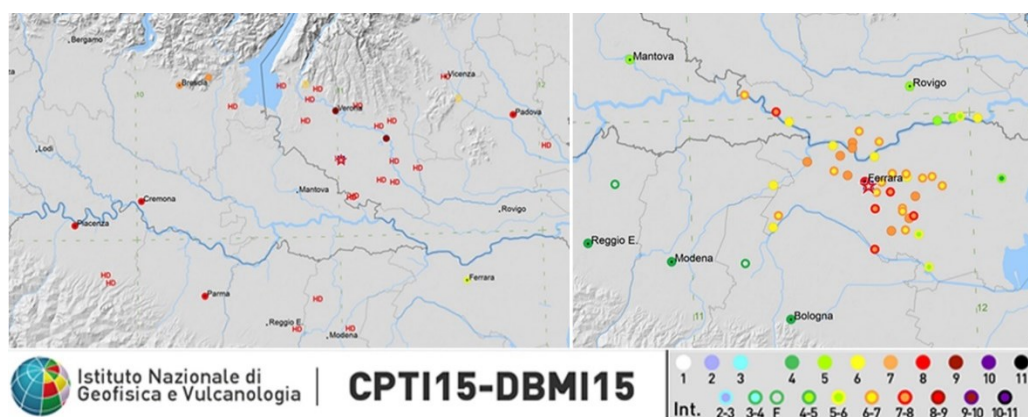


Figura 1. Si riportano le mappe, tratte dal CPTI15, relative agli eventi sismici storici del 1117 e 1570.

1.1.3 TERREMOTO DEL 1624 AD ARGENTA

Anche in questo caso sembra che le repliche si siano protratte per diverso tempo, da marzo 1624 a febbraio 1625. La scossa principale tuttavia risalirebbe al marzo 1624 e sarebbe stata avvertita in un raggio di 60 miglia dall'epicentro collocato ad Argenta, località del ferrarese, e in particolare nelle città di Bologna, Padova, Ravenna e Venezia⁹. La magnitudo stimata dal CPTI15 per tale evento è di 5,43 e comportò il

⁶ LIGORIO P. 1571

⁷ Fonte Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (DBMI15)

⁸ CINTI F.R., DE MARTINI P.M. 2014, pp. 27-28

⁹ Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (DBMI15), <https://emidius.mi.ingv.it> (consultato in data 14 dicembre 2021)

collasso di oltre un quarto degli edifici di Argenta, tanto che la cittadina fu completamente ricostruita sulla sponda opposta del Reno:

“Furono demolite più di 170 case e le rimanenti restarono o lesionate, o semidistrutte e minaccianti immediata rovina: nemmeno un edificio fu rispettato. Le torri che servivano di difesa alla città, in numero di 24, furono quasi tutte abbattute”¹⁰



Figura 2. A sinistra: Terremoto di Argenta di C. Ricci, XVII sec: particolare delle mura della città con l'attivazione di meccanismi di flessione orizzontale (a sinistra) e ribaltamento fuori dal piano dei merli (a destra); a destra Ferrara distrutta dal terremoto del 1570 di H. J. Helden, dettaglio del Castello estense di Ferrara danneggiato, con dissesti concentrati soprattutto nelle zone di contatto tra torre svettante e gli altri corpi di fabbrica.

1.1.4 EVENTI SISMICI RECENTI

Caratterizzata da sismicità medio-bassa, l'area della *bassa emiliana* è stata teatro di diversi terremoti in tempi relativamente recenti, se pur non contraddistinti dalla stessa potenza distruttiva di quello registrato nel 2012. Sembra quindi opportuno ricordare la scossa del 6 dicembre 1986 (4,35 M), che ha registrato effetti del VI MCS nei comuni di Bondeno (Ferrara), Finale Emilia (Modena) e Gavello (Rovigo) e quella dell'8 maggio 1987 (M 4,56), con effetti di VI MCS nei seguenti comuni: Camposanto, Finale Emilia, Massa Finalese e San Felice sul Panaro, in provincia di Modena¹¹. Del 1996 è il terremoto di Magnitudo 5,4, che ha interessato in particolare i comuni di Bagnolo in Piano e Correggio (Reggio Emilia) e che era stato avvertito anche nelle zone occidentali che saranno poi coinvolte dallo sciame sismico del 2012¹². Come è possibile notare dalla Figura 3, gli epicentri di questi terremoti recenti e di quelli storici si collocano ai margini orientali e occidentali dell'area epicentrale del sisma del 2012, definendo uno sviluppo lineare degli epicentri lungo un asse Est-Ovest. Questo perché si tratta di eventi tellurici originati dallo stesso sistema di faglie.

Nonostante la conoscenza in campo scientifico dei terremoti passati, sia storici che più recenti, la normativa attribuiva ai comuni di quest'area una bassa sismicità (classificati

¹⁰ BARATTA M. 1901, p. 118

¹¹ Catalogo parametrico dei terremoti italiani (DBMI15), <https://emidius.mi.ingv.it> (consultato in data 14 dicembre 2021)

¹² CINTI F.R., DE MARTINI P.M. 2014

in zona 3 dall'OPCM n. 3274 del 2003), con vincoli obbligatori solo a partire dal 2005 (Delibera Regionale n. 1677/2005)¹³. Tuttavia è anche vero che per la sua intensità sismica la sequenza del 2012 è stato senz'altro eccezionale e che per molti edifici storici ha rappresentato il primo *collaudo antisismico*, e spesso l'ultimo, data l'assenza di presidi diffusi atti a prevenire le vulnerabilità tipiche del tessuto storico¹⁴. Alla luce di questi fatti e delle maggiori conoscenze derivate da questo terribile evento, occorre oggi tutelare il patrimonio costruito con prassi operative che ne riducano le vulnerabilità, sempre nel rispetto dei principi del restauro, ponendo le basi per una diffusa cultura di prevenzione dal rischio sismico.

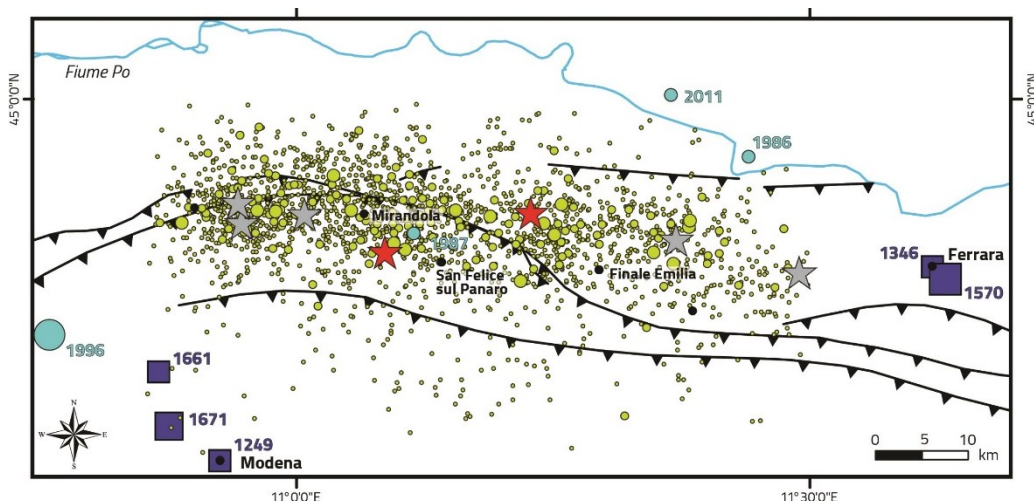


Figura 3. Sequenza sismica del maggio-giugno 2012 (in rosso i due epicentri del 20 e 29 maggio, i giallo gli epicentri degli eventi minori) sovrapposta agli epicentri dei terremoti storici. Immagine tratta da Cinti F.R., De Martini P.M., 2014.

1.2 SISMA EMILIANO DEL 2012

1.2.1 LA SEQUENZA SISMICA: 20 E 29 MAGGIO 2012

Questo terremoto ha interessato una porzione di Pianura Padana d'intersezione tra tre Regioni e ben cinque province (Bologna, Ferrara, Mantova, Modena, Reggio Emilia e Rovigo), coinvolgendo in particolare l'area della *bassa emiliana*, in cui sono stati rilevati gli effetti più distruttivi, divenendo tale evento di fatto noto come sisma emiliano.

Due sono le scosse principali, e più distruttive, registrate nel corso dello sciame sismico. La prima, risalente al 20 maggio 2012 (4:03 ora locale), con epicentro limitrofo a Finale Emilia (a Nord-Est di Modena) e con ipocentro a una profondità di 6,3 km, colpisce il suolo emiliano con una Magnitudo di 5.9 M. La seconda ha avuto luogo il 29 maggio

¹³ TARANTINO A. M. 2016, p.15-16

¹⁴ DI FRANCESCO C. (a cura di) 2014, pp. 17-49

2012 (09:00 ora locale), con epicentro in un'area compresa tra i comuni di Medolla, Mirandola e San Felice sul Panaro, a soli 12 km a Sud-Ovest della precedente, ad una profondità di 10,2 Km. L'intensità registrata è di 5,8 M¹⁵.

La sequenza sismica del maggio-giugno del 2012 è stata in realtà caratterizzata da ben 9 scosse con $M \geq 5$ e da migliaia di eventi minori, i cui epicentri si dispongono secondo uno sviluppo lineare sul territorio, esteso per oltre 50 Km (Fig. 3), che ha mano a mano ampliato il cratere del sisma, arrivando a definire un'area molto estesa.

1.2.2 SHAKEMAPS

Strumenti indispensabili, come verrà illustrato nel corso di questa Tesi, per poter studiare la diffusione dello scuotimento al suolo indotto dal terremoto sono le *shakemaps*. Le *shakemaps*, o mappe di scuotimento, sono una traduzione grafica dello scuotimento (calcolato in termini di accelerazione, velocità o intensità) del suolo indotto dal terremoto, registrato grazie ai sismometri, dislocati sul territorio, nelle stazioni della Rete Sismica Nazionale e della Rete Accelerometrica Nazionale. Tali mappe tematiche, funzionali a una rapida valutazione della diffusione dell'evento sismico, vengono prodotte all'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) per tutti gli eventi con magnitudo maggiore o uguale a 3. Le *shakemaps* vengono caricate e rese disponibili sul suo sito dell'INGV nel giro di pochi minuti dalla registrazione della scossa e sono scaricabili sia in formato *raster* che *shapefile*¹⁶, consentendo un *upload* facile e immediato in ambiente GIS. Grazie alla disponibilità di tali mappe, in modalità *open access* e in formati compatibili con i sistemi GIS, è stato possibile agevolare l'implementazione dei dati del geo-database che verrà illustrato nel Capitolo 5.

È bene puntualizzare che tali mappe sono tanto più attendibili, ossia effettivamente corrispondenti all'evento reale, quanto più sono numerose e di qualità le registrazioni strumentali effettuate al momento della scossa. A seguito della prima forte scossa del 20 maggio vennero installate ulteriori decine di stazioni temporanee sul territorio, per il monitoraggio dello scuotimento del suolo¹⁷. Per tale ragione si può verosimilmente ritenere che le mappe relative alle scosse successive siano più attendibili.

In particolare le mappe sono rappresentate secondo le seguenti unità di misura¹⁸: MM (grado della scala macrosismica Mercalli Modificata); PGV (Peak Ground Velocity, ossia velocità massima orizzontale), PGA (Peak Ground Acceleration, ossia accelerazione massima orizzontale); PSA (PSeudospectral Acceleration, ossia ordinate spettrali dello

¹⁵ ARCORACI, L., BERARDI M., BERNARDINI F. et al. 2012; GALLI P., CASTENETTO S., PERONACE. E. 2012

¹⁶ Lo *shapefile* è il formato standard per eccellenza dei sistemi GIS.

¹⁷ Indispensabile per monitorare la fase di *aftershock*. CIACCIO M.G., CULTRERA G. 2014

¹⁸ MARCELLINI A. et al. (a cura di) 2013

spettro di risposta in accelerazione, con smorzamento 5%, per i periodi 0.3, 1.0, 3.0 secondi), in percentuale di accelerazione (%g).

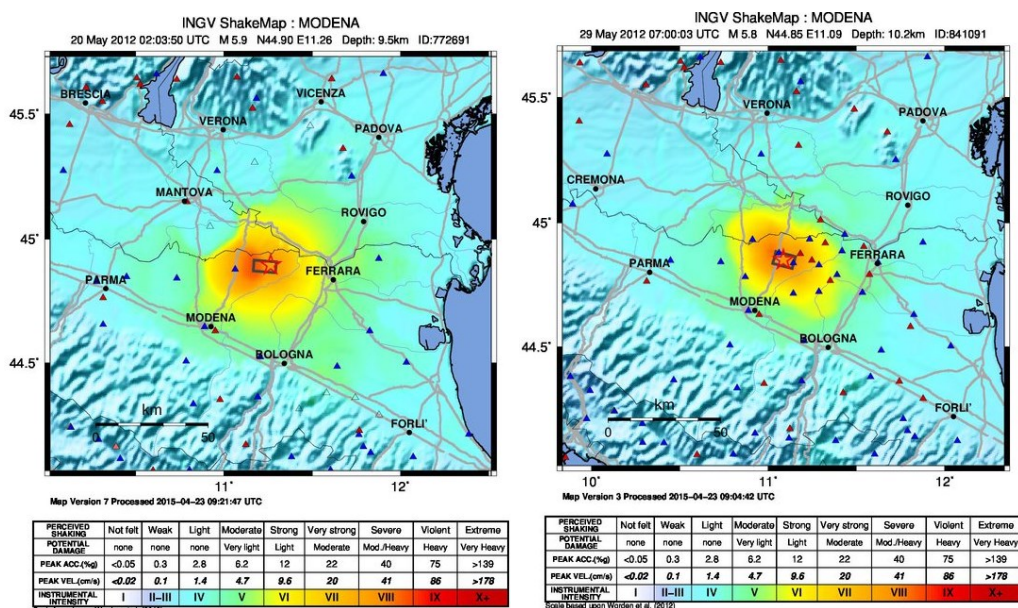


Figura 4. Shakemaps prodotte dall'INGV, relative alle due scosse sismiche principali del 20 (a sinistra) e 29 maggio 2012 (a destra).

1.2.3 INQUADRAMENTO DELL'AREA DI INDAGINE

Come già detto l'area di cratere del 2012 comprende una porzione di Pianura Padana di intersezione tra tre regioni: Emilia Romagna, Lombardia e Veneto; coinvolgendo in particolare cinque province: Bologna, Ferrara, Modena, Reggio Emilia, Mantova e Rovigo. In prima istanza venne quindi definita l'area del cratere del sisma con un'estensione di oltre 2700 Km², ai sensi del D.M. del 1 giugno del 2012, e comprendente 53 comuni. Tuttavia la presente Tesi intende focalizzarsi sui soli comuni emiliani colpiti, appartenenti alle province di Reggio Emilia, Modena, Bologna e Ferrara (Fig.5). I confini geografici d'indagine della presente Tesi sono quindi stati definiti sulla base del Decreto Legislativo n. 74 del 6 giugno 2012, che delinea un'area definita come "cratere ristretto", comprensiva di 33 comuni: 5 in provincia di Bologna, 7 in provincia di Ferrara, 14 in provincia di Modena, 7 in provincia di Reggio Emilia. A questi si aggiungono altri 48 comuni "fuori cratere", identificati dal *Protocollo d'intesa regionale dell'Emilia-Romagna* in data 24 maggio 2012. Si delinea così un'area d'indagine comprensiva di un totale di 101 comuni.

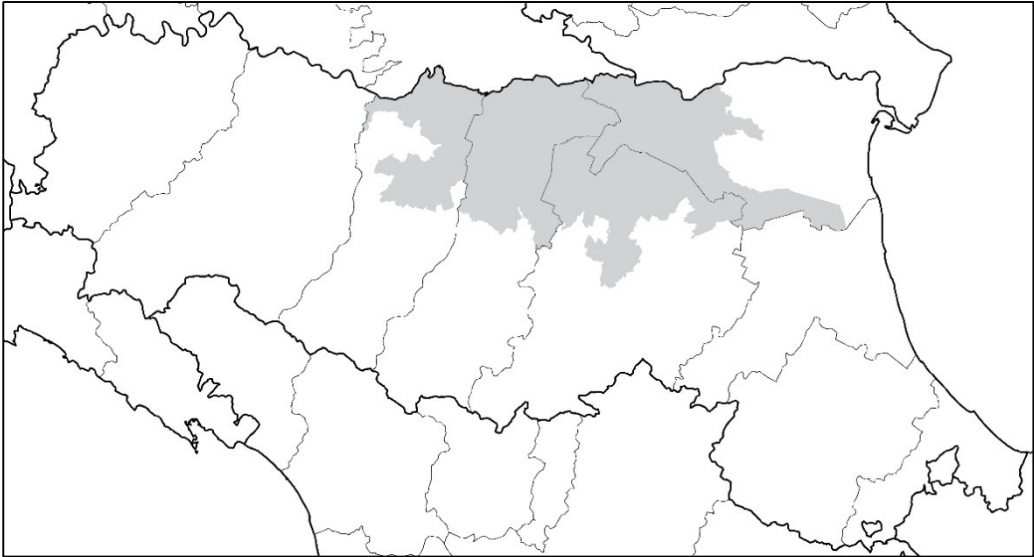


Figura 5. Area di indagine della presente tesi, che comprende di comuni emiliani censiti nell'area di cratere ai sensi del D.L. n° 74 6/6/2012.

Si tratta di un'area fortemente urbanizzata e industrializzata, in cui quindi i dissesti agli edifici, in particolare i capannoni industriali prefabbricati, si sono tradotti in ingenti danni economici per il conseguente fermo obbligato della produzione, senza contare che le vittime erano per la maggior parte lavoratori¹⁹. Tuttavia sono stati duramente colpiti da questo terremoto anche i beni culturali, in particolare, per via della loro vulnerabilità intrinseca e la loro diffusione, le chiese risultano tra le tipologie più gravemente danneggiate, unitamente ai palazzi. Tuttavia altre categorie di edifici si sono rivelate altamente vulnerabili al sisma, tra queste in particolare è possibile annoverare cimiteri, teatri e architetture fortificate²⁰, per i quali attualmente per altro non esistono strumenti schedografici specifici per il rilievo in fase emergenziale.

1.3 IN TEMPO DI GUERRA: GESTIONE DELL'EMERGENZA POST SISMA

Nella fase emergenziale post-sisma vengono avviati i sopralluoghi ai beni tutelati al fine di fornire valutazioni inerenti all'agibilità, al livello di danno e alla definizione di una preliminare stima economica delle opere necessarie per il restauro e quindi degli interventi di messa in sicurezza da eseguire. La gestione della regia di tali operazioni è mansione specifica del MiC. A seguito delle scosse del 2012, l'organizzazione delle ricognizioni sul campo dei danni subiti è stata affidata a una specifica unità tecnico-organizzativa, afferente all'Unità di Crisi Regionale (UCR)²¹ e coordinata dalla Direzione

¹⁹ TARANTINO A. M. 2016, p. 15-16

²⁰ Dati dedotti dal WebGIS Patrimonio culturale dell'Emilia Romagna (<https://www.patrimonioculturale-er.it/webgis/> consultato in data 14 dicembre 2021)

²¹ D.D.R. n.43, 7 giugno 2012

Regionale per i Beni Culturali e Paesaggistici dell'Emilia Romagna e dalla Soprintendenza²². Nello specifico tale unità si è occupata di localizzare i beni da schedare²³, comporre le squadre rilevatrici, prendere contatto con i Comuni e le proprietà, fornire alle squadre il materiale di base reperibile per comprendere il bene oggetto di rilievo, in particolare: elenco dei beni da rilevare; cartografia delle località in cui sono situati i beni da rilevare (se disponibile); planimetrie dei beni da rilevare, quali planimetrie catastali, rilievi o altro materiale, ad esempio fotografie pre-sisma (se disponibili); l'elenco e la posizione delle opere d'arte più rilevanti presenti all'interno del bene; le schede di rilievo del danno ai beni culturali, che raccolgono tutte le informazioni acquisite nel corso dei rilievi speditivi²⁴. I sopralluoghi vengono effettuati da squadre composte da un tecnico strutturista, un funzionario architetto del MiC, un vigile del fuoco e all'occorrenza da un esperto in storia dell'arte, per le operazioni di valutazione del danno ed evacuazione dei beni mobili, e da un archeologo, per il coordinamento delle operazioni di catalogazione e rimozione delle macerie²⁵.

1.4 IN TEMPO DI PACE: GESTIONE DELLA RICOSTRUZIONE

Il percorso di ricostruzione dopo un terremoto è lungo e complesso, specie per il patrimonio tutelato, che una volta messo in sicurezza, dovrà presumibilmente attendere anni prima che si possa procedere con la fase progettuale.

Con l'ordinanza del 2 giugno del 2012 e con l'assunzione da parte del Presidente della Giunta dell'Emilia-Romagna, allora Vasco Errari, delle funzioni di Commissario Delegato, viene costituito il *"Comitato Istituzionale quale sede di coordinamento di tutte le attività volte alla ricostruzione, all'assistenza alle popolazioni colpite dal sisma, alla piena ripresa delle attività economiche, nonché al ripristino dei servizi pubblici essenziali"*²⁶ e si dà quindi avvio alle prime fasi di ricostruzione. Le linee di indirizzo per la ricostruzione prevedono un ordine prioritario d'intervento: istituti scolastici, poi le attività produttive, le abitazioni e infine le Opere Pubbliche. Tale ordine prioritario è stabilito al fine di tutelare l'istruzione, il lavoro e infine per permettere ai cittadini di far rientro nelle proprie case. Tuttavia, nel lungo termine, anche la restituzione del patrimonio storico alla popolazione è un tassello fondamentale non solo per recuperare

²² MARIANI M. 2016, p. 180

²³ La difficoltà emersa nella localizzazione dei beni tutelati, che permeano in maniera diffusa il territorio della Pianura Padana, è stato un tema tutt'altro che secondario nella fase di emergenza post-sisma del 2012. La necessità di superare tale problematica ha dato avvio alla progettazione di un database GIS regionale per i beni culturali.

²⁴ DI PASQUALE G. et al. 2014, p. 7

²⁵ Ferrari L. 2020, pp. 30-60

²⁶ Ordinanza n.1 del 08/06/2012: *Misure per il coordinamento istituzionale degli interventi per la ricostruzione, l'assistenza alle popolazioni e la ripresa economica nei territori colpiti dal sisma dei giorni 20 e 29 maggio 2012. Costituzione del Comitato istituzionale e di indirizzo.*

gli spazi di vita sociale, culturale e religiosa di una comunità, ma anche per ricucirne l'identità.

Con la definizione del *Programma di Ricostruzione delle Opere Pubbliche e dei Beni Culturali*, basato sulle valutazioni tecniche compiute dal UCR del MiC, si stabiliscono i criteri per l'accesso ai finanziamenti e quindi la possibilità di iniziare i lavori finalizzati agli interventi di recupero, restauro, risanamento conservativo e miglioramento sismico del patrimonio culturale danneggiato dal terremoto, di proprietà o uso sia pubblico che ecclesiastico. Tali attività vengono affidate all'Agenzia Regionale per la Ricostruzione - Sisma 2012, istituita il 14 dicembre 2015²⁷. L'Agenzia ricopre quindi un ruolo di coordinamento tra i vari enti implicati nella ricostruzione dei beni tutelati, di modo da raggiungere soluzioni condivise in tempi più celeri. A tal fine è stata istituita la *Commissione congiunta*²⁸, che attraverso dei veri e propri tavoli di lavoro congiunto riunisce i soggetti coinvolti a vario titolo nelle varie fasi di approvazione e autorizzazione dei progetti (i membri della commissione: Struttura tecnica del Commissario Delegato, Soprintendenza, Servizio Geologico-Sismico e dei suoli, e progettisti e soggetti attuatori), al fine di offrire un servizio di supporto tecnico-amministrativo e condividere le diverse criticità riscontrate a seconda delle varie istanze in gioco²⁹. L'Agenzia Regionale svolge inoltre un importante ruolo divulgativo del patrimonio informativo raccolto, in questi ormai 10 anni dal sisma, e delle buone pratiche da adottare nell'ambito della conservazione del patrimonio costruito, coinvolgendo Università e Centri di Ricerca.

1.5 SCHEDE PER IL RILIEVO DEL DANNO AI BENI CULTURALI

Le schede per il rilievo del danno ai Beni Culturali rispondono all'esigenza, in fase emergenziale post-sisma, di censire con criteri uniformi i dissesti riportati dai beni mobili e immobili sottoposti a tutela, di fornire le prime valutazioni economiche e di agibilità (nel caso di beni immobili) e di suggerire le opere provvisorie. Le schede attualmente in vigore, perfezionate dal DPC, nello specifico dal Gruppo di Lavoro per la prevenzione dei Beni Culturali dai rischi naturali (GLABEC), sono le seguenti:

- Modello A: Scheda per l'identificazione del Bene
- Modello AD: Scheda per il rilievo dei Beni Culturali – apparati decorativi
- Modello A-DC: Scheda per il rilievo dei Beni Culturali – Chiese
- Modello B-DP: Scheda per il rilievo dei Beni Culturali – Palazzi
- Modello BF: Scheda per il rilievo dei Beni Culturali – danno ai beni fisici

²⁷ Deliberazione della Giunta Regionale Emilia-Romagna n.2084/2015

²⁸ Ordinanza Commissariale n. 53/2013

²⁹ LIBRO A., LETIZIA B., BORGOGNONI R. 2021, p. 62-69

In questa Tesi tuttavia ci si concentrerà sull'analisi delle sole due schede relative ai beni architettonici: la scheda Chiese Modello A-DC e la scheda Palazzi Modello B-DP, la cui configurazione attuale è stata approvata con il Decreto del Ministro dei Beni e le Attività Culturali del 23 febbraio 2006, pubblicato in Gazzetta Ufficiale il 7 marzo 2006 n°55. Si precisa che tali schede hanno lo scopo specifico di rilevare e diagnosticare i cinematismi di chiese e palazzi vincolati in muratura, che, come è ormai ampiamente noto, si danneggiano secondo meccanismi tipici e ricorrenti. Il censimento dei cinematismi degli edifici in C.A., se pur tutelati, è demandato alle schede AeDES, in quanto presentano quadri fessurativi differenti.

1.5.1 MODELLO A: CHIESE

La scheda attuale di rilievo del danno ai beni culturali Chiese Modello A-DC, approvata nel 2006, è strutturata in due sezioni: la prima in cui si chiede di compilare i dati relativi all'identificazione del bene (denominazione, localizzazione) e alla sua descrizione (destinazione d'uso, caratteristiche del sito, contesto urbano, tipologia di beni artistici presenti e così via); la seconda in cui si chiede di inserire il censimento dei macro-elementi presenti e dei relativi meccanismi attivatisi, un giudizio di agibilità, suggerimenti sui provvedimenti di pronto intervento e la stima dei costi delle opere. Nelle specifico si individuano 10 macro-elementi (facciata, aula, transetto, arco trionfale, cupola, abside, copertura, cappelle e corpi annessi, aggetti, campanile) e 28 meccanismi di collasso. A ciascun cinematismo attivato andrà associato un livello di danno secondo una scala che va da livello di danno 0 a 5, dove D0 nullo, D1 lieve, D2 moderato, D3 grave, D4 molto grave, D5 crollo³⁰. Tale giudizio qualitativo del meccanismo è funzionale alla definizione dell'indice di danno del bene. L'indice di danno è un valore compreso tra 0 e 1, più si avvicina a 1 maggiore è la gravità del dissesto subito. Tale valore si ricava con la formula $I_D = d/5n$, dove d è la sommatoria dei valori dei livelli di danno e n è il numero di meccanismi attivabili. In allegato alla scheda è riportato l'abaco dei 28 meccanismi di collasso (Fig.6), che, tramite schemi assonometrici dei cinematismi, è d'ausilio al riconoscimento degli stessi e quindi al loro censimento. Altro strumento che fornisce una guida alla redazione della scheda è il *Manuale per la compilazione della scheda per il rilievo del danno ai beni culturali, Chiese MODELLO A-DC*³¹, che ne esplicita le modalità di compilazione e fornisce una breve descrizione di tutte le sotto-sezioni e di ogni meccanismo di collasso, con foto esemplificative.

³⁰ GRÜNTAL G. 1998, p. 15

³¹ DI PASQUALE G., PAPA S. 2014

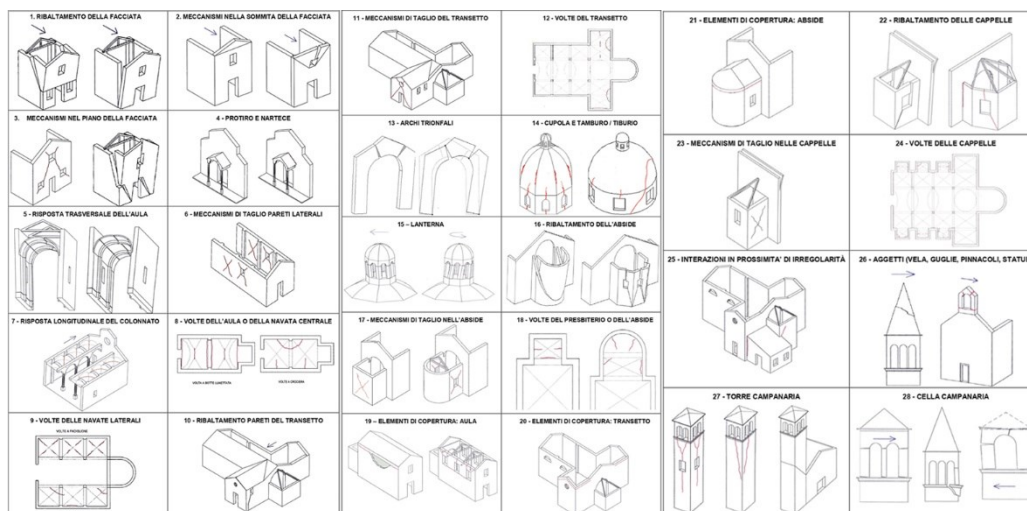


Figura 6. Abaco dei 28 meccanismi di danno della scheda Chiese – Modello A-DC (D.M. 23/02/2006).

La configurazione della scheda attuale è frutto di una continua e successiva integrazione e validazione terremoto dopo terremoto. In particolare non si può non menzionare il contributo di Francesco Doglioni, Alberto Moretti e Vincenzo Petrini³², che partendo dall'osservazione del danno e delle vulnerabilità delle chiese in muratura colpite dal sisma del Friuli del 1976 (maggio e settembre), con un grande sforzo di sintesi, decodificarono i meccanismi ricorrenti per questa tipologia, suggerendo un metodo di schedatura uniforme e dando avvio all'applicazione di una metodologia per il rilievo speditivo tutt'ora in uso, basata sulla suddivisione della fabbrica in macroelementi e che permette di fornire, con una buona approssimazione, una stima immediata dell'entità dei dissesti. La scheda proposta³³ si componeva di due sezioni: la scheda preliminare (cronologia sismico-strutturale della fabbrica, tipo di documentazione esistente, elementi costitutivi che compongono la fabbrica e la qualità del collegamento che intercorre tra questi, censimento dei materiali e misure) e la scheda di danno (tabelle relative al dissesto delle strutture verticali, volte, controsoffitti, archi e coperture). Alla prima sezione viene dato decisamente più spazio, con il proposito di individuare e prevenire le vulnerabilità più che di rilevare i danni avvenuti. Tali strumenti di schedatura sono stati ulteriormente raffinati a seguito del sisma a Parma del 1986, con il censimento di più di 100 chiese³⁴. Tali studi hanno contribuito alla stesura di una prima scheda (GNDT – Modello S3) nel 1987. Tale versione è stata poi perfezionata e integrata e quindi applicata nel corso dei rilievi speditivi per i terremoti della provincia di Reggio Emilia nel 1996, di Umbria e Marche

³² DOGLIONI F. et al. 1994

³³ DOGLIONI F. et al. 1994, pp. 65-70

³⁴ DOGLIONI F. et al. 1994, p. 8

del 1997 e del Pollino nel 1998. Nel 2001, grazie al lavoro svolto dal Gruppo di Lavoro per la prevenzione dei Beni Culturali dai rischi naturali (GLABEC), afferente al Dipartimento della Protezione Civile, la nuova versione della scheda viene approvata (D.M. 3 maggio 2001, pubblicato in Gazzetta Ufficiale n°116 il 21 maggio 2001). In questa fase la scheda prevedeva 18 meccanismi di danno (Fig.7)³⁵. La scheda così conformata è stata quindi impiegata per i rilievi speditivi a seguito degli eventi tellurici del 2002 in Molise e Puglia e del 2004 in provincia di Brescia.

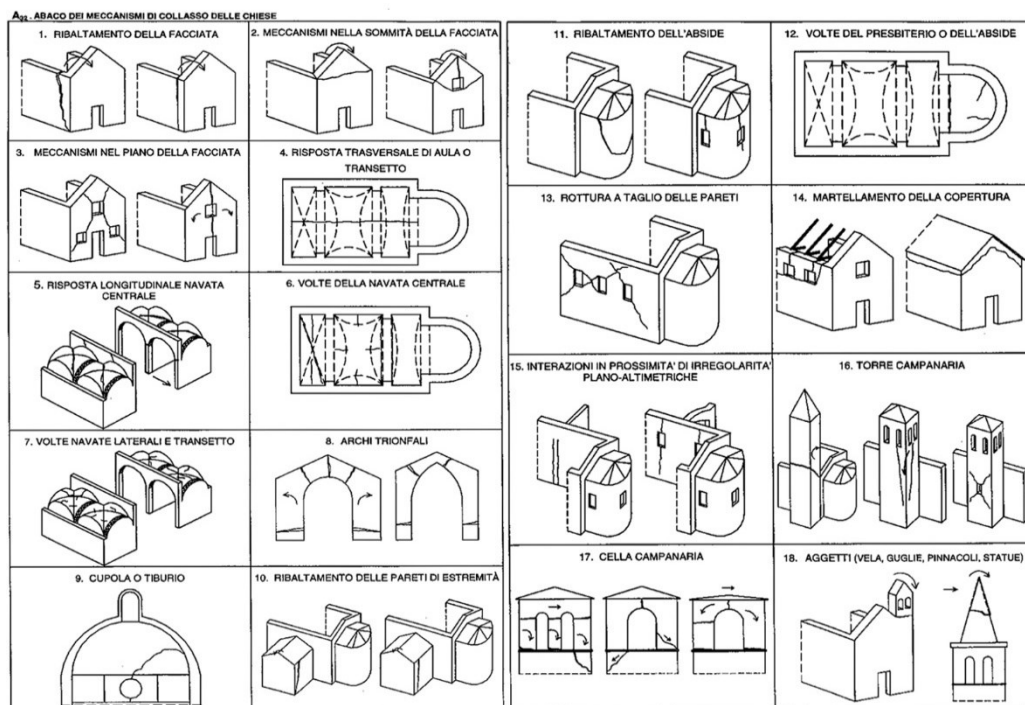


Figura 7. I 18 meccanismi della scheda chiese (D.M. 3/05/2001), tratto da G.U. n°116 21/05/01 (pp. 29-30).

Grazie all'applicazione sul campo e alle proposte pervenute dal Gruppo GLABEC la scheda è stata aggiornata e integrata, in particolare passando da 18 a 28 meccanismi di danno. L'aumento del numero di meccanismi deriva dalla necessità di specificare l'unità strutturale di appartenenza dei macro-elementi, ad esempio i cinematismi delle coperture si suddividono in tre: meccanismi negli elementi di copertura – pareti laterali dell'aula; meccanismi negli elementi di copertura – transetto; meccanismi negli elementi di copertura – abside e presbiterio. Tale versione è stata approvata con il D.M. del 23 febbraio 2006, pubblicato in Gazzetta Ufficiale il 7 marzo 2006 n° 55, ed è attualmente in vigore.

³⁵ PODESTÀ S. 2002

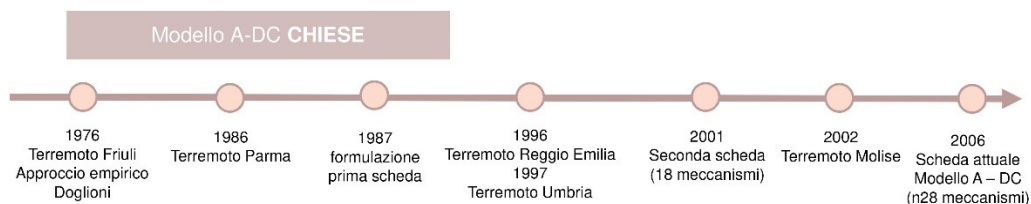


Figura 8. L'evoluzione della Scheda Chiese Modello A-DC è strettamente legata alla storia dei terremoti italiani degli ultimi 50 anni.

1.5.2 MODELLO B: PALAZZI

La scheda Palazzi ha una storia decisamente più recente, venendo approvata per la prima volta nel 2006³⁶, a seguito della verifica di tale modello sul campo, più precisamente in occasione degli eventi sismici del Molise nel 2002, dell'Appennino tosco-emiliano nel 2003 e nel bresciano nel 2004. La sperimentazione di tale scheda deriva dalla necessità di integrare gli strumenti di rilevazione allora presenti con un modello specifico per i palazzi d'interesse storico-artistico. Infatti ad esempio per il terremoto del 2002 in Molise per il rilievo dei cinematismi dei palazzi vincolati venne utilizzata la scheda per il rilievo del danno e dell'agibilità a cura del Servizio Sismico Nazionale e del GNDT (scheda AEDES I livello)³⁷.

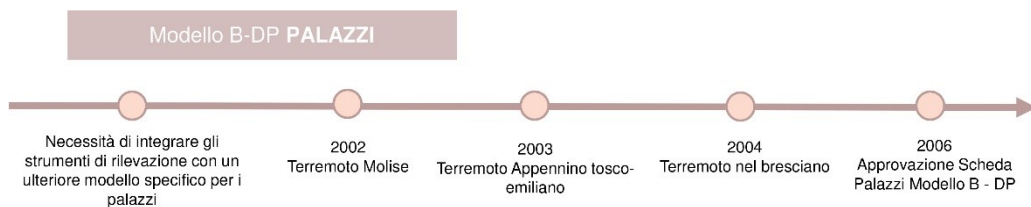


Figura 9. Evoluzione della Scheda Palazzi Modello B-DP.

Analogamente alla Scheda Chiese, quella per i Palazzi si compone di due sezioni, la prima relativa all'identificazione del bene e alla sua descrizione e la seconda inerente il censimento dei macro-elementi presenti e dei relativi meccanismi attivatisi, il giudizio di agibilità, i suggerimenti sui provvedimenti di pronto intervento e la stima dei costi delle opere. Questa seconda sezione tuttavia è più articolata rispetto alla scheda chiese. In particolare si richiede di censire e codificare uno a uno i diversi macro-elementi: le pareti perimetrali, porticati/logge/atri, pareti interne, corpi scala, coperture, elementi aggettanti e svettanti e corpi annessi (sottosezione B19). Di modo da poter poi associare in maniera puntuale a ciascun macro-elemento censito il relativo meccanismo (Fig.10) e livello di danno (sottosezione B23.1). Come già detto tali livelli

³⁶ Decreto del Ministro dei Beni e le Attività Culturali del 23 febbraio 2006, pubblicato in Gazzetta Ufficiale il 7 marzo 2006 n°55

³⁷ CIFANI G., LEMME A., PODESTÀ S. 2005, p. 20

sono graduati secondo un giudizio qualitativo che va da 0 a 5, dove 0 rappresenta l'assenza di danno e 5 il crollo del macro-elemento. In tale sottosezione si richiede inoltre di indicare se il meccanismo è secondario, ossia se sullo stesso macro-elemento è stato individuato un altro meccanismo con livello di danno maggiore, in questo caso non concorrerà al calcolo dell'indice di danno. I meccanismi di dissesto di parti strutturali (sottosezione B23) presenti nella scheda sono 22 per 10 macro-elementi, a cui si aggiungono i due campi "altro", in cui poter censire cinematismi che non rientrano tra quelli indicati³⁸. In questa sottosezione, a differenza del Modello A-DC per le chiese, non è sufficiente indicare se il macro-elemento è presente o meno, ma occorre fornire il numero di macro-elementi presenti nella fabbrica, che concorre nel calcolo dell'indice di danno. Infatti tale indice si ottiene con la seguente formula $I_d = d/5n$, dove n è la somma dei meccanismi possibili (ossia la somma del numero di macro-elementi) e d è la somma dei livelli di danno dei meccanismi primari.

Infine sulla base dei dati acquisiti durante il rilievo speditivo alla squadra dei rilevatori viene richiesto di formulare un giudizio sull'agibilità del bene, scegliendo una tra le sei opzioni previste: agibile, inagibile, parzialmente agibile, agibile con provvedimenti, temporaneamente inagibile e inagibile per cause esterne. A differenza della scheda Chiese, per quella dei Palazzi attualmente non è previsto un relativo Manuale di compilazione.

³⁸ Tale voce, come verrà illustrato nel paragrafo successivo, è stata utilizzata in diverse occasioni per il censimento dei danni alle architetture fortificate.

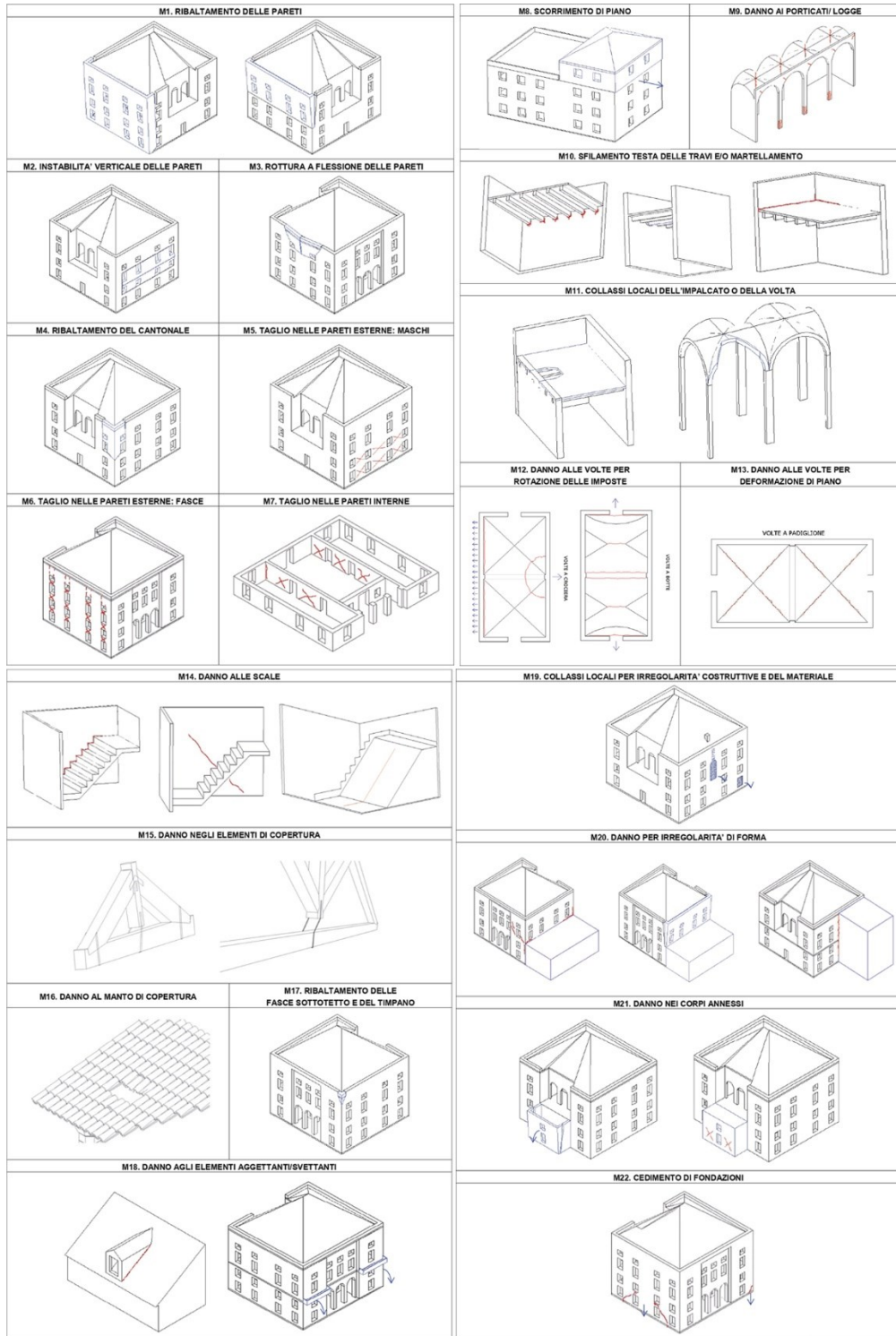


Figura 10. Abaco dei 22 meccanismi di danno della scheda Palazzi – Modello B-DP.

CAPITOLO 2

ARCHITETTURE FORTIFICATE EMILIANE

2.1 DEFINIZIONE DELLA TIPOLOGIA OGGETTO DI STUDIO

Architettura fortificata o *complesso fortificato* sono termini che coprono ad ampio spettro tutte le varieguate manifestazioni dell'architettura militare, tanto varie per forma e tipologia, in base al luogo e al tempo di costruzione. Per questo motivo si intende fin da qui chiarire l'oggetto di studio della presente tesi, ossia quei complessi realizzati in Italia, e più specificamente in Emilia, tra il X e il XV secolo, anche se spesso restaurati in stile tra il XIX e XX secolo, caratterizzati dall'uso preponderante di muratura in laterizi, e soprattutto dotati dei macro-elementi caratteristici: *torre, mura di cinta, palazzo, merli, beccatelli, torrette, garrite e analoghi elementi aggettanti o svettanti*. La presenza o meno di tali macro-elementi è un criterio fondamentale per determinare se un bene rientri o meno nella categoria qui esaminata; in quanto lo studio dei meccanismi di dissesto sismico specifici delle architetture fortificate, che questa tesi intende approfondire, non può prescindere dalla suddivisione della fabbrica nei suddetti macro-elementi. Infatti, è nota la propensione delle fabbriche in muratura a danneggiarsi secondo meccanismi ricorrenti, i cui cinematismi possono essere letti più agevolmente suddividendo la fabbrica in porzioni unitarie, dette appunto macro-elementi, entro le quali il comportamento sismico è osservabile nella sua compiutezza¹.

A proposito della definizione della categoria oggetto di studio, occorre notare che nel territorio emiliano sono presenti diversi palazzi che hanno mantenuto la denominazione di castello o toponimi simili, legati probabilmente alla loro funzione originaria. Tuttavia oggi si presentano del tutto trasformati e privi di quei caratteri tipici dell'architettura fortificata (ad esempio la Rocca di Castelnovo di Sotto a Reggio Emilia). Tali esempi non rientreranno nella suddetta definizione di *architettura fortificata*, in quanto l'assenza totale dei sopramenzionati macro-elementi non consente di avere quelle caratteristiche minime in comune tra i vari casi studio, tali da permettere l'analisi dei danni ricorrenti e il loro confronto. Al contrario tra questi rientrano quegli edifici che, pur non avendo nel nome la dicitura castello, presentano i macro-elementi tipici, esempio Villa La Giovannina a San Giovanni in Persiceto o Palazzo delle Torri a San Prospero.

Inoltre nella presente tesi l'uso dei termini *architettura fortificata* o *complesso fortificato* verrà generalmente preferito al vocabolo *castello*, non solo perché

¹ DOGLIONI F. et al. 1994, p.71

restituiscono meglio l'idea di un'architettura composita², ma soprattutto per via dell'ambiguità dell'origine e dell'uso generalizzato del termine *castello*. Infatti tale termine deriva dal vocabolo latino *castellum*, diminutivo di *castrum* (accampamento militare), ma molto presto sembra acquisire una sua indipendenza semantica³. Il termine *castellum* viene a designare genericamente un'opera difensiva, dalla semplice torre al castello con doppia cinta muraria, passando per un'ampia gamma di fortificazioni: residenze e borghi fortificati, castello deposito e altre costruzioni fortificate. Tale varietà, dovuta alle molteplici destinazioni d'uso che questi fabbricati erano chiamati a svolgere, al contesto storico, ambientale e orografico sul quale la fortificazione viene modellata, non trova riscontro nel lessico comunemente usato, che invece tende, ambigualmente, a livellare le pure vistose differenze morfologiche e tipologiche comprendendo tutte queste manifestazioni dell'arte militare in un solo termine: *castello*⁴. Dal X secolo per i castelli che sorgono su rilievi rocciosi entra in uso il termine specifico *rocca* (*arx, rupes, petra o saxum*), che tuttavia già dopo il XIII secolo verrà utilizzato indistintamente anche per le fortificazioni militari di pianura, soprattutto in Emilia e in Lombardia⁵, ne sono un esempio le note rocche estensi.

Senz'altro le forme e le tipologie tanto variegiate dei complessi fortificati, che popolano il territorio italiano, non aiutato a fornire una definizione univoca e semplificata del termine *castello*. Già in passato si è provato a superare l'ambiguità del significato semantico del termine, adottando quello di *castellologia*, cioè letteralmente la scienza che studia i castelli. Tuttavia in questo senso l'uso della voce *castello* sembra ancora prevalere⁶. Per tali ragioni, come già detto, nella presente tesi si è scelto di prediligere l'uso dei termini *architettura fortificata* o *complesso fortificato*.

2.2 L'EVOLUZIONE DELLE FORTIFICAZIONI IN EMILIA ROMAGNA: TIPOLOGIA E MATERIALI

Se risulta difficoltoso dare una definizione univoca di architettura fortificata, ancor più difficile è stabilire un'evoluzione lineare e unitaria del fenomeno dell'incastellamento, le cui manifestazioni variano per forma, tipologia ed epoca costruttiva⁷. Quanto segue non vuole essere una trattazione completa ed esaustiva di tale fenomeno, ma piuttosto una panoramica, che soffrirà certo di schematizzazione, sugli aspetti meglio noti

² Già Gazzola introduceva la definizione di *monumenti compositi* per la categoria delle opere di difesa statica, GAZZOLA P. 1968, pp. 88-94.

³ MÜLLER-WIENER W. 1993

⁴ LUISI R. 1996, pp. 9-10

⁵ MÜLLER-WIENER W. 1993

⁶ MARIOTTI C. 2017, p. 75

⁷ MÜLLER-WIENER W. 1993

dell'incastellamento, con particolare attenzione al periodo storico tra X e XV secolo in area emiliana.

2.2.1 LE ORIGINI

Il fenomeno dell'incastellamento in Italia prende avvio in maniera significativa dal X secolo, sotto la spinta dell'instabilità politica dovuta alle invasioni, a più riprese, di Ungari e Normanni. La situazione di dilagante insicurezza e la mancanza di un governo centrale fecero sì che, su iniziativa locale, fiorissero opere di difesa, alla cui fabbricazione e mantenimento dovevano contribuire, fisicamente o economicamente, gli abitanti del luogo⁸. In questo periodo (X-XII secolo) i materiali utilizzati per la costruzione sono legno e terra, soggetti a un rapido deterioramento, ma funzionali a una costruzione veloce sotto l'impulso di una minaccia imminente. Gli scontri a carattere prevalentemente locale di quel tempo e le primitive tecniche di offesa, giustificavano l'approssimazione e rozzezza delle difese. Meno frequenti erano le costruzioni in muratura, più efficaci, ma anche più costose. Un esempio di costruzione tipica di questo periodo, soprattutto in area normanna e meno frequente sul territorio italiano, è la *motta*: collinetta, anche artificiale, coronata da una torre lignea (Fig. 1)⁹.

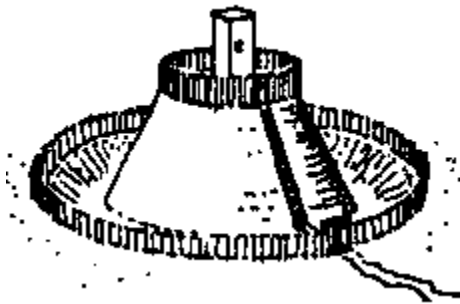


Figura 1 Disegno esemplificativo e schematico di una motta, tratto da *icastelli.org*, disegno di Germano S.

In Emilia Romagna i primi esempi di fortificazioni si riscontrano nelle zone montuose, più facilmente difendibili, in particolare sull'appennino tosco-emiliano. Tali strutture di difesa primitive erano costituite essenzialmente da un *recinto*, realizzato in legno, in terra o in pietrame. Questo tipo di struttura, definita da Carlo Perogalli¹⁰ *castello-recinto* oppure *castello-rifugio* da Carlo Tosco¹¹, aveva un uso contingente, limitato a un periodo di pericolo. Al recinto dall'andamento non regolare, avente funzione protettiva, talvolta si poteva aggiungere la *torre*, con funzione di avvistamento e di controllo dell'ingresso. La torre poteva essere collocata lungo il muro di cinta, oppure

⁸ LUISI R. 1996, pp. 1-10

⁹ LUISI R. 1996, pp. 10-15

¹⁰ PEROGALLI C. 1972, pp. 16-17

¹¹ TOSCO C. 2003, p. 13

essere autonoma, con struttura muraria indipendente. In alcuni casi si attesta la presenza fino a due o tre torri. La sola torre isolata era una tipologia possibile, ma meno frequente. Nello stesso periodo si diffonde la tipologia di *castello-residenza*, che almeno in origine, non sembra discostarsi molto dalle forme del castello-recinto, ma che prevede però un uso stabile, come sede abitativa di un castellano o un feudatario e che va quindi man mano arricchendosi di ulteriori fabbricati che sorgono spontaneamente, senza una disposizione ordinata all'interno della cinta muraria¹².

Tali fabbricati originariamente lignei, a poco a poco, con il perfezionamento delle tecniche costruttive e di assedio, vengono sostituiti da strutture in muratura. Una fase di passaggio, che prende avvio tra il IX e il X secolo¹³ e che Cassi Ramelli definisce "*traduzione in pietra della declinazione lignea*"¹⁴. Al contempo le architetture fortificate, edificate ex-novo o rinnovate, si caratterizzano per l'uso di materiali locali, più economici e di più facile reperibilità: sassi di fiume in collina, ma anche pietre calcaree, arenarie e tufo nelle aree di montagna oppure materiali di spoglio¹⁵, continuando tuttavia a coesistere con fortificazioni lignee meno all'avanguardia¹⁶. Inoltre seguiranno a persistere a lungo soluzioni di difesa provvisorie, montate cioè all'occorrenza, realizzate in legno, quali sporti e tettoie (Fig.2)¹⁷.

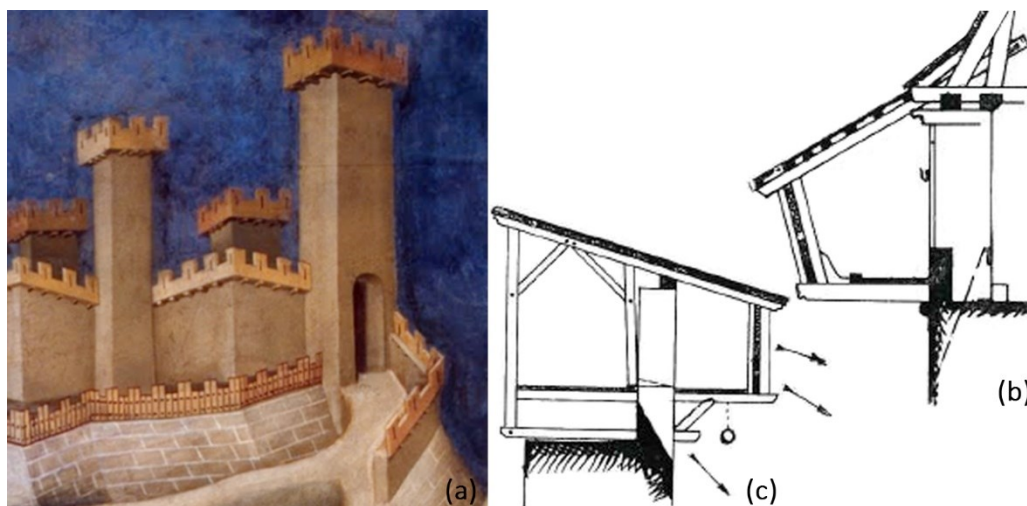


Figura 2 Sporti e tettoie lignei per l'incremento della difesa piombante: (a) dettaglio del dipinto di Martini S., 1330, Guidoriccio da Fogliano all'assedio di Montemassi; (b, c) disegni da Cassi Ramelli 1964, p. 252.

¹² PEROGALLI C. 1972, pp. 16-23

¹³ SETTIA A. 2017, p. 49

¹⁴ CASSI RAMELLI A. 1964, pp. 108-110

¹⁵ ACETO et al. 1995, pp. 11-16 ; Tosco C. 2003, p. 13

¹⁶ SETTIA A. 2017, p. 49

¹⁷ CASSI RAMELLI A. 1964, p. 143

2.2.2 DAL XIII AL XIV SECOLO

A partire dal Duecento, e soprattutto nel Trecento, in Emilia i castelli residenziali acquisiscono le fattezze di un unico edificio compatto, e soprattutto in pianura, ma anche in collina, assumono in pianta forme geometriche più regolari, quadrata o rettangolare. Tra la fine del XIII e la fine del XIV secolo tale tipologia si differenzia in tre schematizzazioni principali, così denominate dal Perogalli¹⁸: *il castello in altezza, il castello a torre centrale e quello a torri angolari*.

1. *Castello in altezza*: tipologia meno diffusa che risponde alla teoria, diffusasi nel corso del Trecento, secondo la quale, per ottenere una miglior difesa, era opportuno sviluppare il castello in altezza (quasi un castello torre).

2. *Castello a torre centrale*: diffusione limitata, ma degna di nota in Pianura Padana. Data la sua datazione alta, si tratta forse di una tipologia di collegamento tra il castello recinto e il castello residenziale. Si articola in due tipi: il primo con mastio centrale isolato, con intorno corpi che formano un cerchio; il secondo con mastio centrale isolato, ma con corpi o cortine attorno disposti a quadrilatero (ad esempio la Rocca di Reggiolo).

3. *Castello a torri angolari*: in Emilia è senz'altro il castello medioevale per antonomasia, diffuso soprattutto in pianura, ma che, leggermente riadattato, si ritrova anche in posizione elevata o a mezza costa. Questa tipologia è caratterizzata da corpi di fabbrica disposti addossati alle mura di cinta e attorno a una corte interna, in genere quadrilatera, e con torri agli angoli. Le torri angolari possono essere rotonde (soprattutto nel piacentino) o quadrilatera, come nel caso delle rocche estensi.

Tali tipologie più complesse si diffondono prevalentemente in pianura, dove l'orografia del terreno impone meno vincoli, ma allo stesso tempo, priva difese naturali, costringe a ingegnarsi su nuove tecniche di difesa. In tali fortificazioni di pianura l'uso del mattone risulta predominante, a causa della natura argillosa del suolo della Pianura Padana, che nei secoli ha reso il laterizio il principale materiale da costruzione, con varie declinazioni a seconda della zona, del periodo storico e della tradizione, in un'epoca ancora distante dalla nozione di standardizzazione industriale¹⁹. Solitamente si tratta di mattoni in argilla pieni, con caratteristiche meccaniche medio-buone²⁰. Eppure l'artigianalità costruttiva, tipica dei fabbricati della *Bassa*, va in parallelo con la povertà del materiale disponibile in questa zona: muri di mattoni in terra locale, cotti in semplici fornaci; malte terrose, a volte mischiate a sabbia contaminata da limi e argille che le

¹⁸ PEROGALLI C. 1972, pp. 16-23

¹⁹ CHIERICI S. (a cura di) 1988

²⁰ MARIANI M. 2016, pp.177-179

conferiscono il tipico colore giallo, spesso poverissime o del tutto prive di calce²¹. Per tali ragioni le malte hanno resistenze a taglio molto bassa, anche dell'ordine di 0,2 MpA²².

In caso di cantieri importanti erano le stesse maestranze a predisporre le fornaci necessarie nei pressi della fabbrica, economizzando e snellendo i costi di trasporto, garantendo un prodotto il più possibile omogeneo. In altri casi ci si rivolgeva a piccoli produttori "specializzati", all'epoca diffusi su tutto il territorio oggetto di studio. In base alla fornace di provenienza e alle capacità delle maestranze cambiavano la dimensione dei mattoni, la purezza dell'argilla, il tipo di impasto e le rifiniture²³. Da infornata a infornata poteva cambiare il tipo di cottura del mattone, anche se proveniente dalla medesima fornace. Infatti tempi di cottura più lunghi, ma non eccessivi, producevano mattoni con una buona resistenza a compressione e quindi più pregiati e ricercati; mentre tempi di cottura troppo brevi fornivano mattoni insufficientemente cotti e quindi dalle caratteristiche meccaniche inadeguate. La produzione di mattoni di qualità scarsa non doveva essere un'eccezione, infatti la limitata disponibilità di legname, usato come combustibile, portava ad eseguire cotture insufficienti. In base ai tempi di cottura si distinguono le seguenti tipologie di mattoni (dal meno cotto al più cotto): *albasi*, *mezzani*, *forti* e *ferrioli*. Talvolta se nel paramento esterno è possibile riconoscere mattoni ben cotti e ben apparecchiati, i crolli hanno portato alla luce l'impiego di mattoni crudi o poco cotti, distinguibili dal colore giallastro o grigiastro, nei nuclei interni della muratura²⁴. Alla fine del XIV secolo e per tutto il XV secolo la diffusione degli stampi consentirà un potenziamento della produzione, quasi in serie, dei laterizi²⁵. Per quanto riguarda invece i leganti e i rivestimenti spesso veniva utilizzato lo stesso tipo di impasto senza distinzione²⁶. Secondo quanto riportato nel Manuale dell'Architettura di Giovanni Branca²⁷, si apprende come nel modenese fossero diffuse le malte di calce, il cui principale inerte utilizzato era sabbia proveniente dai letti dei fiumi Panaro e Secchia dai relativi canali. Più la percentuale di sabbia era alta, minore era la qualità della malta.

²¹ DI FRANCESCO C. (a cura di) 2014, pp.15-20

²² MARIANI M. 2016, p. 144

²³ FERRARI L., GOLDONI G. 2014

²⁴ MARIANI M. 2016, pp.177-179

²⁵ TOSCO C. 2003, pp. 51-55

²⁶ *ibidem*

²⁷ BRANCA G. 1772



Figura 3 I crolli del 2012 hanno fatto emergere la struttura muraria di queste fabbriche, con spessori murari costituiti da più fogli spesso non ben collegati trasversalmente tra loro. In foto due dettagli dei danni subiti dalla Rocca di San Felice sul Panaro, Modena.

2.2.3 XIV SECOLO E L'AVVIO DEL PERIODO DI TRANSIZIONE

Nel corso del Quattrocento non si sviluppano ulteriori tipologie castellane, ma piuttosto si interviene sull'esistente ammodernando le tecniche di difesa e offesa. In particolare si migliora la tecnica del tiro piombante²⁸, attraverso la messa in opera di sporti, una soluzione costruttiva più costosa, ma anche più efficiente rispetto alle precedenti strutture lignee provvisorie, costituita da mensole (in genere in Pianura Padana da beccatelli in mattoni), alternate a caditoie, aperture da cui si poteva colpire il nemico, con la caduta di oggetti, senza esporsi²⁹. Una rilevante serie di fortificazioni realizzate nella prima metà del XV secolo, nelle provincie di Parma, Reggio Emilia e Modena, costituiscono un valido esempio di questa innovazione. Nella seconda metà del secolo l'avvento dell'artiglieria, che però è ancora tecnologicamente poco avanzata³⁰, indusse, più che a radicali innovazioni (per altro molto costose), all'ispessimento dei muri di

²⁸ PALLONI D. 1992

²⁹ La soluzione tecnologica qui descritta sarà più ampiamente trattata nel paragrafo successivo.

³⁰ CASSI RAMELLI A. 1964, pp. 309-314. In particolare Cassi Ramelli riferisce come a metà del Quattrocento, nonostante l'artiglieria fosse già diffusa non aveva ancora raggiunto il suo pieno sviluppo tecnologico (pezzi molto pesati, difficili da spostare e ricaricare) e non era in grado di arrecare un danno significato alle murature, che quindi continuavano ad avvalersi di difese antiche.

difesa già esistenti, in modo da meglio assorbirne passivamente i colpi. Sono un esempio di questa soluzione le rocche di Torrechiara, Castelguelfo e Roccabianca³¹.

Nel frattempo, in Romagna vengono costruite nuove fortificazioni, comunemente definite rocche, che adottano soluzioni più avanzate per contrastare l'artiglieria: torrioni bassi, massicci e rotondi agli angoli, al posto delle torri quadrate; abbassamento del mastio al livello delle torri angolari e abbassamento delle torri angolari a livello della cortina muraria, in quanto bersaglio facile e fragile. Tuttavia in diversi esempi viene mantenuto l'apparato a sporgere se pur inidoneo e fragile di fronte ai colpi dell'artiglieria.

Se quindi, in questa fase, la Romagna è all'avanguardia in tema di tecniche di difesa, non si può dire lo stesso per le fortificazioni delle province centrali della Regione, corrispondenti in parte preponderante al Ducato Estense, che, fino 1598, domineranno su Ferrara, Reggio Emilia, Modena e sulla porzione di campagna a Nord di Bologna. In merito alle rocche estensi, vale la pena fare una breve parentesi per sottolineare che già all'epoca di Ercole I d'Este (1471-1505) tali fabbricati vertevano in uno stato di conservazione precario, infatti la loro manutenzione era spesa non di poco conto sia per il duca che per le comunità locali, alle quali spettava l'onere del mantenimento delle cinte murarie. Le fortificazioni estensi sul confine bolognese erano probabilmente ben lontane da una reale efficienza. Tuttavia, sotto il ducato di Ercole I, non furono mai sottoposte ad assedio, risulta quindi difficile capirne la reale inefficacia difensiva. Probabilmente l'assenza di un pericolo imminente non sembrava giustificare sforzi economici e fisici nella riparazione di tali fabbricati, che, come emerge dalle fonti documentarie, sembra fossero soggette a crolli locali e a cedimenti strutturali. Inoltre problema comune a queste rocche, in genere costruite a presidio di fiumi (Fig. 4), erano le infiltrazioni d'acqua, che minacciavano la solidità delle difese estensi, senza contare le periodiche esondazioni del Panaro³². In generale questi territori di pianura, strappati alle paludi e alle acque del sistema deltizio del Po', grazie ai programmi di bonifica intrapresi dagli estensi dalla prima metà del quattrocento e poi proseguiti nel corso l'Ottocento, erano caratterizzati da una lotta continua di difesa delle inondazioni stagionali³³, da falde acquifere superficiali e di conseguenza da un terreno generalmente paludoso. Tali componenti ovviamente avevano una ricaduta sul costruito e a maggior ragione su quei fortificati costruiti a guardia dei corsi d'acqua, in particolare fenomeni di risalita di umidità e cedimenti fondali. Inoltre si ha

³¹ PEROGALLI C. 1972, p. 25

³² MANTOVANI S. 2005, pp. 175-180

³³ Il Po e i suoi affluenti Secchia e Panaro oltre che il Reno sono fiumi pensili, tipici delle pianure bonificate, che necessitano di manutenzione costante onde evitare esondazioni. Si tratta cioè di corsi d'acqua, spesso canalizzati artificialmente, aventi il letto ad una quota superiore rispetto alla pianura circostante, di modo da poter creare una pendenza tale da consentire il deflusso delle acque.

testimonianza del problema di ristagno delle acque, alimentate dalla falda superficiale, e dell'occupazione dei piani terra da parte dei detriti portati dalle alluvioni per il Castello delle Rocche di Finale Emilia e per Rocca Stellata di Bondeno³⁴. Dunque date le caratteristiche meccaniche del terreno e la tipologia di fondazione tipicamente adottata, ossia il semplice inspessimento dei muri al di sotto del piano di campagna, spesso gli edifici della Pianura Padana sono caratterizzati da altezze modeste (4 piani al massimo)³⁵.

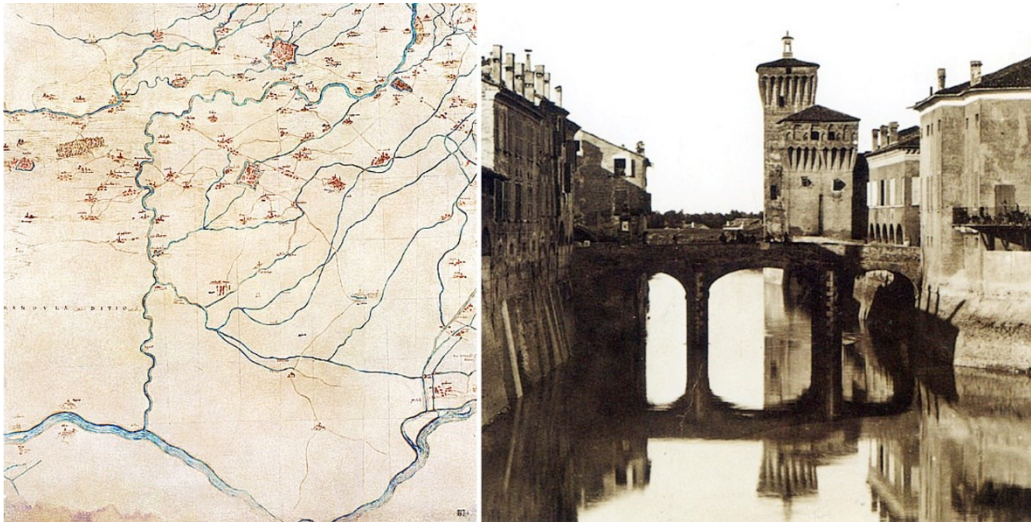


Figura 4 La dinamica insediativa e la localizzazione dei fortificati della Pianura Padana, e in particolare del modenese, è strettamente legata all'idrografia del territorio, oggi in parte mutata. Infatti la rete di queste strutture militari era fondamentale per il presidio signorile del territorio e delle sue principali vie di comunicazione e commercio, tra le quali appunto i corsi d'acqua³⁶. A sinistra la carta degli Stati estensi di Pasi M.A., 1580 (Biblioteca Estense Universitaria di Modena); a destra una foto d'epoca della Rocca di Finale Emilia prima dell'interramento del canale Naviglio del 1891, tratta dal sito terreferme.beniculturali.it.

Naturalmente altra calamità che minacciava i beni architettonici erano i terremoti. A tal proposito di grande importanza sono le testimonianze scritte di Pirro Ligorio, relativamente alla ricostruzione successiva al terremoto distruttivo del 1570 a Ferrara (Fig. 5), da cui si apprende che, sulla base dei danni osservati, "questa calamità ha insegnato a fabbricare con più sicurtà"³⁷. In particolare da tali scritti emerge che il Castello estense di Ferrara farà scuola in merito ad alcuni dei precetti fondamentali del buon costruire, che verranno adottati diffusamente e applicati con maggiore

³⁴MANGOLINI D. 2017, pp. 175-176; SABAP-BO, Fondo Sisma, fasc. 038003_13 Forte estense di Bondeno, FE - Relazione storica

³⁵MARIANI M. 2016, pp.143-145

³⁶BONACINI P. 2005, pp.41-64; SETTIA A. 1996

³⁷LIGORIO P. 1571

accortezza. Nello specifico tra gli accorgimenti previsti per la residenza degli Este annoveriamo catene; fasce metalliche di collegamento tra parti lignee di solai e capriate; alleggerimenti delle strutture voltate, che vengono realizzate in arelle e appese a solai lignei al posto delle più pesanti volte in mattoni; impiego di cornicioni in legno in sommità al posto di quelli in cotto sagomato (Fig. 6)³⁸.

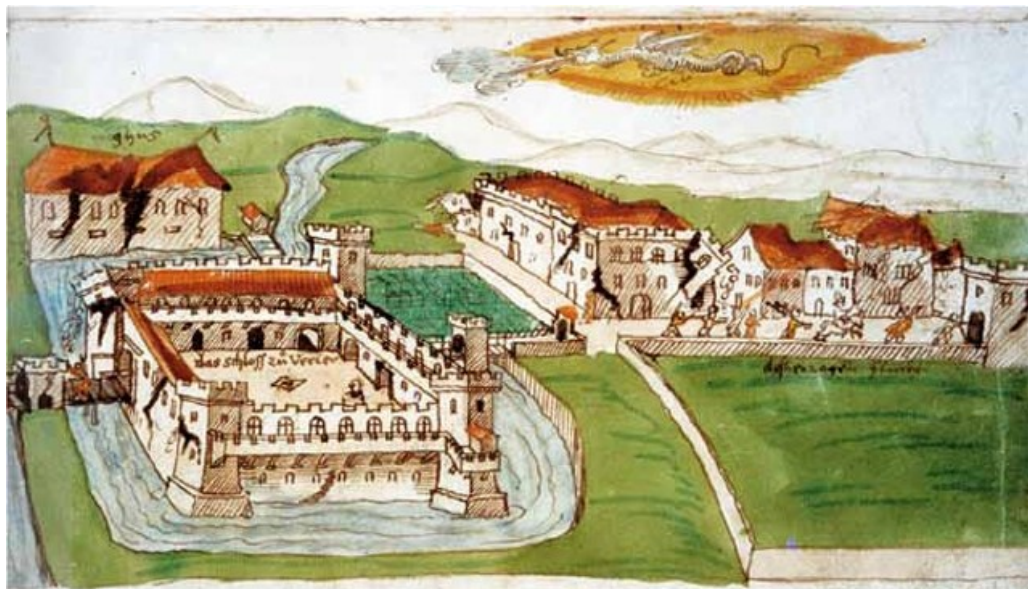


Figura 5 Helden H. J., Ferrara distrutta dal terremoto del 1570, Biblioteca Universitaria di Zurigo.

Nel frattempo, a causa della mutata situazione geopolitica in Emilia Romagna, che assume un ruolo marginale, e dell'avvio della *fase di transizione ossidionale* in Italia (1500-1570)³⁹ anche le rocche romagnole, se pur di recente costruzione perdono di efficacia. In conclusione si può quindi affermare che castelli e rocche emiliano-romagnoli, ormai divenuti tecnologicamente obsoleti, esauriscono la loro funzione militare alle soglie del Cinquecento⁴⁰. Nonostante ciò il loro ciclo vitale prosegue. In molti casi infatti assumeranno funzione prettamente residenziale, trasformandosi in *villa o castello-reggia*⁴¹.

³⁸ MARIANI M. 2016, pp.177-179

³⁹ CASSI RAMELLI A. 1964, pp. 307-384. Dalla seconda metà del XV secolo il sempre crescente miglioramento tecnico dell'artiglieria impone la necessità di contrastarlo con sistemi di difesa rinnovati. Tale rinnovamento però non fu certo repentino e immediato, ma fu necessario un cosiddetto *periodo di transizione*, che si interpone tra il progressivo abbandono delle tecniche di difesa medievali e la nascita del fronte bastionato.

⁴⁰ PEROGALLI C. 1972, pp. 28-30

⁴¹ CACIAGLI G. 1979, pp. 271-273. Il termine castello-reggia viene preferito da Caciagli, perché, a differenza del termine villa, è scollegato da rimandi alla residenza connessa all'attività agricola.



Figura 6 Cornice lignea del Castello estense di Ferrara, che corre lungo tutto il perimetro dell'edificio (foto dell'autrice).

2.2.4 RESTAURI IN STILE

Come già accennato, tra i casi studio, che verranno presi in esame, diversi sono stati soggetti a ingenti restauri in stile tra il XIX e il XX secolo, che ne hanno sconvolto non solo l'immagine autentica, ridefinendola secondo canoni ideali, ma che hanno apportato alla fabbrica ulteriori problematiche strutturali. In particolare tra l'ultimo ventennio dell'800 e il primo decennio dell'900 nel bolognese conobbero particolare fortuna le teorie dell'Architetto Alfonso Rubbiani, che traggono esplicito riferimento dagli scritti di Viollet-le-Duc. Come noto tali teorie si fondano sull'idea di ricercare la bellezza originaria e ideale del monumento e sulla volontà riportarlo a uno stato di compiutezza che potrebbe non essere mai esistito. In particolare il Rubbiani sarà attivo nell'ultimo decennio dell'800, presso il cantiere di restauro del Castello dei Manzoli a Minerbio, ricostruendo ex-novo il ponte levatoio e la cortina merlata (Fig. 7)⁴².

Influenzati dall'opera del Rubbiani, si assiste ad analoghi restauri in stile promossi da altri architetti. Ad esempio nella seconda metà dell'800 si avvia il lungo cantiere del Castello di Galeazza a Crevalcore (Fig. 7), il cui nucleo originario del XIV secolo consisteva essenzialmente nel mastio e la restante parte del complesso erano edifici ad uso agricolo risalenti verosimilmente al XVII secolo. Il progetto prevede ridisegno degli edifici esistenti in stile medievale e la costruzione di corpi di fabbrica a completamento di un ipotetica unità originaria. In particolare viene edificato un corpo di fabbrica longitudinale di collegamento tra i corpi di fabbrica esistenti e la torre originaria, di modo da ricreare due corti aperte: una principale in asse con la strada ed una secondaria più piccola, dove si affacciano gli ambienti di servizio e ad uso agricolo. Al

⁴² GIANANTE M. 2017

fine di dare unitarietà e solennità al complesso, ai corpi di fabbrica affacciati sulla corte maggiore viene applicata una nuova facciata con terminazione a merli a coda di rodine e con aperture regolarizzate. Completa e chiude la nuova corte, una scenografica torre in asse con l'ingresso principale, con arco d'accesso a collegamento con il bosco retrostante. Anche il Castello dei Bentivoglio a Bentivoglio nel 1889 è oggetto di un restauro in stile che comporta numerose ed estese ricostruzioni, rifacimenti e demolizioni, di cui oggi è ancora evidentissimo il lungo muro di cinta merlato che corre intorno alla proprietà.

Tale tipologia di interventi comporta la giustapposizione di paramenti murari diversi, che l'azione sismica rivelerà non bene ammortati tra loro. Allo stesso tempo il parapetto merlato svettante rispetto alla copertura, non ben collegato con la muratura sottostante di epoca antecedente, e l'aggiunta di corpi di fabbrica addossati alle preesistenze, come verrà illustrato nel capitolo successivo, riveleranno tutta la loro vulnerabilità. In particolare le merlature, anche quelle appartenenti a complessi fortificati non soggetti a questi profondi stravolgimenti, sono state spesso oggetto di ricostruzioni parziali o integrali, che ne hanno alterato l'aspetto originario. Infatti tali strutture nel tempo hanno necessitato di continue manutenzioni per via della loro vulnerabilità intrinseca e dell'esposizione a fattori ambientali, che ne comportano un precoce degrado. Gran parte delle merlature che oggi ammiriamo risalgono alla fine del XIX e al XX secolo e a causa della perdita delle conoscenze tradizionali dell'arte del costruire tali strutture sono spesso più fragili rispetto ai loro prototipi e quindi più vulnerabili al sisma, soprattutto se non ben collegate con la muratura sottostante di precedente edificazione⁴³.



Figura 7 Due esempi di architetture fortificate restaurate in stile: a sinistra il Castello dei Manzoli, Minerbio; a destra Castello di Galeazza Pepoli, Crevalcore.

⁴³ FACCHI E., GRIMOLDI A., LANDI A. G., ZAMPERINI E. 2021

2.2.5 RESTAURI DEL XX SECOLO

Non da ultimi anche gli interventi di consolidamento effettuati nel corso del XX secolo, precedentemente al ravvedimento del mondo accademico prima e di quello professionale poi, in merito alla compatibilità del cemento armato con strutture in muratura antiche, hanno comportato la messa in opera in maniera diffusa di integrazioni che non solo si sono rilevate inadeguate, ma anche dannose per il patrimonio in muratura. Tali interventi si collocano in un periodo storico in cui si riponeva grande fiducia nelle caratteristiche tecniche del cemento armato e in cui l'avvento dei calcolatori elettronici aveva portato ad affidarsi a modelli numerici per la verifica anche delle strutture storiche⁴⁴, ritendo per molti anni superati l'approccio empirico e lo studio delle proporzioni e delle buone pratiche del costruire⁴⁵.

Tale spirito di fiducia in questo nuovo materiale, amplificato dalla scarsa conoscenza del comportamento sismico della muratura, ritenuta quindi non sicura, viene recepito dalla normativa. Prima normativa sismica in Italia risale al 1909, quindi successivamente al terremoto di Messina del 1908, in cui l'approccio indicato per le strutture monumentali è quello del caso per caso, senza tuttavia imporre nessuna prescrizione cogente, il che comporterà l'adozione di interventi in C.A. diffusi sul patrimonio costruito in muratura nella prima metà del XX secolo e oltre, in nome della sicurezza. Al contempo Tale approccio sarà avallato inoltre dalla Carta del Restauro di Atene del 1931: "Gli esperti [in merito] all'impiego di materiali moderni per il consolidamento degli antichi edifici [...] approvano l'impiego giudizioso di tutte le risorse della tecnica moderna, e più specialmente del cemento armato". Tuttavia l'impiego così diffuso e impattante del C.A. nel corso della prima metà del XX secolo, porterà a delle prime riflessioni e ripensamenti. In particolare vengono fornite indicazioni di cautela nell'impiego di questo materiale nella Carta del Restauro di Venezia del 1964.

Gli eventi sismici degli ultimi 40 anni e i relativi studi, già ampiamente citati nell'Introduzione, hanno però rivelato, in tutta la loro drammaticità, l'inadeguatezza di tali inserimenti. Infatti tali elementi all'interno di strutture in muratura ne stravolgevano, in negativo, il comportamento strutturale, rendendolo difficile da

⁴⁴ Infatti risale al 1991 la norma per la ricostruzione (D.M. LL. PP. - 2.7. 1981), che applica il concetto di adeguamento sismico al patrimonio costruito, ossia l'obbligo di raggiungere standard di sicurezza uguali a quelli delle nuove costruzioni, definiti sulla base di modelli di calcolo teorici per la muratura (es. Metodo POR). Le ragioni di tali normativa sono da ricercare nella grande senso di insicurezza causato dai danni prodotti dal terremoto dell'Irpinia del 1980, che sposteranno il focus del dibattito dal tema della conservazione a quello della sicurezza. Il risultato paradossale è la necessità intervenire, in maniera anche invasiva, sull'esistente per applicare dei modelli, che non rispecchiano il comportamento tipico degli edifici storici in muratura.

⁴⁵ BLASI C. 2013, pp. 1-13

prevedere, producendo inoltre incompatibilità termiche e martellamenti⁴⁶. Il tutto senza contare l'invasività che tali elementi comportano in una fabbrica storica, minandone la sua conservazione materiale⁴⁷. Per tali ragioni già nel 1986 la normativa (D.M. 24/01/1986) aveva introdotto il concetto di miglioramento sismico: "insieme di opere atte a conseguire un maggior grado di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche senza per altro modificare sostanzialmente il comportamento globale dell'edificio". Quindi la possibilità di aumentare la sicurezza dell'edificio storico senza l'obbligo di raggiungere gli standard delle nuove costruzioni, preservando dunque l'integrità materiale del patrimonio architettonico, darà il via a un diverso tipo di approccio, non più quantitativo (modelli di calcolo e analisi globali), ma qualitativo.

L'incompatibilità di tali interventi è emersa anche a seguito delle scosse sismiche del 2012. Tristemente note sono ormai le immagini della Rocca di San Felice sul Panaro (Modena) con le torri minori capitozzate a seguito dello scorrimento orizzontale della parte sommitale, dovuto alla presenza dei cordoli in C.A., che connettevano la copertura con la muratura sottostante e che, data la resistenza maggiore rispetto alla muratura, hanno concentrato le tensioni nella zona in muratura sottostante, con resistenza inferiore, provocando lo slittamento della parte superiore e quindi il crollo. Mentre il mastio, privo di tale consolidamento, si è indubbiamente danneggiato (in merito alla zona della copertura si rilevano gravi danni a taglio delle merlature), ma, fornendo una risposta globale al sisma, ha conservato la sua integrità strutturale e non è collassato. In merito al caso della Rocca di San Felice sul Panaro, un primo intervento sulla torre portaia risale agli anni '60 ad opera dell'architetto Scattini. Nello specifico venne prevista una nuova copertura lignea gravante su una struttura a cordolo in C.A., che fungeva da cerchiatura e che veniva poggiata sulle teste dei merli, senza prestare particolari attenzioni ai temi della conservazione, reversibilità e minimo intervento. In particolare vennero distrutte e ricostruite le code di rondine dei merli, variandone lunghezza e curvatura. Senza contare che il cordolo cementizio risultava visibile dall'esterno: un forte contrasto con i materiali tradizionali della fabbrica. Per altro tale intervento, pur collegando i muri della torre in sommità, non prevedeva elementi di collegamento agli altri livelli o con la struttura del muro di cinta retrostante, rendendo di fatto tale intervento non solo poco efficace, ma dando luogo a ulteriori possibili martellamenti e gravando il carico sulla muratura sottostante. L'intervento sulle altre torri risale invece al 1972 su progetto dell'architetto Sergio Piconi (Fig. 8). Pur operando con una maggior premura conservativa, salvando gli elementi lignei delle coperture e smontando e rimontando la parte terminale dei merli, inserisce il cordolo di collegamento sommitale in C.A., come era allora pratica comune. Il cordolo venne

⁴⁶ Nel terremoto dell'Emilia particolarmente perniciosi si sono rilevati per le architetture fortificate i cordoli in C.A. disposti sulla sommità delle torri per il consolidamento della copertura.

⁴⁷ BLASI C. 2013, pp. 1-13

inserito per fungere sia da cerchiatura sia da appoggio per il solaio ligneo soprastante, che, prima dell'intervento, esercitava un'azione spingente sulla parte sommitale delle merlature⁴⁸. In entrambi i casi con l'inserimento del cordolo, la porzione sommitale del merlo sembra venga ridotta con uno scasso, riducendone così la sezione resistente. Inoltre rimane l'interrogativo sulla qualità della connessione tra questi cordoli in C.A. e la muratura, probabilmente molto scarsa, visti gli esiti nefasti prodotti dal terremoto.

Analogamente per Castello delle Rocche di Finale Emilia (Modena), tra il 1961 e il 1969, vennero eseguiti significativi lavori di restauro, ripristino e consolidamento delle merlature e delle aperture relative aperture e di rifacimento delle coperture dei corpi sud e ovest e i solai del secondo piano⁴⁹.

Senza voler demonizzare in senso assoluto il cemento armato, occorrerà porre particolare attenzione alla presenza o meno di tali elementi nel patrimonio costruito, in quanto possibile causa di aggravamento del quadro fessurativo. Nello specifico della architettura fortificate potrebbe essere interessante verificare come questi cordoli in C.A. si appoggino alle strutture murarie sottostanti e in particolare ai merli. Infatti anche il tipo di connessione cordolo-merlo, evidentemente non adeguato, potrebbe aver amplificato gli effetti di scorrimento delle coperture che sono stati registrati in seguito alle scosse del 2012.

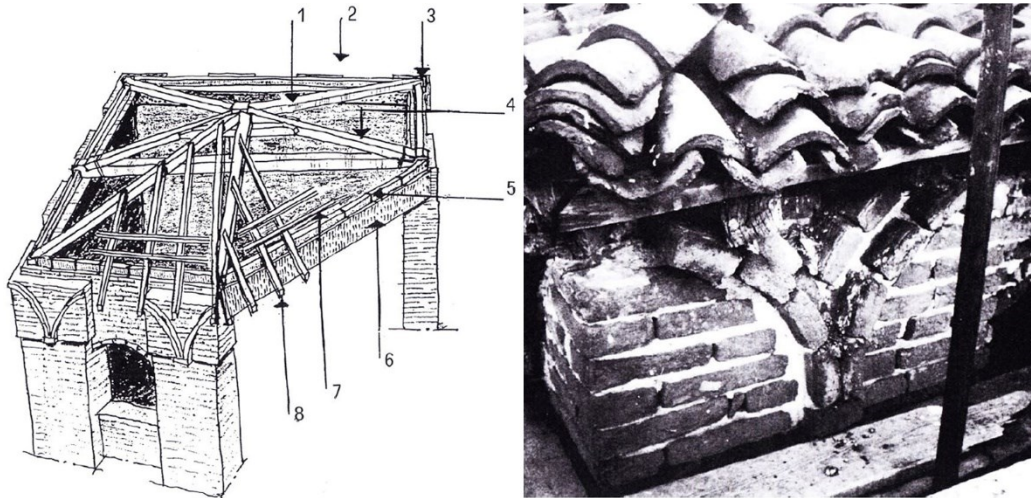


Figura 8 Fotografia e progetto di restauro di Piconi del 1972: vista prospettica della copertura della torre nord-ovest. Legenda: 1) puntoni; 2) filo linea di gronda; 3) angolari in ferro annegati nel cordolo; 4) capriata; 5) staffe di fissaggio della trave corrente sui muri; 6) architrave in c.a. scalpello in continuità con il cordolo; 7) correnti; 8) travicelli, tratto da FERRARI L., GOLDONI G. 2014

⁴⁸ SABAP-BO, Fondo Sisma, fasc. 036037_3 Rocca estense di San Felice sul Panaro, MO - Relazione storica

⁴⁹ MANGOLINI D. 2017, pp. 177-178

Inoltre può essere d'interesse ricordare che l'area del sisma del 2012 era già stata interessata da alcuni terremoti molto recenti, se pur di intensità minore. In particolare nel reggiano il terremoto del 1996 aveva già danneggiato alcuni dei castelli che verranno presi in esame. Sono quindi emersi i consolidamenti effettuati all'epoca. In particolare, indagini e i saggi in loco hanno portato alla luce il consolidamento effettuato nel mastio della Rocca estense di San Martino in Rio, non presente negli elaborati di progetto depositati e finalizzato a riconnettere i merli alla muratura sottostante ed evitarne il ribaltamento. Tale consolidamento, realizzato probabilmente in somma urgenza dall'Arch. Garzillo e dell'Ing. Dazzi, consisteva nell'inserimento nella muratura dei merli di trefoli, che proseguivano all'interno della muratura del fusto della torre per diversi metri (Fig. 9). Intervento invasivo che è stato operato su dei merli per la verità non originali, in quanto ricostruiti pressoché integralmente negli anni '60⁵⁰. Analogamente si interviene solo dopo una crisi sismica anche in Centro Italia. Infatti, dopo i danni prodotti dal terremoto del 1979, vengono eseguite opere di consolidamento nella parte alta della torre della Rocca di Arquata del Tronto. In particolare, tra il 1981 e il 1982, vengono messi in opera due ordini di barre ad aderenza migliorata, longitudinali rispetto al parapetto merlato, che avrebbero dovuto contribuire al funzionamento scatolare della muratura. Tuttavia, essendo prive di capichave, sono risultate non idonee a svolgere tale funzione⁵¹.



Figura 9 Fotografie tratte dalla Relazione di Variante del Progetto esecutivo per della Rocca estense di San Martino in Rio (2018). Durante i lavori sono emersi gli interventi alle merlature del Torrizzo eseguiti dopo il sisma del 1996.

Nel corso del XX secolo hanno contribuito a creare ulteriori vulnerabilità anche l'avvicinarsi di funzioni diverse, a volte non del tutto appropriate e ognuna con le sue esigenze di demolizione e costruzione, giustapponendo nuovi corpi di fabbrica spesso in materiali più recenti. È il caso ad esempio della Rocca estense di Cento, in provincia di Ferrara, utilizzata fino agli anni '70 come Istituto Penitenziario, funzione attribuita

⁵⁰ SABAP-BO, Fondo Sisma, fasc. 035037_2 Rocca estense di San Martino in Rio, RE – Relazione di Variante

⁵¹ ZAMPERINI E. 2021, pp. 54-55

fino alla prima metà del XX secolo anche alla Rocca di Finale Emilia. Altro esempio è significativo è l'installazione di un serbatoio idrico, in C.A., con l'aggiunta di un solaio in latero-cemento, nel mastio della Rocca estense di San Felice sul Panaro a partire dagli anni '20. A causa del peso della struttura, non appena alloggiata, il mastio mostrò chiare lesioni da compressione, determinando la rimozione del serbatoio negli anni a seguire. Sempre nella Rocca estense di San Felice sul Panaro, nel primo ventennio del XX sec., si riscontra l'aggiunta di ulteriori corpi (uno adibito a corpo scala, un altro forse a spogliatoi per il vicino campo da calcio e un terzo come "vano tecnico"), poi demoliti entro gli anni '70, che avrebbero potuto comportare gravi fenomeni di martellamento (Fig. 10). Analogamente era accaduto per la Rocca di Pieve di Cento, in provincia di Bologna, a cui era stato accostato prima un fabbricato rustico, di cui ancora oggi è chiaramente visibile la sagoma a doppia falda (Fig. 10), e successivamente l'ex-cabina elettrica in latero-cemento, tutt'ora presente⁵². Uso particolarmente sfortunato fu quello di Magazzino del Sale (1820-1910), a cui furono adibiti gli ambienti del piano primo (allora piano terra) del Castello delle Rocche a Finale Emilia, per via dell'azione corrosiva che il sale produce sulle murature. Inoltre a seguito degli scavi del 1934 che interessarono il cortile della Rocca, l'Ing. Giorgi evidenziò gravi fenomeni fessurativi nelle volte del mastio e distacchi localizzati dei mattoni, verosimilmente dovuti allo svuotamento dello strato di terreno dal cortile, a cui seguì la messa in opera di cerchiature⁵³. Tutte queste condizioni descritte, tra stravolgimenti strutturali e destinazioni d'uso non consone, denotano come da allora sia radicalmente cambiato l'approccio ai beni culturali, per lo meno a quelli monumentali, portatori dell'identità di una comunità.



Figura 10 Da sinistra: Rocca di Pieve di Cento (Bologna) con ancora visibile il fabbricato a doppia falda addossato (1914); Rocca estense di S. Felice sul Panaro (Modena) con il corpo di fabbrica addossato al mastio e il serbatoio in cemento (foto tratte da FERRARI L., GOLDONI G., 2014).

⁵² SABAP-BO, Fondo Sisma, fasc. 037048_8 Rocca di Pieve di Cento, BO – Relazione d'inquadramento.

⁵³ MANGOLINI D. 2017, pp. 173-174

2.3 LE PARTI DEL COMPLESSO CASTELLANO: DIALOGO TRA DIFESA E OFFESA

2.3.1 BENI COMPONENTI: EVOLUZIONE E CARATTERI COSTRUTTIVI

Vengono qui identificati come beni componenti quei fabbricati che, interconnessi tra loro, costituiscono il complesso fortificato. In particolare rientrano in questa categoria: mura di cinta, torri e palazzi. Tale sintetica suddivisione sarà propedeutica all'analisi dei comportamenti sismici dei tre suddetti beni componenti.

2.3.1.1 MURA DI CINTA

Sono la prima forma ancestrale di difesa contro il nemico, costituite originariamente da recinti singoli in legno, per poi essere eventualmente man mano complicate con l'aggiunta di torri, per restare al passo con le sempre nuove tecniche ossidionali, e di palazzi addossati, da cui verranno via via quasi inglobate, quando le architetture fortificate inizieranno a dare sempre più spazio alla funzione residenziale. La cinta muraria si compone di vari segmenti rettilinei, definiti *cortine*, con questo termine si individua un tratto delle mura compreso tra un vertice e un altro o tra due torri⁵⁴. Le mura di cinta, appartenenti ai casi di studio analizzati, presentano attualmente altezze intorno ai 10 metri o più, in linea con le fortificazioni nel XIII secolo (9m Pieve di Cento, 12m San Felice sul Panaro, 14m Rocca di Reggiolo e di Novellara). Più basso è il lungo recinto murario merlato (6 metri circa) del Castello dei Bentivoglio, nel bolognese, ma di costruzione decisamente più recente. Soli pochi metri sono ciò che rimane delle mura del Castello Guidotti a Fabbrico, in provincia di Reggio. Lo spessore va dal mezzo metro per le mura di altezza minore, fino a 1,5 o 2 metri per le mura alte oltre i 10 metri.

Le prime fortificazioni, precedenti all'avvento dei comuni, arroccate in montagna, possiedono una posizione strategica di difesa naturale e quindi lo sviluppo in altezza delle loro mura non è di primaria importanza, anche considerate le ancora primitive tecniche di offesa. Le mura di cinta in questa fase quindi raramente superano i 3 - 4 metri di altezza. Inoltre in questa fase il tracciato, dovendosi adattare all'orografia del territorio, risulta irregolare e la collocazione del mastio e del palazzo rispetto al muro di cinta non seguono uno schema preciso. Già sul finire del X sec. la necessità di una *difesa manovrata*, ossia la possibilità di potersi muovere agilmente lungo tutto il recinto difensivo introduce i *camminamenti di ronda*, ricavati nello spessore della mura di cinta a cui fanno da coronamento, nascosti dietro al parapetto merlato costruito a filo della muratura. I camminamenti potevano anche essere ampliati verso il fronte interno, grazie a mensole lignee in aggetto, aventi spesso carattere provvisorio (Fig. 11)⁵⁵.

⁵⁴ CACIAGLI G. 1979, p. 93

⁵⁵ MARIOTTI C. 2017, pp. 80-85

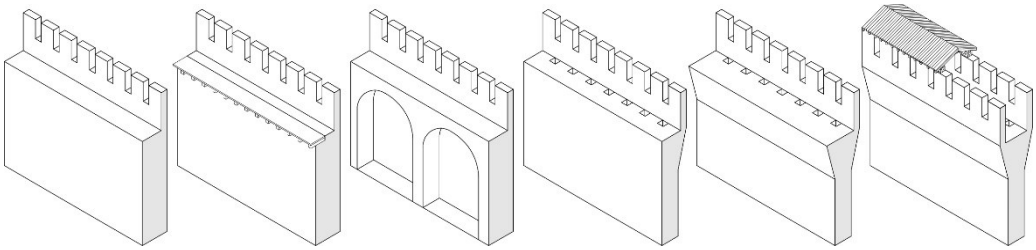


Figura 11 Rappresentazione schematica delle varie tipologie di camminamenti di ronda. Si notino le variazioni di spessore della sezione muraria nella porzione sommitale della cortina, che, come verrà illustrato nel Capitolo 5, hanno costituito un elemento di vulnerabilità sismica.

Dal XIII secolo la Pianura Padana, area priva degli elementi di difesa naturali e dell'inaccessibilità della montagna, si costella di fortificazioni. Per tale ragione sarà necessaria l'applicazione di nuovi accorgimenti tecnico-architettonici, atti a garantire una difesa efficace. In particolare, in questa fase, risulterà particolarmente efficiente la difesa piombante, che si concretizza con l'adozione dell'apparato a sporgere. Le sommità delle mura quindi si dotano di beccatelli e il camminamento di ronda si amplia in aggetto verso l'esterno (Fig. 11). Al contempo per sopperire alla mancanza di difese naturali, le cinte murarie si alzano e si inspessiscono. Le mura infatti non sono alte meno di 10 metri (cioè oltre la misura di due scale sovrapposte)⁵⁶. Per quanto riguarda lo spessore, si evita di scavare le scale o altre stanze accessorie all'interno della sezione muraria, per evitare di minarne la resistenza. In alcuni casi per rafforzare ulteriormente la cinta muraria e renderla più stabile, data la sua altezza, questa viene dotata, nel fronte interno, di contrafforti raccordati nella parte sommitale da archi paralleli alla muratura di modo sia da sorreggere il camminamento di ronda sia da creare dei vani deposito nella parte sottostante (Rocca di Pieve di Cento e Rocca di Reggiolo in Fig. 12)⁵⁷.



Figura 12 Due esempi di mura di cinta con contrafforti: da sinistra Rocca di Pieve di Cento, Rocca di Reggiolo.

⁵⁶ CACIAGLI G. 1979, p. 231

⁵⁷ CACIAGLI G. 1979, pp. 205-206

Successivamente le cortine vengono provviste di *scarpa*, non solo per rafforzare la muratura, ma anche come accorgimento per evitare che gli assalitori potessero avvicinarsi troppo con mezzi mobili e minimizzare l'effetto del tiro avversario e gli angoli morti. Elemento tipico, che ci riscontra spesso nelle fortezze emiliane, a conclusione del tratto inclinato della scarpa è una modanatura in laterizio con profilo a toro (Fig. 13).

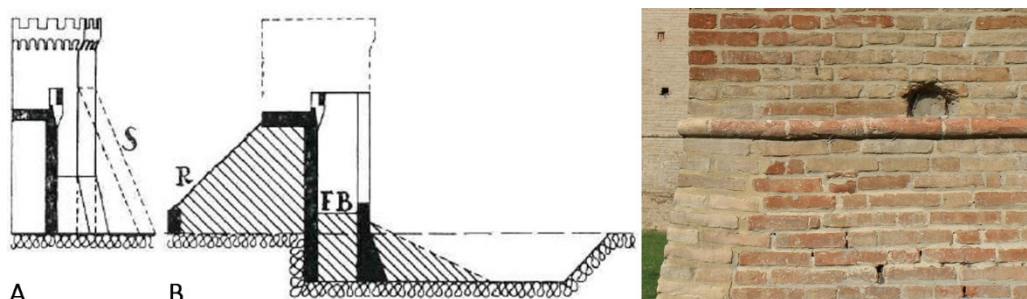


Figura 13 A sinistra l'evoluzione della cortina difensiva tratto da Cassi Ramelli 1964, p. 235: A) Cortina alta con torri interposte più alte, con apparato a sporgere e con scarpa sempre più accentuata; B) cimatura e livellamento delle torri e rinforzo e rinterro della cortina. A destra un dettaglio della cornice che sottolinea la conclusione della scarpa del castello Campori a Soliera.

Inoltre data la maggior vulnerabilità della fortificazione di pianura e data la poca efficacia del tiro ficcante a causa dell'altezza elevata delle mura, per cercare di integrarne l'efficienza, vengono messi in opera stratagemmi per realizzare la cosiddetta *difesa fiancheggiante*⁵⁸. In particolare si tenta di non dare alle mura un andamento troppo lineare e soprattutto si dispongono tra una cortina e l'altra, dove il tracciato cambia direzione, torri sporgenti. Per minimizzare l'avvicinamento del nemico vengono messi in opera muri di contro scarpa e fossati.

Dal XIV secolo per quelle architetture fortificate che poi diventeranno abitazioni signorili, si evidenzia la tendenza all'abolizione delle cinte murarie, accentrando l'interesse sugli spazi aventi funzione residenziale. Di conseguenza quando le mura di cinta perdono il loro ruolo di recinto difensivo anche gli elementi di difesa che le coronavano, persa ogni funzionalità, tendono diventare puri elementi decorativi o ad essere assorbiti nella muratura (es. merlature), per adeguare la struttura a funzione abitativa⁵⁹. Così ad esempio gli antichi camminamenti di ronda, che già sul finire del XIV iniziavano a dotarsi di coperture, divengono logge signorili. Al contempo, con la diffusione dell'artiglieria, i complessi fortificati che, pur nei loro adattamenti, hanno caratterizzato tutto il Medioevo, verranno progressivamente abbandonati e sostituiti da architetture specialistiche, quali ad esempio le cittadelle, che risponderanno meglio

⁵⁸ Difesa che viene effettuata attraverso posizioni di tiro parallele al muro di cinta, di modo da colpire *di fianco* gli assalitori.

⁵⁹ CACIAGLI G. 1979, pp. 248-252

alle esigenze militari, trasformando le cinte murarie in cinte bastionate, molto più tozze e idonee a resistere agli urti dell'artiglieria, dotati di scarpa e controscarpa e terrapieni.

A cavallo tra il XIX e il XX secolo, vengono costruite ex-novo cinte murarie merlate, secondo il gusto tipico di quei decenni che riportava in auge stilemi e forme tipiche del periodo medievale. Tra queste possiamo annoverare le cinte murarie del Castello dei Bentivoglio a Bentivoglio e del Castello dei Manzoli a Minerbio, entrambi nel bolognese (Fig. 14). Tuttavia le altezze delle cortine e le proporzioni forzatamente allungate dei merli, che caratterizzano questi parapetti merlati moderni, ne svelano la datazione tardiva.



Figura 14 Mura in stile realizzate a cavallo tra XIX e XX secolo. A sinistra Castello dei Bentivoglio a Bentivoglio; a destra del Castello dei Manzoli a Minerbio.

2.3.1.2 TORRE

Le torri sono senz'altro tra gli elementi più rappresentativi dell'architettura fortificata. I casi di studio analizzati presentano torri prevalentemente a base quadrangolare, con il lato che in genere misura da un minimo di 5 metri a un massimo di 15. Fanno eccezione i rivellini (Castello di Bentivoglio) o i torrioni (Torrione degli Spagnoli a Carpi, nel modenese), in genere dalle proporzioni più tozze. Le torri analizzate hanno un'altezza in media che va dai 15 m ai 20 m. Fanno eccezione le torri-mastio, che raggiungo altezze maggiori: ad esempio il mastio della Rocca di Reggiolo e quello della Rocca di San Felice sul Panaro hanno un'altezza intorno ai 30 metri. Di notevole altezza sono anche le torri del Castello estense di Ferrara, che con la successiva aggiunta delle lanterne, raggiungono i circa 50 metri di altezza.

Già da prima del X secolo anche le fortificazioni più modeste sono in genere provviste di una torre (in alcuni casi fino a tre), avente funzione di avvistamento. Inizialmente in legno, presto inizia a essere realizzata in materiali più resistenti (pietra o laterizi), in quanto costituisce il baluardo estremo in cui trincerarsi in caso di assedio. Tale torre, spesso nucleo originario dell'intero complesso fortificato, una sorta di "castello nel castello", viene definita *mastio* o *donjon*. Caratterizzata da una mole massiccia, è la struttura più alta di tutto il complesso e poteva essere costruita isolata o lungo il muro

di cinta. I livelli del mastio sono così organizzati: al piano terra il corpo di guardia, la sala d'armi, magazzino, al piano primo la residenza del signore e infine al di sopra lo spazio d'arme come torre di vedetta e difesa⁶⁰. Tuttavia possono essere presenti altre torri minori costruite a filo della cinta muraria e che ne collegano i vari tratti, e li compartimentano, e che generalmente svettano poco rispetto all'altezza della cortina.

In Emilia Romagna, tra fine XIII e fine XIV secolo, le torri sono disposte o isolate al centro del complesso (Rocca di Reggiolo) o più frequentemente a rafforzare i quattro angoli (Fig. 15 e 16). Le torri angolari sono in genere rotonde nel Piacentino e quadrate altrove. Secondo questo schema, che si ripropone con frequenza nella bassa emiliana, un'ulteriore eventuale torre costituiva un'eventualità⁶¹. Con l'introduzione del tiro piombante nella prima metà del Quattrocento, le torri vengono coronate dall'apparato a sporgere, costituito da beccatelli intervallati da archetti e caditoie, che a sua volta sorregge il parapetto merlato. Allo stesso tempo le torri aumentano in altezza, superando di molto la cinta muraria, per la quale, più difficile da difendere, non risulterebbe né economico né pratico aumentare l'altezza. Inoltre le torri disposte lungo la cortina si presentavano aperte sul retro per consentire il veloce approvvigionamento delle munizioni, ma allo stesso tempo per evitare, caso venissero espuguate, azioni a rovescio contro gli assediati⁶². Inoltre più diffusa si fa in quest'epoca è la ricerca di una difesa fiancheggiante. Quindi le torri vengono costruite sporgenti rispetto al perimetro delle cortine, oppure antistanti all'ingresso. Inoltre quest'ultimo già protetto dalla torre portaia, generalmente di proporzioni minori, con l'avvento dell'arma da fuoco viene spesso preceduto da un rivellino, per garantire un ulteriore elemento protezione (Fig. 15 e 16). La torre portaia è un elemento che si ritrova frequentemente in area emiliane e soprattutto nelle rocche estensi, nelle quali è generalmente disposta sporgente rispetto al muro di cinta e nella quale sono praticati degli scassi che consentivano l'alloggiamento a scomparsa dei bolzoni, quando il ponte levatoio era alzato. Oggi questi scassi sono visibili in numerose architetture emiliane e non, se pur probabilmente non del tutto originali. In alcuni casi nella parte sommitale della torre d'ingresso erano presenti strutture per agevolare il tiro piombante sugli assalitori (es. bertesche).

Nella seconda metà del Quattrocento in Romagna, con i primi ritrovati bellici a preludio dell'artiglieria, le rocche adottano torrioni bassi, massicci e rotondi agli angoli, invece delle torri quadrate. Inoltre si inizia, non senza titubanza, data la ancora poca efficacia dell'artiglieria, a operare sull'esistente: abbassamento del mastio al livello delle torri angolari e cimatura delle torri angolari a livello della cortina muraria. Infatti le torri alte

⁶⁰ CASSI RAMELLI A. 1964, p. 104

⁶¹ PEROGALLI C. 1972, pp.16-23

⁶² CASSI RAMELLI A. 1974, p. 35

sarebbero state troppo esposte a tiro e pericolose in caso di crollo, senza contare che risultavano inutili a proteggere dall'alto le cortine, che venivano brecciate da lontano sotto i colpi d'artiglieria, piuttosto che scavalcate. Allo stesso tempo l'impiego della forma rotonda oltre a essere meglio in grado di vanificare i colpi dei proiettili, non offre al nemico gli angoli morti, presenti invece negli spigoli delle torri quadrate. Successivamente, per smorzare e meglio assorbire i colpi, le torri vengono rinforzate, con ulteriori paramenti murari, puntellamenti di muri, contrafforti, e anche terrapienate all'interno⁶³. In tutti i casi vengono munite di scarpe, un chiaro preannuncio all'ormai prossima bastionatura.

Inoltre si fa notare che già verso la fine del secolo XIV, per ovviare al deterioramento dei materiali dovuto all'infiltrazione delle acque piovane, c'è la propensione a coprire la sommità delle torri con tetti a spiovente⁶⁴, modificando notevolmente non solo l'immagine della torre medievale, ma anche il comportamento strutturale del parapetto merlato e del sotto stante apparato a sporgere.

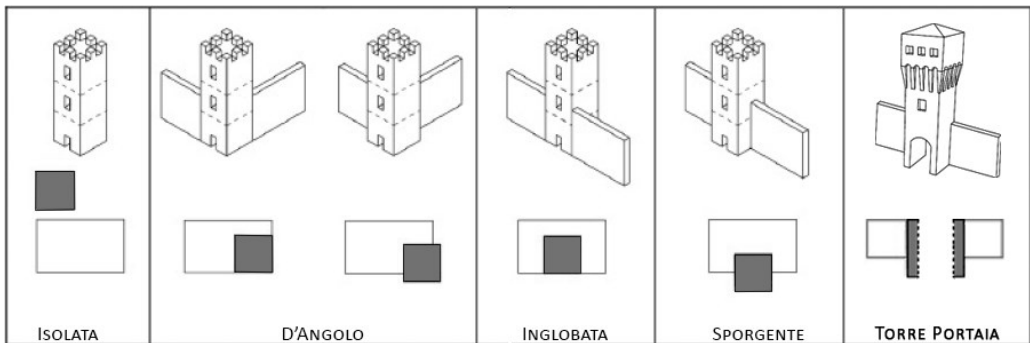


Figura 15 Schematizzazione delle diverse collocazioni della torri all'interno del complesso. La posizione della torre può determinare una diversa risposta al sisma.



Figura 16 Alcuni esempi di diverse disposizioni delle torri nei complessi castellani. Da sinistra: Torre centrale isolata, torre inglobata e torri ad angolo aperte nella Rocca di Reggiolo, Reggio E.; Torri ad angolo

⁶³ CASSI RAMELLI A. 1964, pp. 309-314

⁶⁴ CACIAGLI G. 1979, p. 206

(sporgenti e non) della Rocca di San Felice sul Panaro, Modena; Torre portaia sporgente Castello Lambertini, a Poggio Renatico nel ferrarese.

2.3.1.3 PALAZZO

È lo spazio della fortificazione adibito a funzione abitativa. Dall’VIII al X secolo la funzione residenziale coincide generalmente con il mastio⁶⁵, successivamente trova una propria indipendenza, collocandosi in un edificio a parte. Generalmente a pianta quadrilatera, solo raramente si presenta come un edificio isolato; più frequentemente viene costruito addossato alla cortina perimetrale, con un collegamento diretto al mastio (Fig.17-18). Il fronte opposto, rispetto a quello addossato alla cortina muraria, si affaccia sulla corte interna, spesso con esposizione verso Sud, di modo da sfruttare al meglio la luce naturale. Fino al XII secolo queste dimore feudali erano umili e modeste e rigidamente funzionali, con pochi ambienti promiscui e prive di apparati decorativi⁶⁶. Generalmente erano organizzate su due piani: il piano terra per il ricovero degli animali e degli armigeri e il piano superiore adibito ad alloggio del feudatario⁶⁷.



Figura 17 La struttura a più piani del palazzo spesso si colloca vicino a una o più torri e addossata al muro di cinta. A sinistra una rappresentazione schematica tratta da RIMONDINI G., PALLONI D. 2017, p.65; al centro: Rocca Isolani a Minerbio, Bologna; a destra: Rocca di San Felice sul Panaro, Modena.

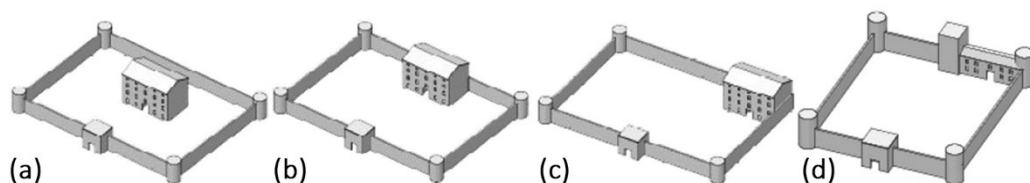


Figura 18 Possibili disposizioni del corpo di fabbrica rispetto al muro di cinta: (a) isolato; (b) addossato; (c) ad angolo; (d) inglobato (immagini elaborate da Erica Lenticchia).

Sul finire del XIV e all’inizio del XV secolo, la commistione di funzioni abitativo-militare cede il passo a quella residenziale, il corpo palaziale inizia a cambiare la propria fisionomia, lasciando maggior spazio ai comfort: cresce in altezza, complica la sua articolazione planimetrica e conserva gli elementi dell’apparato di difesa (merli,

⁶⁵ CASSI RAMELLI A. 1964, p. 104

⁶⁶ CACIAGLI G. 1979, pp. 88-90

⁶⁷ LUISI R. 1996, p. 42

beccatelli...) ormai superati, trasformandoli in dettagli decorativi⁶⁸. In particolare nell'area colpita dal sisma del 2012, le famiglie degli Este, dei Pio da Carpi e dei Pico di Mirandola ci hanno lasciato in eredità complessi architettonici che, sorti come avamposti militari, sono stati convertiti tra il XV e il XVI secolo in dimore di corte, ingentilite da dipinti e da decorazioni⁶⁹. Una maggior ricercatezza estetica, che spesso avrà il sopravvento sugli elementi tecnici militari, va a braccetto con un notevole perfezionamento della tecnica muraria, quasi sempre realizzata in laterizio. D'altra parte tali modifiche, dovute sia a necessità funzionali che di gusto, hanno comportato addizioni e sottrazioni alla fabbrica originaria che, come varrà in seguito illustrato, ne hanno diminuito la resistenza dell'insieme e delle singole parti dell'edificio⁷⁰.

Dal Cinquecento, con l'avvio del periodo di transizione in Italia, l'architettura fortificata medievale esaurisce man mano il suo ruolo militare e di difesa, venendo spesso riadattata a funzione civile-residenziale: *"I due filoni, che chiameremo del fortilizio e del palazzo, rispondenti a due diversi ordini di richieste, si staccano e quasi si orientano verso direzioni opposte: spesso il fortilizio avviluppa il palazzo; spesso il palazzo prende il sopravvento e nasconde il fortilizio"*⁷¹. Così il palazzo da bene componente del complesso fortificato si erge a bene individuo trasformandosi in palazzo signorile, reggia o villa (a seconda del contesto urbano o della sua pregevolezza), che ne ereditano la funzione residenziale. Mentre saranno forti, cittadelle e città murate ad accogliere la funzione militare, un tempo svolta dai *castelli* medievali.

2.3.2 MACRO-ELEMENTI CARATTERIZZANTI: EVOLUZIONE E CARATTERI COSTRUTTIVI

Rientrano nella categoria macro-elementi delle architetture fortificate quei complementi difensivi non solo che integrano il sistema di difesa e che completano l'immagine storicizzata del complesso fortificato medievale e quindi delle sue mura di cinta, torri e palazzi, ma anche che sono identificabili come strutture aventi un proprio specifico comportamento in risposta al sisma, compiutamente riconoscibile. Si annoverano quindi tra i macro-elementi delle architetture fortificate⁷², quelli tipici dei corpi palaziali: orizzontamenti, pareti esterne e interne, coperture; le parti che compongono la torre: basamento, fusto ed eventuale parte svettante. Ci sono poi alcuni macro-elementi che caratterizzano questa tipologia architettonica in maniera specifica: merli, beccatelli e altri elementi aggettanti o svettanti, quali bertesche, garitte e torrette, la cui evoluzione e i cui caratteri costruttivi, esposti nei successivi

⁶⁸ MARIOTTI C. 2017, p. 80

⁶⁹ MARIANI M. 2016, pp. 175-176

⁷⁰ MARIANI M. 2016, pp. 177-179

⁷¹ CASSI RAMELLI A. 1974, pp. 41-42

⁷² I comportamenti strutturali dei macro-elementi delle architetture fortificate verranno più ampiamente trattati nel Capitolo 3.

paragrafi, potrebbero contribuire a fare luce su alcuni aspetti dei relativi cinematismi, che verranno meglio esplicitati nel Capitolo 3.

2.3.2.1 MERLI

La merlatura, di generale adozione a partire dal XIII secolo, è senz'altro uno dei ritrovati tecnici per eccellenza delle architetture fortificate medievali⁷³. Probabilmente traggono la loro origine dalle basse "pinne" di legno che coronavano le strutture difensive romane, tuttavia l'idea di un parapetto costituito da pieni e vuoti dietro al quale rispettivamente difendere e offendere alternatamente, può considerarsi un'idea universale⁷⁴. Nello spazio vuoto tra un merlo e l'altro veniva disposta una robusta mantelletta o ventriera di legno incernierata orizzontalmente e basculante, atta a proteggere il difensore che si protraeva oltre il parapetto merlato. Sempre con la stessa finalità venivano realizzate nella porzione centrale del merlo piccole feritoie. I merli, in Italia, hanno due fogge tipiche: a parallelepipedo o a coda di rondine (rispettivamente dette anche guelfa o ghibellina, anche se, in verità, la loro forma sembra essere indipendente dai tanto incerti e mutevoli legami politici)⁷⁵. Inizialmente il parapetto merlato si dispone a filo della parete esterna e in seguito diviene aggettante, sostenuto dall'apparato a sporgere funzionale per il tiro piombante (beccatelli, gattoni). Nella fase di transizione ossidionale i merli divengono inadeguati e facilmente esposti al pericolo di crollo, evolvendo così nei più moderni merloni, robuste porzioni murarie dalle proporzioni decisamente più tozze (Fig. 19). Tuttavia alla fine del XV secolo iniziano a perdere definitivamente la loro funzionalità, venendo rimossi o, più spesso, integrati nella muratura, divenendo meri elementi decorativi nella trama muraria⁷⁶. Altra ragione che fa propendere per il loro "assorbimento" all'interno della muratura è la loro intrinseca vulnerabilità. Fortemente esposti alle intemperie, erano soggetti a un rapido deterioramento dei materiali, decoesione delle malte ed erosione dei mattoni, il che comprometteva la loro efficienza strutturale. Per tale ragione tra il XIV e il XV si iniziano in maniera generalizzata a sormontare queste strutture con coperture a protezione dalle infiltrazioni delle acque piovane, di modo da evitare che dalle caditoie non coperte potesse infiltrarsi l'acqua piovana⁷⁷. Inoltre le superfici orizzontali venivano protette dall'acqua con malta idraulica di calce resa idrofoba con l'aggiunta di specifici materiali⁷⁸. Proprio a causa di questa sommatoria di problematiche (vulnerabilità intrinseca, necessità continua di manutenzione, unita a un ruolo che non è più funzionale, ma squisitamente estetico) oggi una buona parte delle merlature

⁷³ CACIAGLI G. 1979, pp. 200-204

⁷⁴ CASSI RAMELLI A. 1964, pp. 253-257

⁷⁵ Numerose tuttavia sono le fogge che assumono al di fuori dei confini italiani: a triplice dentatura (a Rodi), a fiore, a piramide (in Spagna), a semicerchio oppure rastremati e a doppio spiovente in Nord d'Europa.

⁷⁶ CASSI RAMELLI A. 1964, pp. 253-257

⁷⁷ Voce *Mâchicoulis* in VIOLLET-LE-DUC E. 1854-1868

⁷⁸ PEGORETTI G. 1843, pp. 227-231

esistenti risalgono alla fine del XIX e al XX secolo. Tali strutture essendo sovente più fragili dei loro prototipi originari, nel corso del tempo hanno richiesto continue manutenzioni e ulteriori sostituzioni⁷⁹.

Dall'analisi degli elaborati grafici delle fortificazioni prese in esame, i merli sono in genere alti mediamente tra 1,5 e 2 metri e larghi tra i 40 e i 60 cm, realizzati totalmente in laterizi e possono presentare, nella zona centrale, una feritoia verticale. Più frequentemente la terminazione è sagomata a coda di rondine, tuttavia sono presenti, anche nel medesimo complesso fortificato, merli a coronamento piano. Dalla fine del XIV secolo, torri e cammini di ronda iniziano a essere coperti con tetti a spiovente⁸⁰, in questi casi i merli vengono collegati tra loro con archetti o travi per sorreggere la copertura e spesso lo spazio inter-merlo viene tamponato o il merlo stesso capitozzato, per esigenze strutturali e/o funzionali. È il caso del mastio della Rocca di Cento, dove ben visibili sono anche i tamponamenti della cortina merlata nelle foto (Fig. 21) degli anni '70, oggi ripristinata. Dall'analisi dei documenti d'archivio inoltre non si riscontra una pratica tradizionale relativa all'inserimento di perni all'interno dei merli per scongiurare il ribaltamento. Quelli emersi dai crolli del 2012 infatti sono di epoca recente, collocati a seguito del rifacimento delle coperture nella seconda metà del secolo scorso (es. Mastio della Rocca di San Felice in Fig. 20). Nello stesso periodo, analoghi interventi, ossia l'inserimento di barre in acciaio inclinate nei merli, vengono eseguiti anche in quelli svettanti (Torre dei Passerini a Carpi e Torre della Rocca di Arquata del Tronto in Fig.20). Le perforazioni necessarie per la messa in opera di tali barre hanno purtroppo contribuito ad indebolire la muratura⁸¹, rendendola quindi più vulnerabile agli eventi sismici.

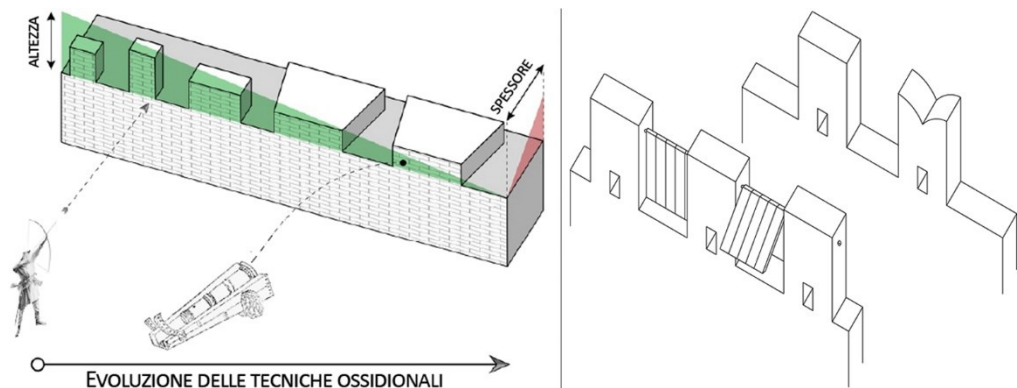


Figura 19 Con l'evoluzione delle tecniche di assedio, anche i complementi difensivi si adattano per poter meglio contrastare gli effetti delle nuove armi, ad esempio i merli diventano più tozzi (immagine originaria tratta da Ferretti D. et al., 2018). A destra le due forme tipiche di merli presenti nei castelli emiliani e una ricostruzione schematica delle ventiere.

⁷⁹ FACCHI E., GRIMOLDI A., LANDI A. G., ZAMPERINI E. 2021

⁸⁰ CACIAGLI G. 1979, p. 206

⁸¹ Zamperini E. 2021, pp. 48-61

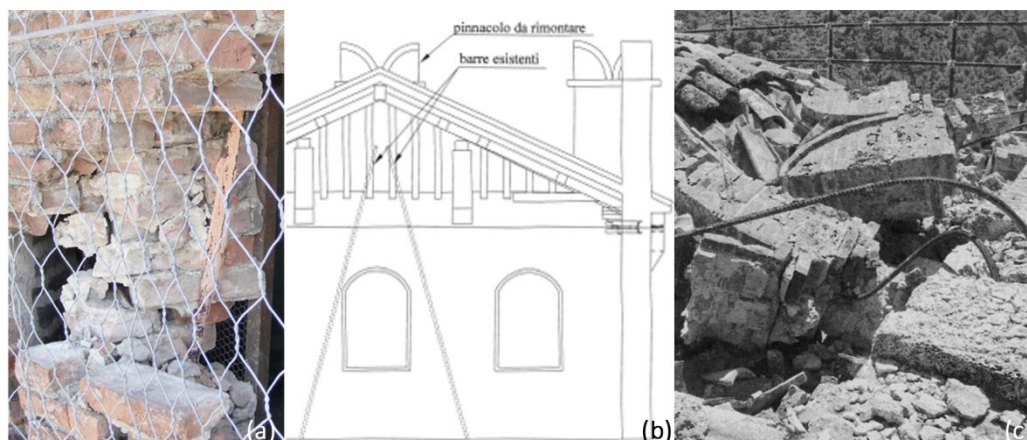


Figura 20 I crolli hanno portato alla luce perni presenti all'interno dei merli. Soluzioni tecnologiche tuttavia non tradizionali, ma presumibilmente risalenti all'epoca dei rifacimenti delle coperture (XX sec), come ancoraggio delle stesse alla muratura, che hanno contribuito all'indebolimento dei merli: (a) un dettaglio della barra in acciaio inclinata nel merlo del mastio della Rocca di San Felice; (b) un disegno tecnico tratto dalla Relazione di progetto della Torre dei Passerini (Castello di Carpi), che evidenzia la preesistenza di barre inclinate in corrispondenza del merlo danneggiato; (c) danno ai merli della Torre della Rocca di Arquata del Tronto dopo le scosse del 2016. I danni hanno portato alla luce l'intervento del 1981-82, eseguito con barre disposte a X inserite nei merli (da ZAMPERINI E. 2021, pp. 54-56).



Figura 21 Rocca estense di Cento: a sinistra una foto degli anni '70 (da PEROGALLI C. 1972) con i merli inglobati nella muratura, quando la funzione di carcere era da poco stata dismessa; a destra una foto dei merli oggi, non più inglobati nella muratura e coperti con tetto con struttura in acciaio.

2.3.2.2 BECCATELLI E APPARATO A SPORGERE

Alla fine del Trecento si diffonde in modo generalizzato il tiro piombante, aggiungendosi al tiro frontale e fiancheggiante⁸². Per la verità il tiro piombante era già in uso da molto tempo, tuttavia veniva esercitato tramite soluzioni provvisore: strutture lignee, più semplici ed economiche, mensole in legno e in pietra o caditoie a scivolo, praticate sotto botole aperte nel camminamento di ronda. Tuttavia queste

⁸² PEROGALLI C. 1976, pp. 30-31

soluzioni tecnologicamente meno avanzate non permettevano di direzionare adeguatamente il tiro dei proiettili (solidi o liquidi)⁸³. Per ottimizzare gli sforzi, dalla fine del Trecento si diffonde l'uso del *beccatello*, alternato a caditoie e archi di scarico, posizionato a coronamento delle torri o sul fronte esterno dei muri di cinta. I beccatelli, soluzione tecnologica ampiamente diffusa nella Pianura Padana, consistono in una graduale sovrapposizione di mattoni a sporto. In altre zone per il medesimo fine vengono messi in opera i cosiddetti *gattoni*, ossia mensole in pietra scolpita sovrapposte e aggettanti. Tale apparato a sporgere generalmente è coronato da parapetti merlati. La soluzione tecnologica qui descritta per il tiro piombante entrerà in crisi con l'avvento dell'artiglieria, rivelandosi fragile e a facile rischio crollo, per poi scomparire definitivamente nel corso dei secoli successivi. Dove invece continua a persistere è più per ragioni formali o di gusto estetico, certamente non per funzioni militari. Infatti in questo caso le proporzioni del beccatello cambiano, diventando più longilinee ed eleganti, ma decisamente inadeguate a scopi difensivi.

L'apparato a sporgere delle fortificazioni della pianura emiliana è caratterizzato, nella totalità dei casi studio esaminati, da beccatelli in laterizio, alternati ad archetti di scarico al di sopra dei quali vengono disposte le caditoie un tempo funzionali al tiro piombante. Tali beccatelli sono costituiti generalmente da circa una ventina di corsi di mattoni sovrapposti, dove via via il corso di mattoni superiore risulta leggermente in aggetto rispetto a quello inferiore. Possono essere realizzati in muratura a due o a tre teste (Fig. 22).

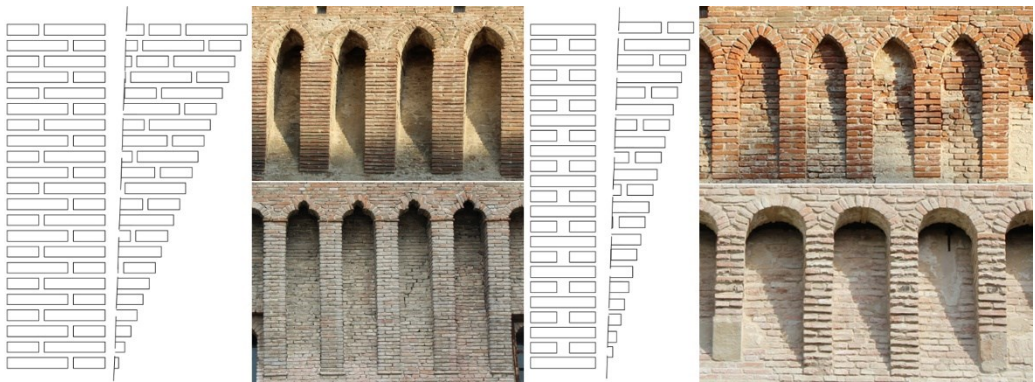


Figura 22 A sinistra beccatello a tre teste, con foto di Rocca di Cento (torre) e di Finale Emilia; a destra beccatello a due teste, con foto di Rocca di Cento (mura di cinta) e di San Martino in Rio (Reggio Emilia).

Analizzando le murature delle rocche emiliane oggetto di studio, si riscontra non solo un buon ingranamento della muratura dei beccatelli, ma anche un buon ammorsamento di questa con il muro portante retrostante. Inoltre circa in

⁸³ CACIAGLI G. 1979, pp. 93-95

corrispondenza della quota di imposta degli archetti, all'interno della struttura del beccatello, veniva messo in opera un travetto ligneo. Duplice poteva essere la sua funzione: per sostenere la struttura nella fase di presa della malta; per assorbire meglio le spinte di trazione. Infatti, tenendo conto dell'attrito tra un mattone e l'altro e considerando il beccatello come una sorta di mensola a sbalzo con un carico concentrato all'estremità, si generano all'interno della struttura del beccatello forze di trazione nella parte superiore e di compressione in quella inferiore. Tuttavia, come è noto, la muratura ha una scarsa resistenza a trazione, per altro in gran parte delegata all'adesione della malta. Quindi per ovviare a tale problema veniva inserito in ciascun beccatello questo travetto ligneo che, aderendo alla muratura grazie all'attrito, le forniva la resistenza a trazione necessaria. Allo stesso tempo, grazie alla sua rigidità flessionale, il travetto contribuiva a trasferire parte del carico direttamente alla muratura retrostante⁸⁴. Tale soluzione tecnologica è prassi comune, infatti è stata rilevata in numerosi casi sia a seguito dei crolli dovuti sisma (Rocca estense di San Felice sul Panaro), sia in quelle porzioni di muratura in cui il beccatello è stato rimosso, ma risulta ancora visibile lo scasso per la trave (Castello delle Rocche a Finale Emilia, Rocca dei Gonzaga a Novellara), come si può notare in Fig. 23 e 24. Tuttavia col passare del tempo la presenza di questi elementi lignei diviene spesso fonte di vulnerabilità. Infatti, non adeguatamente protetti dagli agenti atmosferici, tendono progressivamente alla marcescenza, perdendo il contatto con la muratura adiacente e dando luogo a una discontinuità al suo interno⁸⁵.



Figura 23 Ben visibili risultano da queste foto gli elementi lignei interni ai beccatelli (nelle due foto a sinistra Rocca di San felice sul Panaro); a destra le buche pontate per l'alloggio degli elementi lignei in corrispondenza dei beccatelli non più in essere, Rocca di Finale Emilia.

⁸⁴ FACCHI E., GRIMOLDI A., LANDI A. G., ZAMPERINI E. 2021

⁸⁵ FACCHI E., GRIMOLDI A., LANDI A. G., ZAMPERINI E. 2021

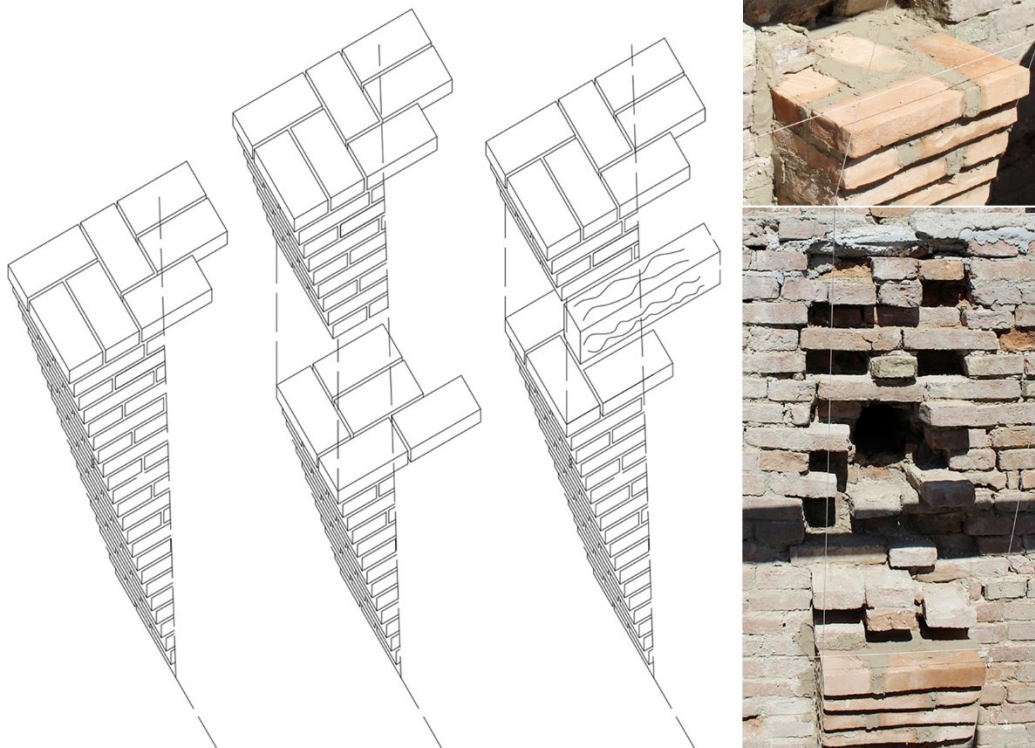


Figura 24 A sinistra: schema dell'apparecchiatura interna del beccatello con elemento ligneo; a destra due foto esplicative effettuate nel corso della visita al cantiere della Rocca di San Felice sul Panaro.

2.3.2.3 ELEMENTI AGGETTANTI O SVETTANTI

In questa categoria si annoverano tutte quelle strutture che, in altezza o verso l'esterno, sporgono dal filo della fortificazione, quali ad esempio bertesche, garitte, torrette (Fig. 25). Originariamente realizzate in legno, in quanto aventi carattere provvisorio, venivano erette sopra mensole, quali gattoni o beccatelli, oppure tramite l'ausilio di buche puntaie o di larghe scannellature orizzontali appositamente predisposte. Col tempo, sia perché facilmente incendiabili, con l'impiego del fuoco nelle armi da lancio, sia perché oramai parte integrante e imprescindibile dell'apparato difensivo, iniziarono a essere realizzate in muratura. Tali strutture, collocate in punti strategici (sugli ingressi, agli angoli delle cinte murarie, nei punti di congiunzione delle cortine, a coronamento di una torre nel caso delle torrette) favoriscono un miglior controllo sia alla base delle strutture su cui incombono, agevolando tiro piombante e ficcante, sia dell'area circostante, favorendo le operazioni avvistamento (specialmente nel caso di elementi svettanti). Elementi caratteristici dell'architettura fortificata medievale, perdono la loro efficacia militare durante il periodo di transizione ossidionale, diventando anzi facile bersaglio e quindi a rischio crollo⁸⁶. Persa la loro

⁸⁶ MARIOTTI C., 2017, p. 86

originaria funzione, scompaiono definitivamente nei secoli successivi, ad eccezione dei casi dove persistono per ragioni estetico-formali.



Figura 25 Elementi aggettanti o svettanti. Da sinistra: le lanterne a coronamento delle torri del Castello estense di Ferrara; la torretta del Castello di Palata Pepoli a Crevalcore; le garitte neo-gotiche del Castello di Galeazza Pepoli a Crevalcore nel bolognese.

2.4 LE ARCHITETTURE FORTIFICATE EMILIANE DANNEGGIATE DAL SISMA DEL 2012

Il frazionamento e l'instabilità politica della Regione Emilia Romagna, proseguita fino al XV secolo compreso, contribuì in maniera significativa all'ampia proliferazione di fortificazioni (Fig. 26)⁸⁷. Oggi infatti sono 346⁸⁸ le architetture fortificate censite solo sul suolo emiliano romagnolo nel geodatabase regionale, consultabile agevolmente online tramite la piattaforma *WebGis del Patrimonio culturale dell'Emilia-Romagna*⁸⁹. Il geodatabase, progettato dall'ormai ex-Direzione Regionale a valle del sisma del 2012 e oggi amministrato dal Segretariato Regionale, gestisce le informazioni relative ai beni culturali tutelati presenti sul territorio regionale, identificando anche gli edifici tutelati danneggiati dal sisma del 2012⁹⁰. Partendo quindi dai dati messi a disposizione dal Segretariato Regionale⁹¹, sono stati individuate le architetture fortificate colpite dal sisma del 2012. Da una prima analisi le fortificazioni danneggiate risultavano 25, tuttavia il campo di analisi è stato ristretto a 21:

	codice	nome	comune	provincia	
Castelli danneggiati dal sisma del 2012	1	037005 1	Castello già dei Bentivoglio	Bentivoglio	Bologna
	2	037024 2	Castello Galeazza Pepoli	Crelvacore	Bologna
	3	037038 1	Castello dei Manzoli	Minerbio	Bologna
	4	037038 4	Rocca di Minerbio	Minerbio	Bologna
	5	037048 8	Rocca	Pieve di Cento	Bologna
	6	037053 8	Villa La Giovannina e pertinenze	San Giovanni in Persiceto	Bologna
	7	038003 13	Rocca stellata	Bondeno	Ferrara
	8	038003 883	Castello in Santa Bianca di Bondeno	Bondeno	Ferrara
	9	038004 23	Rocca	Cento	Ferrara
	10	038008 313	Castello Estense	Ferrara	Ferrara
	11	038018 711	Castello Lambertini	Poggio Renatico	Ferrara
	12	036005 20	Castello dei principi Pio	Carpi	Modena
	13	036012 13	Castello Carrobbio	Finale Emilia	Modena
	14	036012 5	Castello delle Rocche	Finale Emilia	Modena
	15	036022 12-13	Castello Pico	Mirandola	Modena
	16	036037 3	Castello Estense	San Felice sul Panaro	Modena
	17	036044 1	Castello Campori	Soliera	Modena
	18	035021 7	Castello Guidotti	Fabbrico	Reggio Emilia
	19	035028 1	Rocca dei Gonzaga	Novellara	Reggio Emilia
	20	035032 1	Castello	Reggiolo	Reggio Emilia
	21	035037 2	Rocca Estense	San Martino in Rio	Reggio Emilia

Si è dunque scelto di limitare il campione di indagine entro i confini dell'area di cratere del sisma (definita ai sensi del D.M. del 1 giugno 2012), comprendente 101 comuni all'interno delle province di Bologna, Ferrara, Modena e Reggio Emilia. I casi di studio esclusi si presentavano infatti al di fuori dell'area di cratere definita dalla normativa (Castello di Vignola, Castello di Montegibbio a Sassuolo, Rocca di San Secondo, Castello di Salvaterra a Casalgrande). Inoltre pur risultando inseriti nell'elenco dei beni danneggiati, da un'analisi più approfondita è emerso come non abbiano subito reali

⁸⁷ PEROGALLI C. 1972, p. 28

⁸⁸ In realtà numerose sono quelle che ad oggi versano in stato di rovina, tuttavia testimoniano l'intensa attività d'incastellamento, di cui la Regione Emilia Romagna è stata oggetto.

⁸⁹ Interrogabile alla pagina <https://www.patrimonioculturale-er.it/webgis/> (consultato in data 25/08/21).

⁹⁰ Del suddetto geodatabase si tratterà più dettagliatamente nel Capitolo 5.

⁹¹ In particolare gli elenchi dei beni danneggiati dal sisma del 2012 sia in formato Excel che *shapefile*.

dissesti a seguito dello sciame sismico del maggio del 2012, tanto più che non si riscontra materiale depositato presso l'Archivio Sisma della Soprintendenza di Bologna (SABAP-BO), e in alcuni casi non furono neppure mai redatte le schede di rilievo del danno, fatti che hanno fatto propendere per la loro esclusione.

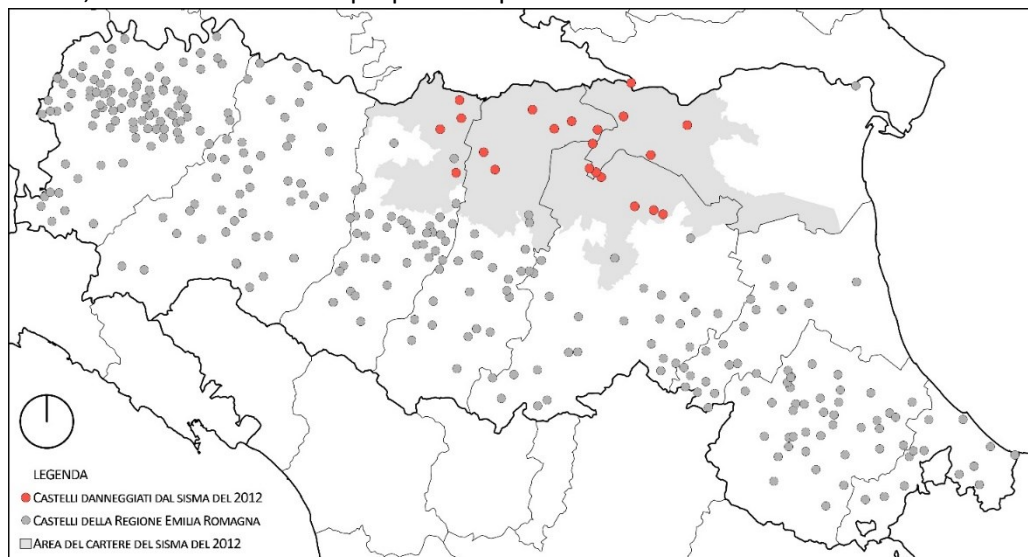


Figura 26 Localizzazione delle 21 architetture fortificate danneggiate dal sisma del 2012 nell'area di cratere (puntini in rosso) e delle altre fortificazioni che costellano il territorio emiliano-romagnolo (puntini in grigio).

Per quanto riguarda invece le 21 architetture fortificate oggetto di studio, oltre a una preliminare ricerca bibliografica, per ognuna è stato consultato il seguente materiale, conservato presso l'Archivio Sisma della Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per la città metropolitana di Bologna e le province di Modena, Ferrara e Reggio Emilia (SABAP-BO), e presso il Segretariato Regionale (SR-ERO):

Documentazione relativa ai rilievi speditivi in fase emergenziale:

- Scheda di rilievo del danno ai beni culturali - Palazzi (Modello B-DC)
- Scheda di valutazione economica

Documentazione relativa ai progetti preliminari:

- Documentazione fotografica
- Rilievo del quadro fessurativo e dei principali meccanismi di dissesto (relazioni e tavole)

Documentazione relativa ai progetti definitivi/esecutivi:

- Relazioni tecniche
- Tavole di progetto architettonico e strutturale
- Computo metrico estimativo

Per alcuni casi di studio tuttavia non è stato possibile reperire la totalità degli elaborati sopraelencati, o per mancanza di autorizzazioni in caso di edifici privati o perché il

materiale d'archivio risulta al momento incompleto, soprattutto per quanto concerne i progetti definiti o esecutivi, in taluni casi non ancora depositati. Inoltre è stato possibile usufruire di ulteriore materiale, in particolare fotografico, fornito direttamente dall'Agenzia Regionale per la Ricostruzione e dai Professori Daniele Ferretti ed Eva Coïsson, realizzato a seguito degli eventi del maggio del 2012. Altro materiale fotografico è stato prodotto dalla scrivente nei mesi compresi tra luglio e settembre 2020, poiché in alcuni casi erano ancora in corso i cantieri o la fase di ricostruzione non era ancora stata avviata ed erano quindi visibili parte dei danni e le relative opere di messa in sicurezza. Per ciascuna architettura fortificata analizzata è stata elaborata una scheda informativa-descrittiva contenente una sintetica descrizione della conformazione architettonica e planimetrica, dell'evoluzione storica e fasi costruttive, elaborati grafici significativi, dei dissesti subiti e dei relativi interventi. Le schede sono raccolte nell'allegato A della presente Tesi.

Le 21 architetture fortificate prese in esame in questa tesi, pur essendo accumulate da materiali e tecniche costruttive, macro-elementi analoghi e di conseguenza da analoghi meccanismi di danno, appartengono a periodi costruttivi diversi e sono caratterizzate da vicende storiche complesse che hanno causato successivi, e spesso perniciosi, rimaneggiamenti. In particolare è possibile suddividere le varie fabbriche in tre diversi periodi storici, come mostrato in tabella. Inoltre questi edifici se da una parte presentano organizzazioni planimetriche simili (pianta quadrangolare con torri angolari e/o torri sporgenti in corrispondenza degli ingressi che conducono a corti interne), dall'altra parte hanno scale di grandezza diverse, a seconda dell'importanza delle funzioni rivestite nel corso dei secoli (Fig. 27). Alcuni come il castello di Cortile di Carpi o quello di Mirandola, presentano piante decisamente più complesse, anche con più di una corte, dovute alla trasformazione in residenza signorile avviata tra quattro e cinquecento, che ha comportato successive addizioni alla struttura originaria, per altro per nulla ostacolate dal territorio pianeggiante che le circonda.

XI-XIV	Rocca di Reggiolo, Castello estense di Finale Emilia, Castello Guidotti a Fabbrico, Rocca di Pieve di Cento, Castello estense di Ferrara, Rocca di Cento, Rocca estense di San Felice sul Panaro, Castello Campori a Soliera, Rocca estense di San Martino in Rio, Rocca Stellata di Bondeno, Torre del Castello di Galeazza Pepoli.
XV-XVII	Castello dei Pico a Mirandola, Castello dei Pio a Carpi, Villa La Giovannina Castello Lambertini a Poggio Renatico.
XIX-XX	Castello di Galeazza Pepoli, Castello dei Manzoli a Minerbio, Castello di Carrobbio a Massa Finalese di Finale Emilia.

Tabella 1 Si riporta in tabella una periodizzazione di massima delle architetture oggetto di tesi, di modo da aiutare il lettore ad orientarsi tra i vari casi di studio. Tale suddivisione è basata sulla datazione della parte preponderante del fabbricato e desunta dai dati messi a disposizione dal Segretariato Regionale e ovviamente non tiene conto della cronologia specifica della singola fabbrica.

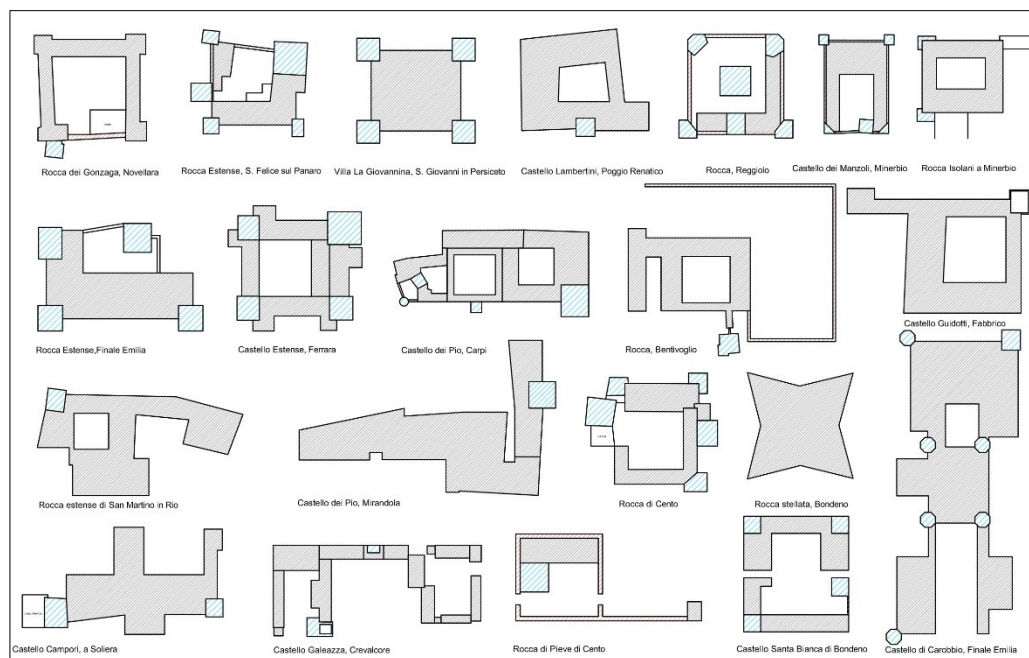


Figura 27 Schemi planimetrici (non in scala) dei 21 casi di studio. In azzurro le torri, in grigio gli altri corpi di fabbrica e in rosa i muri di cinta. Lo schema planimetrico più diffuso è caratterizzato da un impianto quadrato con corte interna, con torri angolari oppure con almeno una torre portata in corrispondenza dell'ingresso principale al complesso.

Come vedremo nel capitolo relativo al Database GIS, al fine di rendere più efficaci le analisi statistiche, sono stati aggiunti, alle informazioni relative ai 21 casi di studio, i dati relativi ai meccanismi di danno di altre cinque, di cui due del Palazzo delle Torri a San Prospero e le altre tre site a Crevalcore, di cui due appartenenti al complesso di Palazzo dei Ronchi e la terza al Palazzo già Pepoli, denominato anche Castello Pepoli. Tali edifici in prima battuta non sono stati considerati nella rosa dei casi di studio, in quanto nel WebGis della Regione Emilia Romagna appaiono sotto la categoria Palazzi, pur presentando diverse affinità con la tipologia Architetture fortificate, ampiamente descritta nei paragrafi precedenti. Tale circostanza fa quindi emergere la possibilità di eventuali incongruenze tra la definizione tipologica, spesso legata a questioni di toponomastica, e le sue reali caratteristiche strutturali, connesse alla presenza o meno di dati macro-elementi, a cui invece è legata la definizione di architettura fortificata in questa tesi. Tuttavia, pur segnalando tale incongruità, la volontà è stata quella di allinearsi al censimento effettuato dalla Regione Emilia Romagna, di modo che il database creato nel corso di questa tesi possa in futuro essere integrato al WebGis già esistente, fornendo un primo impulso per l'applicazione della metodologia, illustrata nel capitolo 4.3, da parte delle pubbliche amministrazioni preposte.

PARTE II STRUMENTI

Nella seconda parte di questa tesi verranno illustrate le proposte di tre possibili strumenti operativi, i primi due, che si integrano vicendevolmente, da adottare in tempo di guerra ossia in fase emergenziale; il terzo pensato per la gestione corrente dei beni e la previsione del danno in tempo di pace. Il primo: un abaco dei meccanismi di danno tipici e ricorrenti per le architetture fortificate, per la conoscenza della variegata casistica dei possibili cinematismi e il loro riconoscimento fin dalle fasi iniziali. Il secondo: una scheda di rilievo del danno *ad hoc* per la tipologia oggetto di studio, per un rilievo più celere e corretto in fase emergenziale dei dissesti e come potenziale strumento di conoscenza anche nella fase pre-sisma. Il terzo: un database GIS per le architetture fortificate emiliane, costruito con un approccio proattivo, per la previsione delle vulnerabilità delle architetture fortificate, nell'ottica di prevenire l'insorgenza del meccanismo, individuando gli interventi più urgenti e prioritari, consentendo di stilare programma di manutenzione programmata.

CAPITOLO 3

VULNERABILITÀ E MECCANISMI DI DANNO: DEFINIZIONE DI UN ABACO SPECIFICO

“Sebbene tale approccio [basato sull’intuizione e l’osservazione N.d.A.] non sia scientificamente rigoroso e risulti affidabile solo se utilizzato all’interno dei limiti di validità della regola (come è dimostrato dai crolli sperimentati nel passato quando si superavano tali limiti), riconoscere in una costruzione la conformità alle regole dell’arte può costituire un primo elemento di valutazione della sicurezza”¹

L’abaco dei meccanismi di danno per le architetture fortificate, che verrà descritto in questo capitolo, è stato improntato sulla base sia degli studi già pubblicati specifici sulle architetture fortificate², che offrono prime importanti fondamenta per la decodificazione e schematizzazione dei cinematismi tipici di tale tipologia; sia degli abachi dei meccanismi di dissesto già esistenti per altri beni tutelati quali Chiese, soprattutto in merito a cinematismi di campanili e lanterne, e Palazzi, per ovvie analogie con le strutture su più piani presenti anche nei complessi fortificati. L’abaco è quindi poi stato ulteriormente integrato proprio sulla base dell’osservazione dei cinematismi e della loro comparazione tra i vari casi di studio, cercando di individuare quelli maggiormente ricorrenti. Nello specifico gli strumenti utilizzati a tal proposito sono stati: il materiale fotografico realizzato subito dopo gli eventi sismici³ e quello prodotto dalla scrivente nel corso del Dottorato⁴; le schede di rilievo del danno ai beni culturali - Palazzi (Modello B-DC) redatte a valle del terremoto del 2012 e in cui si riporta, per ogni castello, in maniera schematica, una serie di possibili meccanismi; le tavole e le relazioni di progetto che, con maggior grado di approfondimento, descrivono i meccanismi attivati, la loro gravità, le cause dell’attivazione e i presidi che hanno evitato un peggioramento del quadro fessurativo. L’analisi dei meccanismi, che verranno presentati in questo capitolo, si basa principalmente sullo studio e sull’osservazione dei danni sulle architetture fortificate, verificatisi a seguito dello sciame sismico del Maggio-Giugno del 2012 in Emilia, tuttavia anche altri terremoti

¹ D.P.C.M. 09/02/2011, G.U. 26/02/2011, n.47 - suppl. ord. n.54 *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*.

² Tra cui CATTARI S., DEGLI ABBATI S., FERRETTI D., LAGOMARSINO S., OTTONELLI D., TRALLI A. 2014a; COÏSSON E., FERRETTI D., LENTICCHIA E. 2017; FREDDI F., NOVELLI V., GENTILE R. et al. 2021.

³ Conservato presso l’Archivio della Soprintendenza di Bologna (SABAP-BO) oppure fornito dall’Agenzia Regionale per la Ricostruzione Sisma 2012 e dagli archivi personali dei Professori Daniele Ferretti ed Eva Coïsson.

⁴ Nel corso del 2020 la scrivente ha realizzato una campagna fotografica per 14 dei 21 castelli danneggiati, in quanto al tempo, per diversi casi di studio, i cantieri erano ancora in corso o ancora da avviare.

hanno fornito diversi spunti di riflessione e di confronto sul tema dei cinematismi tipici della tipologia oggetto di tesi. Si fa riferimento in particolare agli eventi di Agosto e Ottobre 2016 in Centro Italia e di Novembre 2019 in Albania.

Naturalmente l’abaco che verrà qui illustrato non ha la pretesa di essere esaustivo di tutte le casistiche di meccanismi potenzialmente attivabili per ogni singola architettura fortificata, che di per sé, come tutti gli edifici appartenenti al patrimonio costruito, costituiscono un *unicum*. Ma piuttosto lo sforzo è volto ad astrarre cinematismi analoghi da realtà con peculiarità differenti. Quindi pur riconoscendo a ogni edificio storico la sua unicità, il primo passo per comprenderne il comportamento strutturale è suddividerlo nei macro-elementi che generalmente ne costituiscono la tipologia edilizia. Con il termine macro-elemento si intende *“la parte edilizia nell’ambito della quale è osservabile e compiutamente descrivibile un comportamento unitario, riconoscibile nei meccanismi d’insieme a seguito delle azioni sismiche, è perciò una parte di costruzione definita come unitaria in base al comportamento osservato, e tale da consentire la descrizione dei fenomeni di danno con il minor grado di complessità, pur mantenendo unitaria la lettura del fenomeno che si verifica”*⁵. Nello specifico nella presente tesi la struttura dei complessi fortificati, detti appunto beni complessi, viene scomposta in tre beni componenti, quali: Palazzo, Torre e Mura di cinta. Ciascuno di essi “contiene” dei macro-elementi specifici che possono essere tipici solo di uno o due beni componenti oppure essere comuni a tutti e tre (si vedano le tabelle seguenti per maggiori dettagli). A ciascun macro-elemento sono associati uno o più meccanismi di dissesto. Ad esempio il macro-elemento *Fusto della torre*, come è facilmente intuibile, è esclusivo del bene componente Torre; mentre i macro-elementi *Merli o Beccatelli* possono essere presenti in tutti e tre i beni componenti. Tale suddivisione costituisce la struttura base su cui è stata costruita la scheda di rilievo del danno specifica per le architetture fortificate, che verrà illustrata nel capitolo successivo.

	MACROELEMENTO	MECCANISMO DI DANNO
MURA DI CINTA	CORTINA MURARIA	RIBALTAMENTO DELLE PARETI – M26
		INSTABILITÀ VERTICALE DELLE PARETI – M27
		ROTTURA A FLESSIONE DELLE PARETI – M28
	ORIZZONTAMENTI	SFILAMENTO TESTA TRAVI E/O MARTELLAMENTO –M10
		COLLASSI LOCALI IMPALCATO O VOLTA – M11
	SCALE	DANNO ALLE SCALE – M14
	COPERTURE	DANNO AGLI ELEMENTI DI COPERTURA – M15
		DANNO AL MANTO DI COPERTURA – M16

⁵ DOGLIONI F. et al. 1994, p.71

	CORPI ANNESSI	DANNO NEI CORPI ANNESSI (CASAMATTA) - M21
	FONDAZIONI	CEDIMENTO FONDAZIONI LOCALIZZATO –M22
		CEDIMENTO TERRAPIENO – M23
	MURATURA	COLLASSI LOCALI PER IRREGOLARITÀ COSTRUTTIVE E DEL MATERIALE – M19
		DISGREGAZIONE – M24
		DELAMINAZIONE – M25
	ELEMENTI AGGETTANTI/SVETTANTI	DANNO AGLI ELEMENTI DI AGGETTANTI /SVETTANTI (GARITTE, TORRETTE...) – M18
	MERLI	MERLI: MECCANISMO A TAGLIO NEL PIANO –M32
		MERLI: MECCANISMO A RIBALTAMENTO FUORI DAL PIANO – M33
	BECCATELLI	DANNI AI BECCATELLI: TRAZIONE ALL’INNESTO CON LA MURATURA PORTANTE - M34
DANNI AI BECCATELLI: CEDIMENTO ARCO PER ALLONTANAMENTO DEI PIEDRITTI – M35		

Tabella 1. In tabella vengono illustrati i macro-elementi del bene componente muro di cinta e i relativi meccanismi di danno.

	MACRO-ELEMENTO	MECCANISMI DI DANNO
TORRE	ORIZZONTAMENTI	SFILAMENTO TESTA TRAVI E/O MARTELLAMENTO - M10
		COLLASSI LOCALI IMPALCATO O VOLTA – M1
		DANNO ALLE VOLTE PER ROTAZIONE DELLE IMPOSTE – M12
		DANNO ALLE VOLTE PER DEFORMAZIONI DI PIANO – M13
	SCALE	DANNO ALLE SCALE – M14
	BASE TORRE	MECCANISMO A FLESSIONE DELLA TORRE – M29
		MECCANISMI A TAGLIO E TORSIONALI DELLA TORRE – M30
	PARTE SVETTANTE	MECCANISMI A TAGLIO NELLA PARTE SVETTANTE DELLA TORRE –M31
	COPERTURE	RIBALTAMENTO DEL CANTONALE – M36
		SCORRIMENTO DELLA COPERTURA – M37
	FONDAZIONI	CEDIMENTO FONDAZIONI LOCALIZZATO – M22
	CORPI ANNESSI	DANNO NEI CORPI ANNESSI – M21
	MURATURA	COLLASSI LOCALI PER IRREGOLARITÀ COSTRUTTIVE E DEL MATERIALE – M19
DISGREGAZIONE – M24		
DELAMINAZIONE – M25		
ELEMENTI AGGETTANTI/SVETTANTI	DANNO AGLI ELEMENTI DI AGGETTANTI /SVETTANTI (TORRETTE) – M18	

	MERLI	MERLI: MECCANISMO A TAGLIO NEL PIANO – M32
		MERLI: MECCANISMO A RIBALTAMENTO FUORI DAL PIANO – M33
	BECCATELLI	DANNI AI BECCATELLI : TRAZIONE ALL’INNESTO CON LA MURATURA PORTANTE – M34
		DANNI AI BECCATELLI: CEDIMENTO ARCO PER ALLONTANAMENTO DEI PIEDRITTI – M35

Tabella 2. In tabella vengono illustrati i macro-elementi del bene componente torre e i relativi meccanismi di danno.

PALAZZO	MACROELEMENTO	MECCANISMO
	PARETI PERIMETRALI	RIBALTAMENTO DELLE PARETI – M1
		INSTABILITÀ VERTICALE DELLE PARETI – M2
		ROTTURA A FLESSIONE DELLE PARETI – M3
		TAGLIO NELLE PARETI ESTERNE: MASCHI – M5
		TAGLIO NELLE PARETI ESTERNE: ARCHITRAVI E MURATURA SOPRASTANTE – M6
	PARETI INTERNE	TAGLIO PARETI INTERNE – M7
	GLOBALE	SCORRIMENTO DI PIANO – M8
	PORTICATI/ LOGGE	DANNO LOGGE/PORTICATI – M9
	ORIZZONTAMENTI	SFILAMENTO TESTA TRAVI E/O MARTELLAMENTO – M10
		COLLASSI LOCALI IMPALCATO O VOLTA – M11
		DANNO ALLE VOLTE PER ROTAZIONE DELLE IMPOSTE – M12
		DANNO ALLE VOLTE PER DEFORMAZIONI DI PIANO – M13
	SCALE	DANNO ALLE SCALE – M14
	COPERTURE	DANNO AGLI ELEMENTI DI COPERTURA – M15
		DANNO AL MANTO DI COPERTURA – M16
		RIBALTAMENTO FASCE SOTTOTETTO E TIMPANO – M17
		RIBALTAMENTO DEL CANTONALE – M4
	INTERAZIONI	DANNO PER IRREGOLARITÀ DI FORMA – M20
		DANNO NEI CORPI ANNESSI (CASAMATTA) – M21
FONDAZIONI	CEDIMENTO FONDAZIONI LOCALIZZATO .- M22	
MURATURA	COLLASSI LOCALI PER IRREGOLARITÀ COSTRUTTIVE E DEL MATERIALE – M19	
	DISGREGAZIONE – M24	
	DELAMINAZIONE – M25	
ELEMENTI AGGETTANTI/SVETTANTI	DANNO AGLI ELEMENTI DI AGGETTANTI /SVETTANTI (GARITTE/TORRETTE) – M18	

MERLI	MERLI: MECCANISMO A TAGLIO NEL PIANO – M32
	MERLI: MECCANISMO A RIBALTAMENTO FUORI DAL PIANO – M33
BECCATELLI	DANNI AI BECCATELLI: TRAZIONE ALL’INNESTO CON LA MURATURA PORTANTE – M34
	DANNI AI BECCATELLI: CEDIMENTO ARCO PER ALLONTANAMENTO DEI PIEDRITTI – M35

Tabella 3. In tabella vengono illustrati i macro-elementi del bene componente palazzo e i relativi meccanismi di danno.

Tra i meccanismi di danno ce ne sono alcuni che hanno maggiormente interessato le architetture fortificate studiate. Tra questi senz’altro si sono verificati in un ampio numero di casi i fenomeni di martellamento tra la struttura della torre e quelle adiacenti, quali mura di cinta o palazzo. Infatti la natura composita di questi complessi fortificati, privi spesso di connessioni adeguate tra le varie strutture che le compongono, costituisce di per se un fattore di vulnerabilità al sisma. Altri meccanismi, che hanno tipicamente caratterizzato il quadro fessurativo di questa tipologia, sono i fenomeni di ribaltamento fuori dal piano e a taglio nel piano delle merlature, oltre ai danni generalizzati agli elementi aggettanti e svettanti, quali torrette e garitte, intrinsecamente vulnerabili. Altro dissesto che si è riscontrato frequentemente è il fenomeno di delaminazione delle murature, dovuto alle caratteristiche costruttive tipiche non solo delle fortificazioni, le cui cortine murarie sono spesso state via via inspessite per far fronte alle innovazioni dell’artiglieria, ma in generale del costruito storico della pianura padana, dove le murature sono costituite da mattoni e malte povere di calce e abbondanti, invece, di sabbie terrose con presenza di argille. Le murature, così composte, sono caratterizzate da scarsa resistenza meccanica e da muri raddoppiati o con nuclei composti da materiali incoerenti⁶. Anche i danni ad elementi aggettanti o svettanti (torrette disposte a coronamento delle torri, garitte e bertesche) sembrano essere più frequenti di altri, verosimilmente legati al fatto che questi elementi, già di per sé vulnerabili, si collocano a quote elevate dove le accelerazioni sono maggiori.

Quindi tenendo conto dei caratteri costruttivi di ciascun macro-elemento, descritti nel capitolo precedente, nei paragrafi successivi per ogni meccanismo viene riportata la relativa descrizione che è stata costruita toccando i seguenti punti: - macro-elementi interessati dal meccanismo; - come si manifesta il quadro fessurativo; - quali gli elementi/accorgimenti che possono ridurre l’insorgenza di quel meccanismo (es. catene, buoni ammorsamenti...); - quali, invece, lo aggravano (es. strutture spingenti). Mentre per quanto riguarda le descrizioni dettagliate di ogni singolo livello di danno⁷, si rimanda alla lettura del *Manuale di compilazione della scheda* in allegato alla

⁶ MARIANI M. 2016, p. 178

⁷ I livelli di danno sono stati definiti secondo la scala proposta da GRÜNTAL G. 1998, p. 15

presente tesi. Alla suddetta descrizione sono stati associati uno schema del cinematismo e i riferimenti e le immagini relativi ai dissesti effettivamente osservati, che hanno permesso la schematizzazione dei cinematismi che verranno illustrati⁸. Le immagini dei danni, come già detto, sono prevalentemente relative al terremoto dell'Emilia, ma ci si è serviti anche di immagini degli eventi sismici del 2016 in Centro Italia (dove ad esempio per via dei materiali usati i fenomeni di disgregazione sono più frequenti) e del 2019 in Albania (dove però le fortificazioni visionate sono molto più semplici: un recinto murario con torri tozze, prive della componente palaziale).

Quindi descrizione, schema tridimensionale e immagini per ogni meccanismo costituiscono l'abaco dei meccanismi di dissesto, la cui funzione auspicata è che possa essere d'aiuto in fase emergenziale per un più agevole e celere riconoscimento del meccanismo attivato, magari anche nelle sue fasi iniziali, di modo da intervenire precocemente ed evitare la perdita dell'elemento. Tuttavia tale strumento potrebbe risultare utile anche in tempo di pace, divenendo una sorta di guida alla conoscenza delle vulnerabilità intrinseche della tipologia oggetto di tesi, nell'ottica quindi di concentrarsi su tali punti deboli, suggerendo interventi mirati locali, nel rispetto delle istanze conservative del restauro, della logica del minimo intervento e del principio del *caso per caso*, e di fornire la possibilità di stilare un elenco degli interventi prioritari, che prevengano il danno e direzionino al meglio le risorse economiche.

3.1 MURATURA

Prima di procedere ad analizzare i meccanismi di danno tipici delle architetture fortificate, è bene ricordare che questi si possono attivare solo se la muratura presenta livelli minimi di resistenza e di connessione, legati alla qualità della malta e della tessitura muraria, atti a garantire un comportamento monolitico. In caso contrario si innescano vulnerabilità non quantificabili, legate appunto al comportamento non monolitico della muratura (disgregazione e delaminazione) e alle irregolarità costruttive o alle debolezze locali, dovute a impianti, canne fumarie, scassi e tamponamenti, fasi costruttive differenti⁹. Tali forme di vulnerabilità specifica risultano già censite in letteratura, anche tramite abachi con un numero maggiore di meccanismi rispetto a quelli che verranno di seguito illustrati¹⁰. Infatti di seguito verranno descritti solo quei meccanismi, detti di modo 0¹¹, che si sono rivelati ricorrenti per la tipologia in esame.

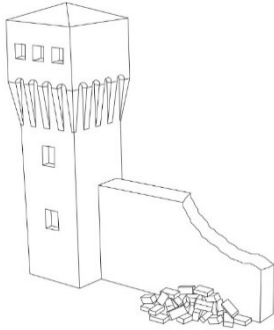
⁸ Nelle pagine successive verranno proposte, per ciascun meccanismo, due immagini ritenute maggiormente esemplificative, per un approfondimento in merito si consulti il *Manuale della scheda di rilievo del danno* riportato in allegato alla presente tesi.

⁹ COÏSSON E., OTTONI F. 2013, pp. 90-97

¹⁰ MARINO F. 2007, pp. 97-119

¹¹ GIUFFRÈ A. 1991

3.1.1 DISGREGAZIONE



Il meccanismo si verifica in caso di murature dal comportamento non monolitico, con scarsa qualità delle malte e tessitura muraria inadeguata, prive di quei “requisiti minimi”, che permetterebbero l’attivazione dei meccanismi di collasso per azioni fuori dal piano o nel piano. Il danno che ne deriva è rappresentato da cumuli di macerie incoerenti, costituiti da conci la cui superficie è priva di residui di malta e/o da muratura mista a ciottoli coesi da malta povera di calce. Infatti, come illustrato nel capitolo precedente, la povertà del materiale disponibile in area emiliana, unitamente all’impiego

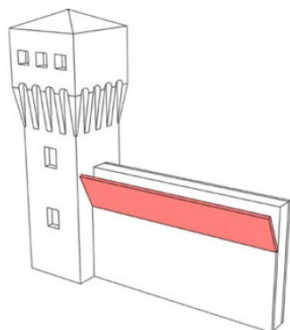
di murature a sacco, con nucleo disordinato, facilitano l’insorgere del dissesto qui descritto. Si è inoltre riscontrato che tale meccanismo si è verificato più diffusamente nelle architetture fortificate del Centro Italia¹² colpite dal sisma del 2016, infatti le caratteristiche costruttive tipiche di queste zone (muratura in pietra di fiume, con corsi non regolari e sezioni disordinate) costituiscono una componente di vulnerabilità al meccanismo qui descritto. Invece l’inserimento di diatoni artificiali e di iniezioni di malta, specie nel caso di murature a sacco con vuoti diffusi e comunicanti, possono migliorare il comportamento monolitico della muratura.



Figura 1 A sinistra il mastio crollato della Rocca di Finale Emilia; a destra le mura di Norcia. Pur essendosi verificati anche in Emilia, i fenomeni di disgregazioni sono risultati molto comuni in Centro Italia per via delle caratteristiche materico-costruttive di quest’area.

¹² Le mura di cinta di Norcia sono state diffusamente interessate da questo meccanismo di danno, anche in modo grave.

3.1.2 DELAMINAZIONE



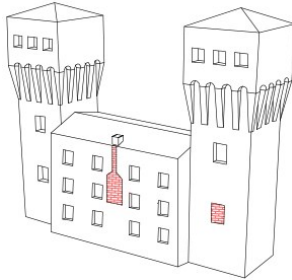
Il meccanismo si verifica in caso di murature dal comportamento non monolitico, aventi una tessitura muraria inadeguata, priva o povera di diatoni e composta da più paramenti scollegati tra loro. Nei castelli emiliani spesso si riscontrano murature a più teste non collegate trasversalmente tra di loro. Tale circostanza potrebbe essere legata alla necessità di inspessimento delle murature di torri e cinte murarie, nel tentativo di adeguare tali strutture all'avvento dell'artiglieria, cercando di assorbirne

meglio i colpi. Tuttavia tali caratteristiche costruttive potrebbero essere giustificate anche da ragioni estetiche: il paramento murario esterno potrebbe essere stato infatti collocato successivamente, e quindi mal collegato alla muratura retrostante, al fine di nascondere eventuali tessiture murarie sottostanti disordinate o con conci di pezzature e colori disomogenei. A tal proposito particolarmente dannosi si sono rivelati i restauri in stile operati a cavallo tra XIX secolo e XX secolo, che, al fine di conferire maggiore unitarietà alle diverse fabbriche che tipicamente compongono un complesso fortificato, hanno previsto la messa in opera di paramenti murari esterni mal collegati con la preesistenza. Il quadro fessurativo riportato dal Castello di Galeazza Pepoli a Crevalcore è senz'altro esplicativo in tal proposito. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato dallo scollamento o dalla perdita di uno o più paramenti murari indipendenti e quindi alla riduzione della sezione di muratura resistente. L'inserimento di diatoni artificiali e di iniezioni di malta, nel caso di murature a sacco con vuoti diffusi e comunicanti, possono migliorare il comportamento monolitico della muratura.



Figura 2 Lo spessore delle murature in Emilia in generale, e dei suoi fortilizi in particolare, è dato da fogli di muratura accostanti, ma spesso non ben collegati tra loro. Tal tecnica costruttiva ha dato luogo a episodi di delaminazione, ad esempio il mastio della Rocca di San Felice sul Panaro (a sinistra) e il Castello Galeazza Pepoli (a destra).

3.1.3 COLLASSI LOCALI PER IRREGOLARITÀ COSTRUTTIVE E DEL MATERIALE



Il meccanismo si manifesta con il distacco, anche parziale, e l'eventuale successiva espulsione della porzione di muratura non adeguatamente ammortata. Il quadro fessurativo è rappresentato dall'insorgenza di lesioni in corrispondenza dei punti di cesura della muratura, causati dalla presenza di impianti, canne fumarie, scassi, nicchie, tamponamenti nelle murature e da fasi costruttive differenti. Inoltre le porzioni di muratura a sezione ridotta tendono a distaccarsi fino all'espulsione. Questo cinematismo si manifesta con frequenza per via della natura composita e dei riadattamenti tipici non solo delle architetture fortificate, ma dell'architettura storica in generale. Diversi sono i casi in cui questo meccanismo si è manifestato: esemplificativi sono i prospetti della Rocca di Gonzaga dove i progetti per gli impianti hanno visibilmente tagliato la muratura storica, compromettendone la resistenza e la compattezza; analogamente nella torre crollata del castello Lambertini sono visibili tubature nella parte basamentale non crollata che potrebbero avere contribuito all'attivazione del meccanismo aggravandolo fino all'esito finale del crollo. I progetti futuri in merito agli impianti quindi dovrebbero tenere conto dei possibili effetti sulle strutture murarie. Infine, dove possibile, sarebbe indicato provvedere al ripristino della continuità muraria, connettendo la nuova muratura alla preesistente con un efficace intervento di scuci-cuci.

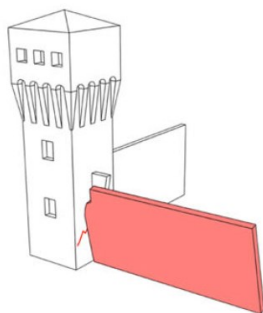


Figura 3 A sinistra dettaglio della torre del Castello Lambertini a Poggio Renatico. Si noti come la muratura risulti lesionata in corrispondenza di una tubatura nascosta all'interno della muratura. A destra, nel mastio della Rocca di San Felice, altra vulnerabilità tipica legata alla presenza di canne fumarie. In entrambi i casi si tratta di discontinuità all'interno della muratura che la rendono meno resistente.

3.2 MURA DI CINTA

Per l'interpretazione dei cinematismi del muro di cinta si è tenuto conto dei possibili meccanismi di danno, già identificati nella scheda Palazzo (Modello B-DP), per il macro-elemento *parete*, per via delle analogie geometriche. Tuttavia naturalmente il muro di cinta è decisamente più complesso di una singola parete, in quanto caratterizzato da altezze di libera inflessione più elevate; può presentare in sommità camminamenti di ronda o aggetti, che ne variano la geometria e quindi le resistenze; mentre alla base può essere circondato da fossati asciutti, riempiti con materiali di riporto o allagati che a seconda delle loro caratteristiche possono influenzare la risposta sismica del muro di cinta. Senza contare la presenza di corpi costruiti addossati o inadeguati collegamenti con le torri.

3.2.1 RIBALTAMENTO FUORI DAL PIANO DELLA CORTINA MURARIA



Il meccanismo si attiva con la rotazione fuori piano del muro di cinta, o parte di esso, a causa di un collegamento non adeguato o assente agli altri corpi di fabbrica. Come illustrato nel capitolo precedente, tale collegamento non adeguato, con gli altri corpi di fabbrica, è dovuto alla costruzione diacronica del complesso fortificato. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da lesioni pressoché verticali o in corrispondenza della fascia di congiunzione con i corpi laterali (es. torri) o nelle cortine laterali in caso di buona

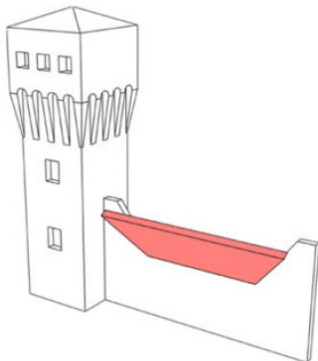
apparecchiatura dei cantonali. La presenza di catene longitudinali, di efficaci elementi di contrasto (contrafforti, corpi addossati, altri edifici), di un ammortamento di buona qualità tra il muro di cinta interessato da ribaltamento e i muri di cinta trasversali, contribuisce ad un buon comportamento di questo macro-elemento; di contro la presenza di elementi spingenti (puntoni di copertura, volte, archi), di grandi aperture nelle pareti laterali in vicinanza del cantonale e una notevole altezza di libera inflessione, che può aumentare ulteriormente all'esterno con la presenza di un fossato, favoriscono l'attivazione del meccanismo. Allo stesso tempo altro elemento che favorisce l'attivazione del cinematismo è la snellezza della muratura. Come visto nel capitolo precedente dal XIII secolo le mura di cinta tendono ad crescere in altezza, quindi da una parte se non adeguatamente rafforzate (ad esempio con contrafforti che siano però ben ammortati al muro di cinta) o inspessite tenderanno più facilmente a ribaltare fuori dal loro piano. Naturalmente questi inspessimenti successivi nel tempo, dovuti sia alla necessità di meglio assorbire i colpi dell'artiglieria, ma anche a fattori estetici, ossia alla volontà di coprire con un paramento esterno ben ingranato e ordinato, i paramenti disordinati retrostanti, soprattutto per le murature eseguite a sacco, hanno una controindicazione, ossia sono maggiormente vulnerabili a fenomeni

di delaminazione o disgregazione (quest'ultima più frequente nei manufatti realizzati in sasso o ciottoli di forma irregolare).



Figura 4 Due esempi di ribaltamento fuori dal piano del muro di cinta: a sinistra la Rocca di Reggiolo, a destra la Rocca estense a San Felice sul Panaro.

3.2.2 ROTTURA A FLESSIONE ORIZZONTALE DELLA CORTINA MURARIA



Il meccanismo si attiva con lo spostamento fuori piano, per flessione, della parte sommitale del muro di cinta, spesso in corrispondenza di importanti variazioni di sezione, tipiche nel caso di camminamenti di ronda. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da una lesione ad arco. La presenza di collegamenti efficaci con l'eventuale copertura (travi-catene), di controventi, di cordoli leggeri, contribuisce ad un buon comportamento di questo macro-elemento; di contro l'assenza di collegamenti efficaci con la copertura, la presenza di

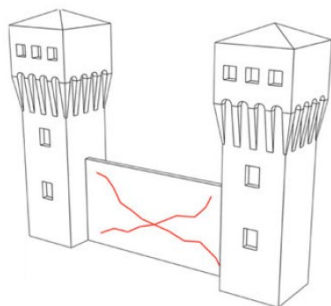
cordoli rigidi e pesanti, di una trave di colmo in c.a., di una copertura pesante in c.a., favorisce l'attivazione del cinematismo. Possono contribuire all'attivazione del meccanismo sopraelevazioni di spessore più esiguo, un esempio sono i coronamenti merlati realizzati spesso tra Ottocento e Novecento, con la volontà di uniformare le fabbriche fortificate a un'immagine medievale idealizzata, che vengono aggiunti alle cinte murarie senza preoccuparsi di collegarle adeguatamente, oppure variazioni di

geometrie nello spessore murario, e quindi di resistenza, dovute alla presenza del camminamento sommitale.



Figura 5 Due esempi di flessione orizzontale del muro di cinta: a sinistra Castello Pallotta, Caldarola, nel maceratese; a destra Mura di Norcia (Perugia).

3.2.3 MECCANISMO A TAGLIO NEL PIANO DELLA CORTINA MURARIA

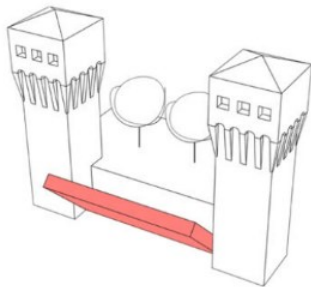


Il meccanismo si attiva con deformazioni nel piano per rottura a taglio della muratura. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da lesioni ad andamento obliquo nella muratura, sia singole che incrociate a X. La presenza di catene longitudinali, di un contrasto laterale fornito da corpi addossati (es. le torri) contribuisce ad un buon comportamento di questo macro-elemento. Di contro, quando alla fine del periodo di transizione, la struttura del muro di cinta perde la sua funzione difensiva e diviene di fatto parte integrante del palazzo, vengono create grandi aperture per garantire una maggior illuminazione e comfort. Tali aperture, anche se tamponate, unitamente all'eventuale elevata snellezza delle mura, favoriscono l'attivazione del meccanismo.



Figura 6 Lesioni da taglio nelle mura d cinta verificatesi in corrispondenza di aperture: a sinistra Rocca dei Gonzaga, Novellara; a destra Rocca, Pieve di Cento.

3.2.4 SPINTE DEL TERRENO O CEDIMENTO DEL TERRAPIENO



Il meccanismo si attiva con il ribaltamento fuori piano o lo spanciamento della cortina muraria, con eventuale disgregazione localizzata, dovuto alla spinta del terreno. Il quadro fessurativo si manifesta con lesioni sub-verticali in corrispondenza della congiunzione con i corpi laterali (es. torri) o nelle murature delle pareti laterali, in caso di buona apparecchiatura dei cantonali. Tale meccanismo si evidenzia soprattutto nel caso di terrapieni sia artificiali,

riscontrabili nelle fortificazioni alla moderna di pianura, sia naturali, cioè che sfruttano la pendenza del terreno nelle zone collinari e di montagna.

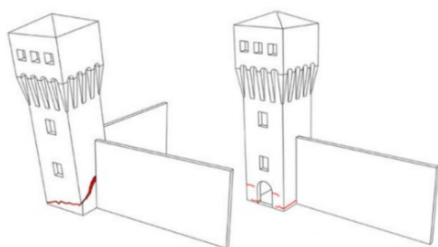


Figura 7 Due esempi: a sinistra le mura del Castello dei Bentivoglio; a destra le mura del Castello di Bianello, in provincia di Reggio Emilia.

3.3 TORRE

Per quanto riguarda la schematizzazione dei possibili cinematismi delle Torri, un ulteriore utile punto di partenza sono stati i meccanismi della torre campanaria (M27), descritti nel *Manuale per la compilazione della scheda Chiese*¹³, soprattutto in merito al dissesto che insorge dal martellamento con una struttura adiacente di altezza inferiore. Tuttavia le torri hanno strutture più tozze rispetto agli snelli campanili e sono generalmente caratterizzate da murature spesse. Quest'ultime soggette spesso a fenomeni di delaminazione (a causa delle scarse qualità delle malte e della tessitura muraria).

3.3.1 MECCANISMO A FLESSIONE DELLA TORRE



Il meccanismo si attiva per azioni combinate di compressione e flessione alla base della torre, che si verificano in torri isolate o non ben collegate alla cinta muraria della fortezza. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da lesioni sub-orizzontali alla base della torre e lesioni verticali in corrispondenza della fascia di congiunzione tra

il corpo della torre e muro di cinta (o altro fabbricato). La presenza di una muratura regolare e di buona qualità, di catene ai diversi ordini, di adeguata distanza dalle pareti degli altri fabbricati (se adiacente), di un buon collegamento con gli altri fabbricati (se inglobata), contribuisce ad un buon comportamento di questo macro-elemento; di contro la presenza di un vincolo asimmetrico sulle murature alla base (torre inglobata), di muratura fino a terra solo su alcuni lati (presenza di portico), di torre su pilastri murari e le irregolarità tipiche delle architetture fortificate, sia in piano che in elevazione, favoriscono l'attivazione del meccanismo. Tali irregolarità perniciose sono spesso una caratteristica intrinseca dei complessi fortificati, che vengono costruiti, come la maggior parte delle architetture storiche, in fasi costruttive diverse, in un'ottica di continuo aggiornamento dei componenti difensivi prima e di adeguamento a nuove funzioni poi. Particolarmente vulnerabili a questo tipo di cinematismo sono le *torri portaie*. Tipiche in ambito emiliano, sono costruite a protezione dell'ingresso, costituito generalmente da una volta a botte che attraversa da parte a parte la torre, "svuotandone" di fatto due lati e diminuendone la sezione muraria resistente. Tali torri presentano inoltre ampi scassi nella muratura, quindi vuoti e variazioni della sezione muraria, un tempo funzionali all'alloggiamento delle travi del ponte levatoio o successivamente ai relativi sistemi di carrucole e catene.

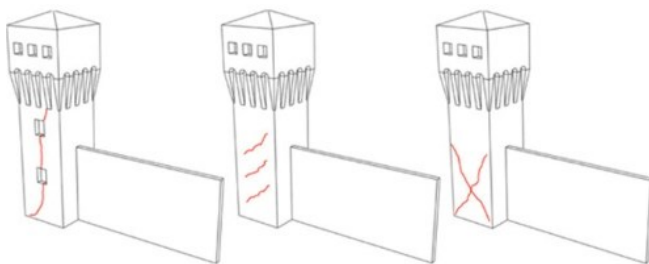
¹³ DI PASQUALE G., PAPA S. 2014



Figura 8 A sinistra ciò che rimane della torre portaia del Castello Lambertini a Poggio Renatico. A destra una delle torri angolari della Rocca estense di San Felice sul Panaro.

3.3.2 MECCANISMI A TAGLIO

3.3.2.1 MECCANISMI A TAGLIO E TORSIONALI NEL FUSTO DELLA TORRE



Il meccanismo si attiva con deformazioni nel piano per rottura a taglio della muratura, inoltre la presenza di vincoli eccentrici possono determinare una risposta torsionale della torre, nella

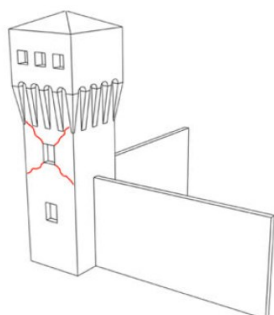
porzione in cui la sua muratura risulta ben ammorsata al muro di cinta o alle pareti del resto della fabbrica. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da: lesioni inclinate, singole o incrociate a X; lesioni che si irradiano con andamento sub-orizzontale, aventi come fulcro il punto di stacco tra torre e muro di cinta; lesioni verticali nella mezzeria delle pareti, che collegano le aperture tra loro. Un collegamento

efficace tra le due strutture, la messa in opera di cerchiature o tiranti contribuiscono ad evitare l'insorgenza di tale meccanismo; di contro la connaturata irregolarità delle fortezze, sia in pianta che in alzato, la diversa altezza e snellezza delle mura rispetto alle torri determina una diversa risposta dinamica, che contribuisce all'attivazione del meccanismo. Un cinematicismo analogo è già censito nell'abaco della scheda Chiese Modello A-DC: il meccanismo 27 relativo alla torre campanaria.



Figura 9 A sinistra lesioni a taglio che collegano le varie aperture del mastio della Rocca estense, San Felice sul Panaro; lesioni inclinate che hanno come fulcro la quota in cui la torre diviene svettante rispetto al resto del corpo di fabbrica (Castello delle Torri a San Prospero, Modena). A destra il meccanismo del campanile (M27 da Scheda chiese Modello A-DC), che consiste in rotazioni e deformazioni nel piano e che può avere alcune analogie con il cinematicismo delle torri qui descritto.

3.3.2.2 MECCANISMI A TAGLIO NELLA PARTE SVETTANTE



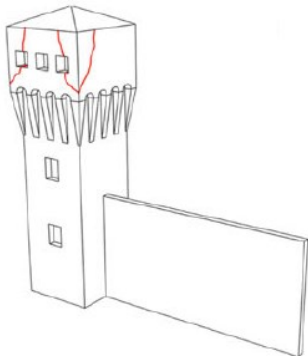
Il meccanismo si attiva con deformazioni nel piano per rottura a taglio della muratura, nella porzione svettante della torre, al di sopra del muro di cinta o del palazzo. Il quadro fessurativo si manifesta con lesioni inclinate, sia singole che incrociate a X. Tali lesioni si verificano quando la torre è ben collegata al muro di cinta o al palazzo. La presenza di tiranti e cerchiature, di un contrasto laterale fornito da corpi addossati ben ammortati contribuisce ad un buon comportamento di questo macro-elemento; di contro la presenza di grandi aperture (anche tamponate) e l'elevata snellezza favoriscono l'attivazione del meccanismo.



Figura 10 Le lesioni da taglio nella parte svettante della torre possono manifestarsi incrociate (Rocca estense, San Felice sul Panaro a sinistra) o singole e inclinate a 45° (Rocca, Reggiolo a destra).

3.3.3 CINEMATISMI DELLA PARTE SOMMITALE

3.3.3.1 RIBALTAMENTO DEL CANTONALE

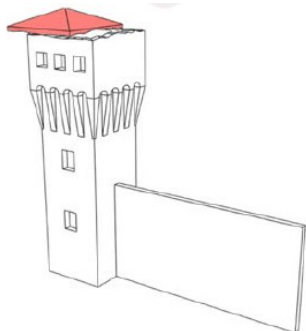


Il meccanismo si attiva con rotazioni fuori dal piano degli angoli murari, specialmente nella parte alta della torre, a causa di elementi spingenti. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da lesioni subverticali o arcuate, in prossimità degli angoli della parte sommitale della torre. Tali lesioni tendono a isolare una porzione di muratura angolare, con la conseguente possibile espulsione della stessa. La presenza di cerchiature sufficientemente diffuse e ancoraggi adeguati contribuiscono ad evitare lo sviluppo di tale cinematismo, riducendo l'altezza di libera inflessione dell'angolo; di contro le differenze nella tessitura muraria degli angoli, la presenza di capi-chiave interni alla muratura, di eventuali asimmetrie strutturali e di elementi spingenti sugli angoli (volte, coperture spingenti, cordoli in C.A.) favoriscono l'attivazione del meccanismo.



Figura 11 A sinistra espulsione del cantonale in una delle torri del Castello delle Rocche, Finale Emilia; a destra tipica lesione inclinata che evidenzia l'attivazione del meccanismo in una torre del Castello dei Ronchi a Crevalcore, nel bolognese.

3.3.3.2 SCORRIMENTO DELLA COPERTURA



Il meccanismo si attiva per deformazioni a taglio nel piano per scorrimento orizzontale. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da lesioni orizzontali lungo i giunti di malta, con conseguente scorrimento della copertura sulla porzione di muratura sottostante, lungo un piano orizzontale. Buoni architravi nelle aperture e la presenza di collegamenti tra elementi di copertura e muratura sottostante contribuiscono ad un buon comportamento di questo macro-elemento; di contro la presenza di coperture e cordoli rigidi e pesanti in C.A favoriscono l'attivazione del meccanismo.



Figura 12 Scorrimento della copertura favorito da cordoli rigidi: a sinistra Rocca estense a San Felice sul Panaro; a destra Castello dei Ronchi, Crevalcore.

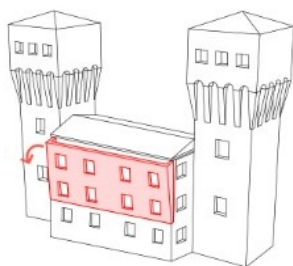
3.4 PALAZZO

La Normativa¹⁴ definisce come segue il termine Palazzo: *“una costruzione a sviluppo planimetrico non necessariamente semplice ma anche complesso, costituita da un sistema di pareti portanti perimetrali ed interne, disposte secondo diverse direzioni, e, cosa più importante, da un sistema di orizzontamenti intermedi che hanno anche un ruolo di collegamento”*. Tale tipologia costruttiva è presente anche nei complessi fortificati, se pur di rado compare isolata con una sua autonomia, generalmente infatti è frutto di addizioni successive alle strutture difensive preesistenti, quali torri e mura di cinta. Di seguito verranno illustrati i meccanismi tipici del Palazzo, ripresi dalla schede Modello B-DP con qualche accorgimento, in particolare riadattati alle peculiarità tipiche delle fortificazioni, dove gli apparati di difesa e offesa sono onnipresenti (merli, beccatelli, apparato a sporgere), anche nel parte palaziale del complesso.

3.4.1 MECCANISMI A RIBALTAMENTO FUORI DAL PIANO

3.4.1.1 RIBALTAMENTO DELLE PARETI ESTERNE

Il meccanismo si attiva con la rotazione fuori piano delle pareti di facciata o di parte di



esse. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato dalla rottura delle murature delle pareti laterali e da lesioni pressoché verticali, con la formazione di una cerniera cilindrica ad asse orizzontale, in corrispondenza della discontinuità costituita dalla presenza di grandi aperture o da solai intermedi spingenti. La presenza di efficaci elementi di contrasto (contrafforti, corpi addossati, altri edifici), di catene longitudinali, di un ammorsamento di buona qualità tra la facciata interessata dal meccanismo di ribaltamento e le pareti laterali, contribuisce ad evitare l'attivazione di tale cinematismo; di contro la presenza di elementi spingenti (puntoni di copertura, volte, archi), di grandi aperture nelle pareti laterali in prossimità del cantonale, facilita l'attivazione del meccanismo. In particolare un ulteriore elemento di vulnerabilità nelle architetture fortificate può essere costituito da compresenza di cortine murarie molto

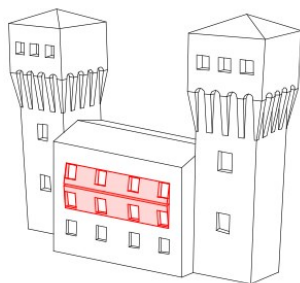
svilupate in elevato, a cui solo successivamente sono stati addossati isolai lignei di altri corpi di fabbrica. Il fatto che tali strutture non siano generalmente coeve, può spesso essere causa di collegamenti non adeguati.

¹⁴ Direttiva per la valutazione e riduzione del rischio sismico per il patrimonio culturale, D.P.C.M. 26 febbraio 2011 (G.U. n° 54), p. 33



Figura 13 A sinistra lesione da ribaltamento nel Castello dei Ronchi a Crevalcore; a destra un muro della zona dello scalone del Castello Lambertini a Poggio Renatico, la cui snellezza e altezza interpiano elevata, in quanto privo di orizzontamenti intermedi, lo rendevano particolarmente vulnerabile a meccanismi fuori dal piano.

3.4.1.2 ROTTURA A FLESSIONE VERTICALE FUORI DAL PIANO

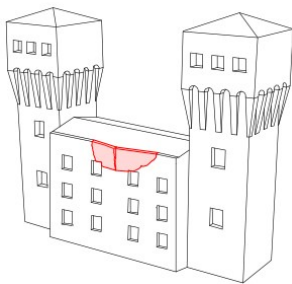


Il meccanismo si attiva con la flessione verticale fuori dal piano della parete, avente un vincolo inferiore e superiore (solai ben collegati), tali da evitare il ribaltamento semplice. Il quadro fessurativo si manifesta con lesioni orizzontali in corrispondenza del piano di connessione tra solaio intermedio e parete verticale. La presenza di catene o di buone connessioni tra elementi di solaio e muratura e buon ingranamento della parete muraria migliorano la risposta al sisma del macro-elemento. Di contro le altezze d'interpiano elevate o irregolari, un'eccessiva snellezza della facciata stessa, la mancanza di solai sufficientemente rigidi e di adeguati collegamenti tra solai intermedi e parete di facciata, unitamente a connessioni rigide alle estremità dell'edificio, sono elementi che amplificano la vulnerabilità del macro-elemento. A tal proposito elemento di vulnerabilità è costituito da cordoli in C.A. messi in opera nel corso di restauri realizzati tra gli anni '60 e '70.



Figura 14 Due esempi di flessione verticale fuori dal piano. A sinistra Castello dei Pico a Mirandola, nel modenese; a destra Rocca Isolani, in provincia di Bologna.

3.4.1.3 ROTTURA A FLESSIONE ORIZZONTALE FUORI DAL PIANO



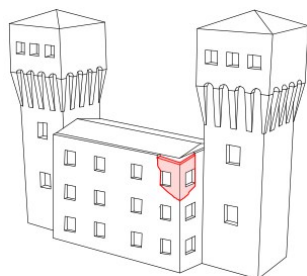
Il meccanismo si attiva con lo spostamento fuori piano, per flessione orizzontale, della parte sommitale della parete esterna, vincolata alla base ai muri di controvento, ma non superiormente. Si formano quindi tre cerniere: una centrale e due laterali in corrispondenza dei muri ortogonali alla facciata. Il quadro fessurativo che ne deriva è una lesione ad arco. La presenza di collegamenti efficaci della facciata con la copertura (travi-catene) e con i muri di controvento,

di cordoli leggeri, contribuisce ad un buon comportamento di questo macro-elemento; di contro scarse o deboli connessioni con il solaio di copertura, unitamente a connessioni rigide con altri solai, la presenza di cordoli rigidi e pesanti, di una copertura pesante in c.a., di discontinuità murarie (aperture, anche tamponate; canne fumarie..) facilita l'attivazione del meccanismo.



Figura 15 Due esempi di flessione orizzontale fuori dal piano. A sinistra Castello di Galeazza Pepoli a Crevalcore; a destra Castello dei Pico a Mirandola.

3.4.1.4 RIBALTAMENTO DEL CANTONALE



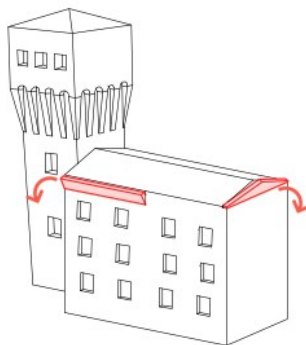
Il meccanismo si attiva con rotazioni fuori dal piano degli angoli murari, a causa di elementi spingenti. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da lesioni subverticali o arcuate, in prossimità degli angoli della parte sommitale dell'edificio. Tali lesioni tendono a isolare una porzione di muratura angolare, con la conseguente possibile espulsione della stessa. Un ammassamento di buona qualità del cantonale, la presenza di cerchiature sufficientemente diffuse e ancoraggi adeguati contribuiscono ad evitare lo sviluppo di tale meccanismo, riducendo l'altezza di libera inflessione dell'angolo; di contro le differenze nella tessitura muraria degli angoli, la presenza di capi-chiave interni alla muratura, di eventuali asimmetrie strutturali e di elementi spingenti sugli angoli (volte, coperture spingenti, cordoli in C.A.) favoriscono l'attivazione del meccanismo.

sufficientemente diffuse e ancoraggi adeguati contribuiscono ad evitare lo sviluppo di tale meccanismo, riducendo l'altezza di libera inflessione dell'angolo; di contro le differenze nella tessitura muraria degli angoli, la presenza di capi-chiave interni alla muratura, di eventuali asimmetrie strutturali e di elementi spingenti sugli angoli (volte, coperture spingenti, cordoli in C.A.) favoriscono l'attivazione del meccanismo.



Figura 16 lesioni tipiche del meccanismo di espulsione del cantonale. Da sinistra: due foto del castello dei Pico a Mirandola e il Castello dei Bentivoglio.

3.4.1.5 RIBALTAMENTO FASCE SOTTOTETTO E TIMPANO



Il meccanismo si attiva con il ribaltamento fuori dal piano una porzione di muratura nella fascia alta del fabbricato (cornicioni, zone di gronda) o del timpano, con la formazione di cerniere oblique o orizzontali. Il quadro fessurativo si manifesta con lesioni inclinate o orizzontali, nelle suddette aree. Un'adeguata connessione tra la muratura e gli elementi di copertura (tramite catene, controventi di falda, cordoli leggeri) contribuisce ad evitare l'attivazione di tale meccanismo. Di contro scarse o deboli

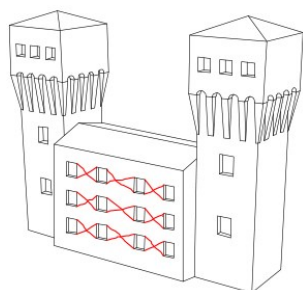
connessioni tra muri trasversali, la presenza di elementi spingenti di copertura mal collegati alla parete muraria, di cordoli rigidi in C.A. e di aperture o discontinuità murarie possono innescare il meccanismo.



Figura 17 Castello di Galeazza Pepoli a Crevalcore: il ribaltamento fuori dal piano una porzione di muratura nella fascia alta del fabbricato (a sinistra) o del timpano (a destra).

3.4.2 MECCANISMI A TAGLIO

3.4.2.1 TAGLIO NELLE PARETI ESTERNE: MASCHI



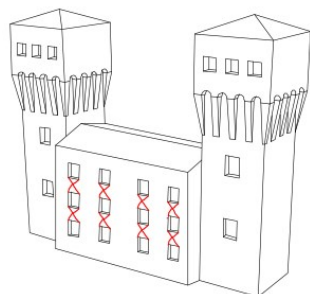
Il meccanismo si innesca, con deformazioni nel piano, per rottura a taglio nei maschi murari delle pareti esterne. Il quadro fessurativo che ne deriva si manifesta con lesioni ad andamento inclinato a 45 gradi, sia singole che incrociate, generalmente disposte lungo i giunti di malta della muratura. La presenza di catene trasversali, di un contrasto laterale fornito da corpi addossati (es. torri) contribuisce ad un buon comportamento delle pareti; di contro grandi

aperture (anche tamponate) e discontinuità murarie nella muratura facilitano l'attivazione del meccanismo.



Figura 18 Tipiche lesioni a taglio dei maschi murari: a sinistra lesione a X con espulsione di materiale, Castello dei Pico della Mirandola; a destra lesione che collega due aperture, Castello Lambertini, Poggio Renatico

3.4.2.2 TAGLIO NELLE PARETI ESTERNE: FASCE MURARIE



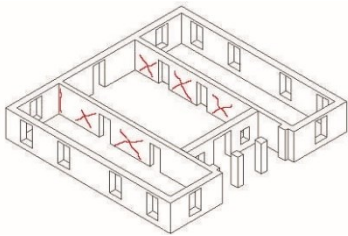
Il meccanismo si innesca, con deformazioni nel piano, per rottura a taglio nelle fasce murarie (architravi delle aperture e porzioni di muratura soprastante). Il quadro fessurativo che ne deriva si manifesta con lesioni inclinate a 45 gradi, sia singole che incrociate, generalmente disposte lungo i giunti di malta della muratura. La presenza di catene trasversali, di un contrasto laterale fornito da corpi addossati (es. torri) contribuisce ad un buon

comportamento di questo delle pareti; di contro grandi aperture (anche tamponate), discontinuità murarie nella muratura e la presenza di impianti, canne fumarie e tubazioni facilitano l'attivazione del meccanismo.



Figura 19 Tipiche lesioni a taglio delle fasce murarie: a sinistra Rocca Isolani a Minerbio; a destra Rocca dei Gonzaga a Novellara.

3.4.2.3 TAGLIO NELLE PARETI INTERNE

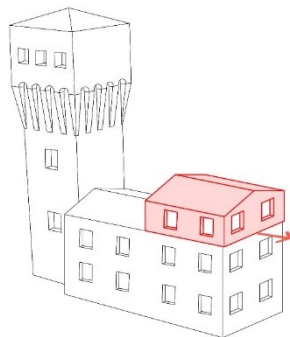


Il meccanismo si innesca, con deformazioni nel piano, per rottura a taglio nelle pareti interne. Il quadro fessurativo che ne deriva si manifesta con lesioni ad andamento inclinato a 45 gradi, sia singole che incrociate, generalmente disposte lungo i giunti di malta della muratura. La presenza di catene trasversali, di un contrasto laterale fornito dalle pareti di controvento contribuisce ad un buon comportamento di questo delle pareti; di contro grandi aperture (anche tamponate) e discontinuità murarie nella muratura facilitano l'attivazione del meccanismo.



Figura 20 Le lesioni a taglio nel piano delle aperture interne sono un buon indice di funzionamento della scatola muraria. In foto si riportano due dei tanti esempi (da sinistra): Castello di Galeazza Pepoli e Castello dei Bentivoglio.

3.4.3 SCORRIMENTO DI PIANO



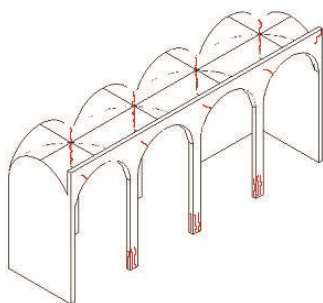
Il meccanismo si attiva per deformazioni a taglio nel piano per scorrimento orizzontale. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da lesioni orizzontali lungo i giunti di malta, con conseguente scorrimento della porzione svettante del fabbricato (quali altane, torrette) sulla porzione di muratura sottostante, lungo un piano orizzontale. Meno frequenti sono scorrimenti di interni piani di un fabbricato. Buoni architravi nelle aperture, la presenza di collegamenti verticali e di corpi di fabbrica laterali contribuiscono ad un buon comportamento di questo

macro-elemento; di contro la presenza cordoli rigidi e pesanti in C.A. favoriscono l'attivazione del meccanismo.



Figura 21 Due esempi significati, ma non emiliani, di tale meccanismo: a sinistra una torretta delle mura urbane di Norcia; a destra parte sommitale della torre del Castello di Kruja, Albania.

3.4.4 DANNO A LOGGE/PORTICATI



Il meccanismo si attiva con deformazioni per rottura a taglio dovute ad azioni nel piano del colonnato o per azioni di compressione. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da: lesioni negli archi o negli architravi longitudinali; eventuale lesionamento delle volte; dal fuori piombo o schiacciamento dei piedritti, con lesioni alle base degli stessi. La presenza di catene, di colonne di adeguata rigidità contribuisce ad un buon comportamento di questo macro-elemento; di

contro la presenza di elementi spingenti (archi, volte), di volte pesanti in pietra o in laterizio di spessore significativo, di cappe armate sull'estradosso delle volte, di una copertura pesante in c.a. aggrava il fenomeno.

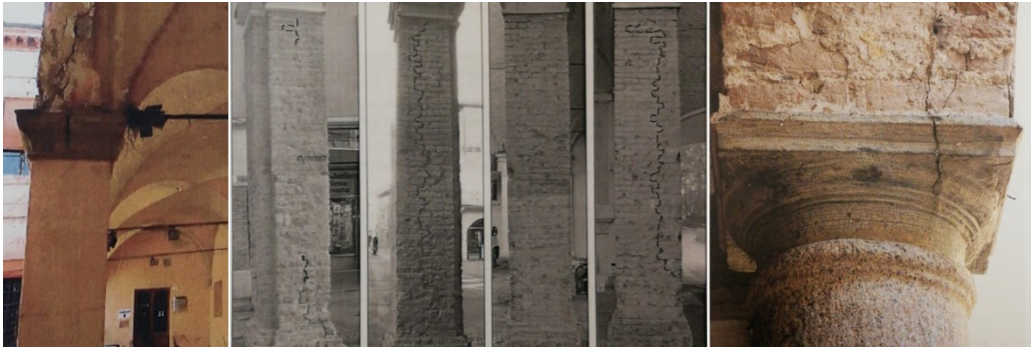
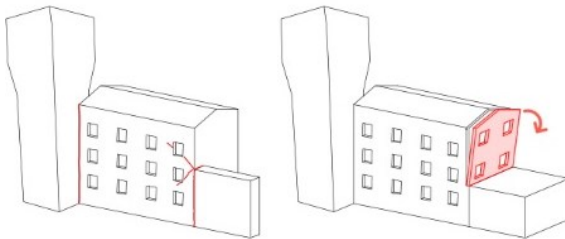


Figura 21 Da sinistra alcune lesioni che hanno interessato i piedritti dei loggiati: Rocca dei Gonzaga a Novellara; Castello Campori a Soliera; Castello di San Martino.

3.4.5 DANNO PER IRREGOLARITÀ DI FORMA



Il meccanismo si attiva a causa di fenomeni di martellamento indotti sul palazzo da parte dei corpi annessi (es. torri, mura di cinta, casematte), dovuti a una diversa risposta sismica dei due fabbricati. Il quadro fessurativo è rappresentato

dall'insorgenza di lesioni che si irradiano con andamento sub-orizzontale, aventi come fulcro il punto di stacco tra palazzo e corpo annesso; lesioni da ribaltamento della porzione di parete svettante adiacente al corpo annesso; lesioni verticali lungo il piano di congiunzione con il corpo annesso. Un adeguato ammortamento tra le murature dei due corpi di fabbrica, efficaci collegamenti (catene), disposizione di solai orizzontali alla stessa quota possono migliorare il comportamento sismico di questi macro-elementi. Di contro l'irregolarità in pianta e in elevato determina una diversa risposta dinamica, che contribuisce all'attivazione del meccanismo.

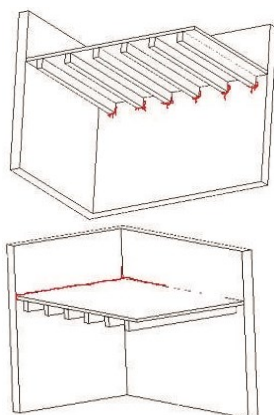


Figura 22 Irregolarità di forma possono generare fenomeni di martellamento tra strutture non ben ammortate: a sinistra Castello estense di Ferrara; a destra Castello dei Pico a Mirandola.

3.5 MECCANISMI DI DANNO COMUNI A TUTTI E TRE I BENI COMPONENTI

3.5.1 DANNI AGLI ELEMENTI ORIZZONTALI

3.5.1.1 SFILAMENTO TESTA DELLE TRAVI E/O MARTELLAMENTO

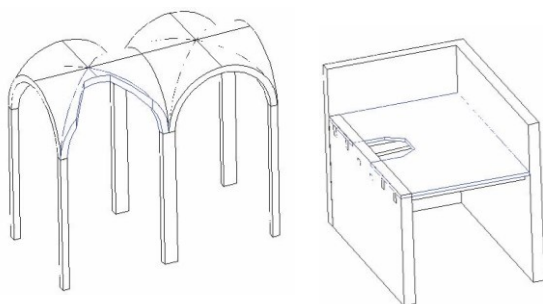


Il meccanismo si manifesta generalmente contestualmente al ribaltamento fuori dal piano della parete su cui poggiano le travi del solaio interessato (meccanismo M1). Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato dallo scorrimento delle travi dal piano di appoggio, anche di diversi cm, che può portare al collasso del solaio. Efficaci elementi di contrasto al ribaltamento della facciata (contrafforti, corpi addossati, altri edifici), la presenza di catene, di cordoli leggeri, e di adeguati collegamenti trave-muratura contribuiscono ad evitare l'attivazione di tale meccanismo; di contro appoggi delle travi mal realizzati facilitano l'attivazione del cinematismo.



Figura 23 Due esempi di sfilamento della testa delle travi, congiunti a fenomeni di martellamento che hanno danneggiato la muratura. A sinistra Castello dei Pico a Mirandola; a destra Rocca estense di San Felice.

3.5.1.2 COLLASSI LOCALI DELL'IMPALCATO O DELLA VOLTA



Il meccanismo è indotto da ribaltamento e/o allontanamento dei piedritti/pareti. Per quanto riguarda le volte, la loro stabilità può essere compromessa anche da carichi concentrati dei solai di copertura o da caratteristiche costruttive, quali l'eccessiva snellezza (volte in foglio) o

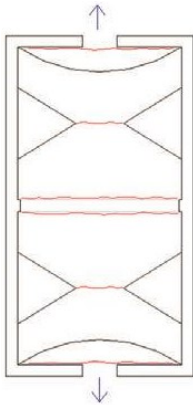
grandi luci. Dimensioni considerevoli dei piedritti, la presenza di incatenamenti di dimensioni e tiro adeguati per le volte e di capi-chiave di collegamento tra travi del solai

e muratura, unitamente a tutti i presidi antisismici atti ad evitare il ribaltamento degli elementi verticali di appoggio (meccanismo M1) possono contribuire ad evitare l'attivazione di tale meccanismo. Di contro piedritti eccessivamente snelli, e privi di incatenamenti, non assorbono le spinte laterali e quindi contribuiscono all'attivazione del meccanismo descritto.



Figura 24 A sinistra crolli localizzati nelle volte del Castello di Galeazza Pepoli; a destra danno a un impalcato ligneo del Castello estense a San Martino in Rio.

3.5.1.3 DANNO AGLI ARCHI E ALLE VOLTE PER ROTAZIONE DELLE IMPOSTE

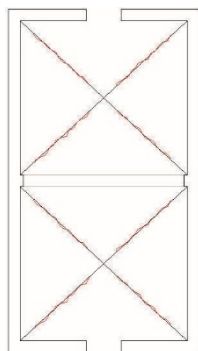


Il meccanismo è causato principalmente allo spostamento fuori piano di una o di entrambe le pareti su cui le volte si impostano. Tale cinematico provoca deformazioni e abbassamento in chiave degli archi o delle volte, la formazione di cerniere plastiche. Il quadro fessurativo si manifesta con lesioni negli arconi e nella volta, e fuori piombo e/o schiacciamento delle colonne, se presenti. La presenza di catene trasversali, di contrafforti esterni, di corpi annessi adiacenti, contribuisce ad un buon comportamento di questo macroelemento; di contro gli stessi elementi spingenti (archi, volte), pareti di elevata snellezza e volte realizzate in foglio, favoriscono l'attivazione del meccanismo.



Figura 25 Cedimento dell'arco e della relativa volta a botte per allontanamento di uno dei due piedritti. A sinistra Castello delle Rocche a Finale Emilia; a destra Castello Galeazza Pepoli.

3.5.1.4 DANNO ALLE VOLTE PER DEFORMAZIONI DI PIANO

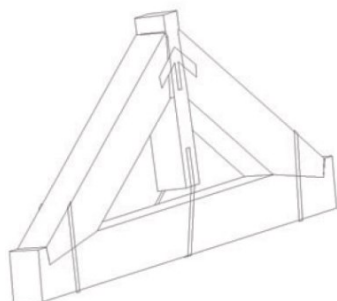


Il meccanismo si innesca con deformazioni per rottura nel piano a taglio. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da lesioni nelle volte. La presenza di catene efficaci (per posizione, tiro, tipologia di ancoraggio, diametro) contribuisce ad un buon comportamento di questo macro-elemento; di contro la presenza di volte eccessivamente ribassate e/o snelle (disposizione dei mattoni di piatto, con campate di grande luce), di lunette di dimensioni considerevoli, di carichi concentrati favorisce l'attivazione del meccanismo.



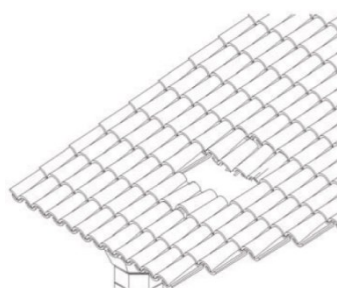
Figura 26 Deformazioni per rottura nel piano a taglio della volta: a sinistra la volta della Rocca di stellata di Bondeno gravata da un carico concentrato al centro; a sinistra il crollo di una delle volte ribassate e molto sottili del Castello di Galeazza Pepoli.

3.5.1.5 DANNO NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA



Il meccanismo si verifica in caso di deformazioni delle pareti su cui poggia la copertura o di scorrimenti reciproci tra le orditure della copertura stessa, nel caso in queste non siano adeguatamente collegate. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da lesioni vicino alle teste delle travi lignee, scorrimento delle stesse, sconessioni tra cordoli e muratura. La presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, c.a. sottili), di collegamento puntuale delle travi alla muratura, di controventi di falda, di connessioni tra gli elementi di orditura della copertura, contribuisce ad un buon comportamento di questo macro-elemento; di contro la presenza di copertura staticamente spingente, di cordoli rigidi, copertura pesante, favorisce l'attivazione del meccanismo.

3.5.1.6 DANNO AL MANTO DI COPERTURA

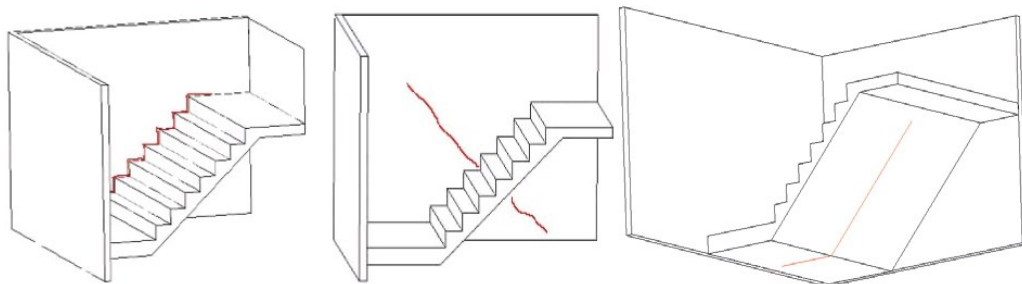


Il meccanismo si verifica a seguito di deformazioni della struttura del solaio di copertura o a causa del collasso di macerie/corpi aggettanti sulla copertura stessa. Il quadro fessurativo consiste in movimenti significativi del manto di copertura (collassi locali, scivolamento dei coppi). Evitando l'attivazione del meccanismo M15, con presidi antisismici citati, è possibile scongiurare danni ingenti al manto di copertura



Figura 27 Scivolamento dei coppi. Da sinistra: Castello di Galeazza Pepoli, Mastio della Rocca di San Felice, Rocca di Cento.

3.5.2 DANNO ALLE SCALE

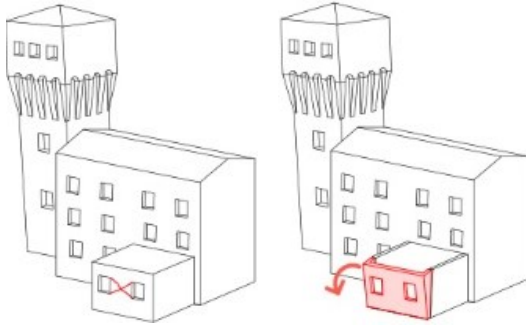


Il meccanismo si attiva con danni al corpo scala o con il distacco del corpo scala dalla parete muraria, a causa di deformazioni nel piano o fuori dal piano della parete. Il quadro fessurativo si manifesta con lesioni lungo il piano di contatto tra parete e corpo scala, determinando un parziale distacco di quest'ultimo, o lesioni da taglio sulla parete. Possono inoltre manifestarsi lesioni lungo il corpo scala, per deformazione dello stesso. Un buon collegamento tra muratura portante e scala in aggetto può contribuire a un buon comportamento di questo elemento; di contro l'elevata snellezza della scala o l'ampia luce da coprire possono concorrere all'attivazione del meccanismo.



Figura 28 Danni alle scale della Rocca Stellata di Bondeno (Ferrara) e della Rocca di San Felice sul Panaro.

3.5.3 DANNI AI CORPI ADDOSSATI (CASEMATTE)



Il meccanismo si attiva con deformazioni nel piano, per rottura a taglio, o con la rotazione fuori dal piano delle pareti di facciata dei corpi annessi. Tali corpi di fabbrica, comuni nei complessi fortificati, si contraddistinguono per l'assenza di una scatola muraria autonoma, essendo spesso caratterizzati da solo tre pareti murarie e in appoggio

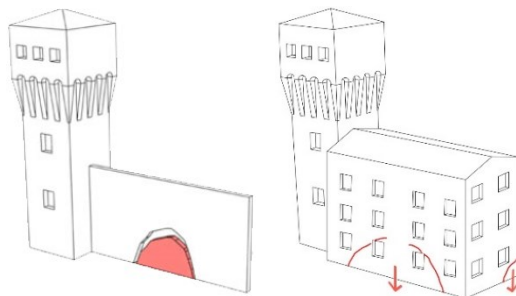
a una preesistenza (palazzo, mura di cinta, torre). I meccanismi che si manifestano in tali corpi di fabbrica sono in parte analoghi a quelli degli edifici in aggregato di testata, in quanto anch'essi costruiti con le mura semplicemente addossate a una cellula originaria¹⁵. Il quadro fessurativo che ne deriva si manifesta, per il meccanismo a taglio nel piano, con lesioni ad andamento inclinato a 45 gradi, sia singole che incrociate, generalmente disposte lungo i giunti di malta della muratura; per il meccanismo a ribaltamento, con la rottura delle murature delle pareti laterali e con lesioni pressoché verticali, con la formazione di una cerniera cilindrica ad asse orizzontale. Per evitare l'attivazione di cinematismi nel piano può contribuire la presenza di catene trasversali, e di un contrasto laterale fornito da corpi addossati. Per evitare l'attivazione di meccanismi fuori dal piano può contribuire la presenza di elementi di contrasto (contrafforti, corpi addossati, altri edifici), di catene longitudinali e di ammorsamenti di buona qualità tra la facciata interessata dal ribaltamento e le pareti laterali.



Figura 29 Lesioni a taglio del corpo annesso al Castello dei Ronchi a Crevalcore; Casamatta danneggiata addossata al muro di cinta soggetto a ribaltamento fuori dal piano (Rocca estense di San Felice).

¹⁵ CANOFENI G. 2007, pp. 76-95

3.5.4 CEDIMENTO DI FONDAZIONE



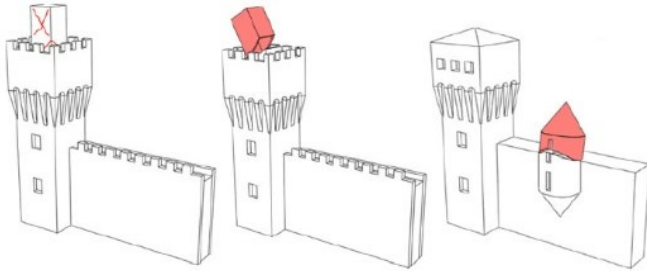
Il meccanismo si attiva a seguito di cedimenti locali del terreno di fondazione, dovuti a instabilità del terreno o a fenomeni di liquefazione. Tale instabilità localizzata potrebbe inoltre essere dovuta anche a sistemi di smaltimento delle acque meteoriche, che scaricano nel terreno in punti

particolarmente delicati, oppure quando il cedimento è più esteso alla tipologia di terreno, per lo più di riporto. Si ricorda infatti che molti dei castelli danneggiati dal sisma dell'Emilia sorsero a controllo dei corsi d'acqua e quindi adiacenti ad essi, oppure circondati da fossati colmi d'acqua che nel corso del tempo sono stati coperti con terreno. Il quadro fessurativo si manifesta con lesioni inclinate, nella fascia bassa centrale della parete, che evidenziano l'arco di scarico naturale della muratura, oppure con lesioni inclinate nello spigolo dell'edificio, individuando la porzione interessata dal cedimento locale.



Figura 30 A sinistra muro di cinta della Rocca di Pieve di Cento; a destra mura di cinta dei Castello ei Bentivoglio.

3.5.5 DANNO AGLI ELEMENTI AGGETTANTI/SVETTANTI



Il meccanismo si innesca con rotazioni fuori piano, azioni a taglio nel piano e spostamenti degli aggetti o parti di essi. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da lesioni inclinate o orizzontali, da rotazioni permanenti o da

scorrimenti. La presenza di perni di collegamento tra gli aggetti (es. garitte, bertesche) e la muratura o elementi di ritegno elementi svettanti (es. torrette) e muratura sottostante, di una muratura regolare e di buona qualità, contribuisce ad un buon comportamento di questi macro-elementi; di contro la presenza di elementi di elevata snellezza, di posizione asimmetrica rispetto all'elemento sottostante, facilita l'attivazione del meccanismo. A titolo esemplificativo proprio queste sono state le concause che hanno portato al crollo della torretta posta a coronamento delle torre del Castello di Galeazza Pepoli a Crevalcore. Nello specifico tale torrette era stata costruita in un secondo momento sul piano di guardia della torre e soprattutto in falso, senza quindi particolari collegamenti con la struttura sottostante. Tale condizione ha comportato un oscillamento della struttura svettante con conseguente ribaltamento, analogamente a quanto successo per le garitte appartenenti allo stesso complesso. Inoltre non è raro che le torrette presenti nei complessi fortificati, soprattutto se realizzate dopo il XV secolo e quindi prive di funzioni militari, siano strutturalmente assimilabili alle celle campanarie (ampie aperture arcuate e pilastri snelli) e che di conseguenza presentino meccanismi di danno analoghi (meccanismo M28 della Scheda Chiese – Modello A), ossia deformazioni nel piano negli archi e/o rotazioni o scorrimenti orizzontali dei piedritti. A titolo esemplificativo si riportano alcuni elementi che hanno manifestato tali meccanismi di dissesto: le lanterne delle torri del Castello estense di Ferrara, la parte terminale della torre dell'orologio del Castello dei Pio a Carpi e del rivellino della Rocca dei Gonzaga a Novellara.

Il cinematismo "Danni agli elementi aggettanti/svettanti" qui presentato si distingue in parte quindi dal meccanismo M18 della scheda Palazzi, che riguardava esclusivamente balconi e cornicioni. In questo caso il meccanismo di danno illustrato per garitte, bertesche e torrette forse trova quindi più analogie con i meccanismi di danno alla lanterna (M15) e agli aggetti/cella campanaria (M28), appartenente alla Scheda Chiese (Modello A-DC approvato del 2006).



Figura 31 A sinistra due foto delle esili garitte neogotiche lesionate del Castello di Galeazza Pepoli a Crevalcore. A destra la lanterna della Torre dei Leoni danneggiata, Castello estense di Ferrara.

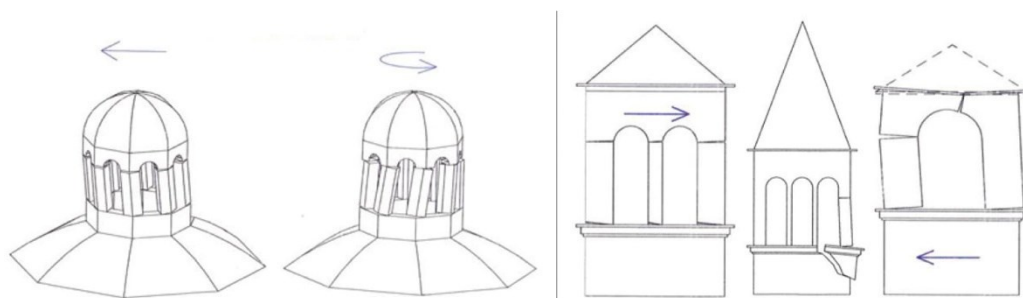
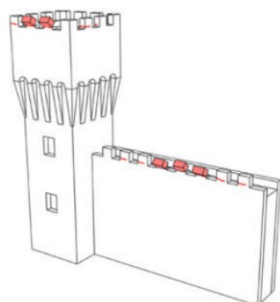


Figura 32 Due cinematismi tratti dall'abaco dei meccanismi di collasso delle Chiese (Scheda Modello A-DC) che presentano alcune analogie con i meccanismi relativi all'apparato difensivo aggettante e/o sventante. A sinistra il cinematismo di torsione dei piedritti tipico delle lanterne (M15). A destra il meccanismo M28 relativo alla cella campanaria, che si attiva per la rotazione o lo scorrimento dei piedritti.

3.5.6 MERLI

3.5.6.1 PRIMO MODO: RIBALTAMENTO



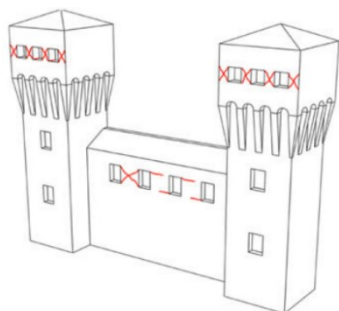
Il meccanismo si attiva con la rotazione fuori dal piano e/o lo scorrimento del merlo o parte di esso. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da una lesione orizzontale, che indica la formazione del piano di scorrimento, generalmente alla base del merlo stesso. La presenza di perni di collegamento tra merlo e muratura sottostante contribuisce ad un buon comportamento di questo elemento; di contro l'elevata snellezza, la collocazione a quote elevate, la

manca di un vincolo alla sommità del merlo favoriscono l'attivazione del meccanismo. Infatti dall'analisi statistica dei casi di studio, non si riscontrano fenomeni a taglio per i merli privi di copertura o vincoli in sommità, mentre i danni da ribaltamento fuori dal piano sono dell'ordine medio grave (livello 3, 4 o 5). Per quanto riguarda la snellezza del merlo si sottolinea come questa evolva con l'evoluzione della tecnica ossidionale e che quindi verosimilmente merli antecedenti il periodo di transizione, e quindi più snelli, risulteranno più fragili rispetto ai merli più tozzi, costruiti dopo l'avvento dell'artiglieria. Allo stesso tempo altrettanto vulnerabili sono le merlature con proporzioni esili e allungate, costruite solo con finalità estetiche e decorative, ne sono un esempio quelle risalenti al periodo del revival gotico.



Figura 33 Due foto esemplificative del meccanismo, in cui risulta ben visibile il piano orizzontale di scorrimento alla base del merlo: a sinistra un merlo del muro di cinta della Rocca di San Felice soggetto alle spinte degli elementi copertura; a destra un merlo della Rocca di Reggiolo prossimo alla fase di ultimo spostamento al limite del crollo.

3.5.6.2 SECONDO MODO: TAGLIO



Il meccanismo si attiva con deformazioni nel piano per rottura a taglio o a flessione della muratura del merlo, più facilmente queste si manifestano nel caso in cui la merlatura sia stata trasformata nel tempo in una struttura coperta. Nello specifico per quanto riguarda i merli con copertura, collocati su torri e a coronamento dei muri di cinta, si è riscontrato rispettivamente un solo caso di ribaltamento: Castello delle Rocche a Finale

Emilia e Rocca estense di San Felice sul Panaro (Modena). Probabilmente causato dalla spinta delle travi di copertura. Ulteriore elemento di vulnerabilità sono le feritoie che interrompendo la continuità muraria in sezione del merlo, facilitano il collegamento tra lesioni a taglio, aggravando il danno stesso. Il quadro fessurativo di tale meccanismo è

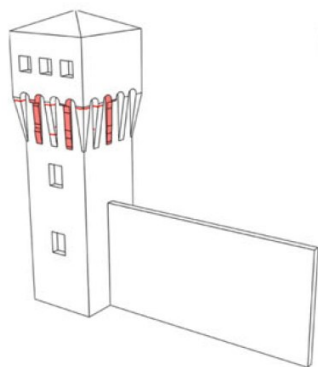
rappresentato da lesioni inclinate, sia singole che incrociate a X. Un buon ammorsamento tra merlo ed elementi di copertura contribuisce ad un buon comportamento di questo elemento; di contro la snellezza del merlo, la collocazione a quote elevate favoriscono l'attivazione del meccanismo. La presenza di una copertura pesante in C.A. e cordoli in C.A. rigidi non solo favorisce l'attivazione del cinematismo, ma tende ad aggravarlo. Danno secondario che deriva da quello qui descritto è lo scivolamento con successivo cedimento dei conci degli archetti interposti tra un merlo e l'altro.



Figura 34 Tipiche lesioni da taglio incrociata a X. A sinistra merli del mastio della Rocca di San Felice sul Panaro; a destra merli di una delle torri della Rocca di Finale Emilia.

3.5.7 BECCATELLI

3.5.7.1 TRAZIONE ALL'INNESTO CON LA MURATURA PORTANTE



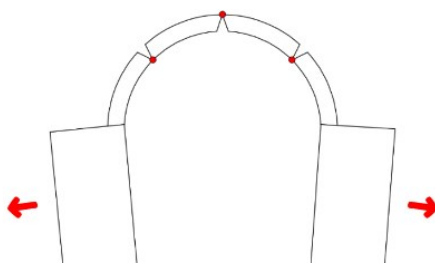
Il meccanismo si attiva con deformazioni dovute all'interazione tra muratura del beccatello e muratura portante, ma anche alla maggior concentrazione delle forze di compressione sull'esterno del beccatello, trasmesse dagli archetti posizionati a filo esterno del beccatello, mentre a filo interno sono presenti le bucaie delle caditoie. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da lesioni verticali in corrispondenza della discontinuità costruttiva. La presenza di un'adeguata connessione tra il beccatello e la muratura retrostante, di catene di collegamento, riduce l'insorgenza di tale quadro fessurativo. Inoltre la presenza dell'elemento ligneo, più resistente a trazione rispetto alla muratura, potrebbe favorire una migliore distribuzione delle tensioni all'interno del beccatello e

quindi evitare l'attivazione del fenomeno. Di contro la presenza di azioni concentrate trasmesse dagli elementi di collegamento (capichiave e catene), la variazione di geometria, dovuta alla presenza della caditoia che comporta una concentrazione delle forze di compressione sull'esterno del beccatello, unitamente alla riduzione del volume del elemento ligneo, che non lavora più adeguatamente a trazione, favoriscono l'attivazione del meccanismo.



Figura 35 Lesioni ai beccatelli di Rocca di San Felice sul Panaro, del Mastio del Castello di Galeazza Pepoli e del Castello dei Ronchi.

3.5.7.2 CEDIMENTO DELL'ARCO



Il meccanismo si attiva a seguito della deformazione nel piano e l'allontanamento dei piedritti/beccatelli su cui si imposta l'arco. Il quadro fessurativo che comunemente ne deriva è rappresentato dalla formazione di tre cerniere: una in chiave all'intradosso dell'arco e due alle reni (a 30° rispetto al centro dell'arco) all'estradosso; dallo scivolamento dei conci dell'arco e dallo schiacciamento e deformazione dei piedritti/beccatelli. La presenza di efficaci sistemi di contrasto delle spinte (catene, cerchiature) e di archi di luce ridotta contribuisce ad un buon comportamento di questo elemento; di contro l'assenza di incatenamenti, la scarsa qualità della muratura e della disposizione dei conci, la geometria, spesso trilobata, dell'arco favoriscono l'attivazione del meccanismo.



Figura 36 Classico meccanismo di dissesto dell'arco: l'allontanamento del piedritto, in questo caso del beccatello, determina minori forze di compressione tra i conci dell'arco e quindi il loro scivolamento. A sinistra un dettaglio di una delle torri della Rocca di Finale Emilia; a destra un dettaglio del mastio del Castello di Galeazza Pepoli.

3.6 RIEPILOGO DEI MECCANISMI DI DANNO ILLUSTRATI

A conclusione del capitolo si riporta quindi una tabella riepilogativa di tutti i meccanismi illustrati e dei relativi beni componenti di appartenenza. Per quanto possibile si è cercato di conservare i codici alfanumerici dei meccanismi già presenti nella scheda Palazzo (Modello B-DP), di modo da mantenere una continuità tra la scheda citata e la nuova scheda che verrà presentata nel capitolo successivo. Per ulteriore approfondimento si rimanda alla lettura del Manuale di compilazione della scheda di rilievo del danno della architetture fortificate in allegato.

Codice	Bene componente	Meccanismo
M1	Palazzo	Ribaltamento delle pareti
M2	Palazzo	Instabilità verticale delle pareti
M3	Palazzo	Rottura a flessione delle pareti
M4	Palazzo	Ribaltamento del cantonale
M5	Palazzo	Taglio nelle pareti esterne: maschi
M6	Palazzo	Taglio nelle pareti esterne: architravi e muratura soprastante
M7	Palazzo	Taglio pareti interne
M8	Palazzo	Scorrimento di piano
M9	Palazzo	Danno logge/porticati
M10	Palazzo/Torre/Mura	Sfilamento testa travi
M11	Palazzo/Torre/Mura	Collassi locali impalcato o volta
M12	Palazzo/Torre/Mura	Danno alle volte per rotazione delle imposte
M13	Palazzo/Torre/Mura	Danno alle volte per deformazioni di piano

M14	Palazzo/Torre/Mura	Danno alle scale
M15	Palazzo/Torre/Mura	Danno agli elementi di copertura
M16	Palazzo/Torre/Mura	Danno al manto di copertura
M17	Palazzo	Ribaltamento fasce sottotetto e timpano
M18	Palazzo/Torre/Mura	Danno agli elementi di aggettanti/svettanti (garitte/torrette)
M19	Palazzo/Torre/Mura	Collassi locali per irregolarità costruttive
M20	Palazzo/Torre/Mura	Danno per irregolarità di forma
M21	Palazzo/Torre/Mura	Danno nei corpi annessi
M22	Palazzo/Torre/Mura	Cedimento fondazioni
M23	Mura	Spinta del terreno o Cedimento del terrapieno
M24	Palazzo/Torre/Mura	Disgregazione
M25	Palazzo/Torre/Mura	Delaminazione
M26	Mura	Ribaltamento fuori dal piano del muro di cinta
M27	Mura	Meccanismo di taglio nel piano del muro di cinta
M28	Mura	Rottura a flessione orizzontale del muro di cinta
M29	Torre	Meccanismo a flessione della torre
M30	Torre	Meccanismi a taglio e torsionali della torre
M31	Torre	Meccanismi a taglio nella parte sommitale della torre
M32	Palazzo/Torre/Mura	Merli: meccanismo a taglio nel piano
M33	Palazzo/Torre/Mura	Merli: meccanismo a ribaltamento fuori dal piano
M34	Palazzo/Torre/Mura	Beccatelli: trazione all'innesto con la muratura portante
M35	Palazzo/Torre/Mura	Beccatelli: cedimento dell'arco
M36	Torre	Ribaltamento cantonale
M37	Torre	Scorrimento della copertura

Tabella 4. Riepilogo di tutti i meccanismi illustrati e dei relativi beni componenti di appartenenza.

CAPITOLO 4

SCHEDE DI RILIEVO DEL DANNO AI BENI CULTURALI: DALL'ANALISI DEGLI STRUMENTI ESISTENTI ALLE NUOVE PROPOSTE

4.1 ANALISI DELLE SCHEDE DI RILIEVO DEL DANNO: PROBLEMATICHE EMERSE A VALLE DEL SISMA DEL 2012

A seguito delle scosse sismiche del 2012, per il censimento dei danni ai beni architettonici tutelati si è dovuto ricorrere alle sole schede esistenti: Modello A-DC Chiese e Modello B-DP Palazzi. Tali strumenti sono risultati indispensabili per il rilievo speditivo degli oltre 2000 beni architettonici segnalati. Un'operazione di schedatura lunga e spesso complessa che, a fronte di un notevole dispiego di forze (funzionari, volontari) si è conclusa nell'Aprile del 2013. Tali tempistiche sono determinate oltre che dalla quantità di beni danneggiati, anche dai tempi di rilievo. Infatti se i tempi medi previsti per il completamento di una scheda modello A-DC sono limitati, la compilazione del modello B-DP risulta decisamente meno snella, per via dei numerosi parametri da rilevare e per la sua complessità che rispecchia quella della tipologia architettonica Palazzo. Infatti le tempistiche medie di completamento del modello B sono spesso pari a un'intera giornata, a volte anche due¹.

Inoltre bisogna aggiungere che esistono altre tipologie, quali teatri, cimiteri, architetture fortificate, torri, le cui schede sono al momento grandi assenti nella normativa. In particolare per rilevare i dissesti subiti dalle architetture fortificate ci si è avvalsi della scheda Palazzi, date le analogie che intercorrono tra le due tipologie edilizie. Infatti come già evidenziato nei capitoli precedenti, le architetture fortificate presentano corpi di fabbrica, che possono rientrare nella categoria palazzo e che quindi presentano meccanismi di danno analoghi a quelli già catalogati nella scheda Palazzo (Modello B-DP). Tuttavia sono state riscontrate alcune difficoltà nell'applicare tale strumento schedografico ai complessi fortificati. Infatti il modello B-DP non prevede i cinematismi tipici di torri, mura di cinta e degli altri macro-elementi tipici castellani, ossia merli, beccatelli, bertesche, garitte, torrette. Ulteriore difficoltà, come verrà di seguito illustrato, è stata legata alla necessità di cercare di incasellare in un'unica scheda Palazzo la natura composita e articolata dei complessi fortificati, connotati da strutture molto diverse tra loro e spesso mal collegate (torri, palazzi, mura di cinta).

¹ MARIANI M. 2016, pp.189-191

Entrando nel merito della questione, le suddette considerazioni derivano dall'analisi delle Schede di Rilievo del Danno compilate a valle del terremoto del 2012 per ciascuno dei 21 complessi castellani presi in esame. Tale materiale è stato fornito dall'Agenzia Regionale per la Ricostruzione – Sisma 2012. Di seguito verranno elencate le principali difficoltà emerse legate all'uso della scheda Palazzi Modello B-DP per il censimento della tipologia architetture fortificate.

4.1.1 REDAZIONE DI PIÙ SCHEDE DI RILIEVO DEL DANNO PER UN SINGOLO BENE COMPLESSO

	Denominazione	Contesto	Regolarità				Numero Schede
			In pianta	In elevato	Muri interni	Aperture	
Bologna	Rocca di Pieve di Cento	Centro storico	SI	NO	SI	SI	1
	Torre Galeazza	Area agricola	NO	NO	NO	SI	1
	Castello dei Manzoli	Area agricola	SI	SI	SI	SI	1
	Castello già dei Bentivoglio	Area agricola	SI	SI	SI	SI	2
	Rocca di Minerbio	Centro urbano	SI	NO	SI	SI	1
	Villa La Giovannina	Area agricola	SI	SI	SI	NO	3
Ferrara	Castello Estense	Centro storico	SI	SI	SI	SI	13
	Castello Lambertini	Centro storico	SI	SI	SI	SI	1
	Rocca Possente/Forte estense	Area agricola	NO	NO	NO	NO	1
	Rocca di Cento	Centro storico	SI	NO	SI	SI	1
	Castello in Santa Bianca di Bondeno	Area agricola	SI	SI	SI	SI	2
Modena	Rocca Estense	Centro urbano	NO	NO	NO	NO	1
	Castello Campori	Centro storico	NO	NO	NO	NO	1
	Castello del Pico	Centro urbano	NO	SI	NO	SI	2
	Castello del Plo	Centro storico	NO	NO	NO	NO	4
	Castello di Vignola	Periferia urbana	SI	SI	SI	SI	1
	Castello di Montegibbio	Area agricola	NO	NO	NO	NO	6
	Castello delle Rocche	Centro storico	NO	NO	NO	NO	1
	Castello Carrobbio	Area agricola	NO	NO	SI	SI	2
Reggio Emilia	Castello comunale di Reggiolo	Centro storico	SI	SI	NO	NO	1
	Rocca Estense di S. Martino in Rio	Centro storico	NO	NO	NO	NO	1
	Castello Guidotti	Centro storico	NO	NO	NO	NO	1
	Rocca del Gonzaga	Centro storico	NO	SI	NO	NO	3

Figura 1 Dati tratti dalle schede compilate nel 2012. Si noti il numero di schede redatto per un singolo bene, come anche per impianti regolari (es. Rocca Possente), si indichino pianta ed elevato irregolari.

La prima osservazione che emerge, ancora prima di visionare il materiale nello specifico, è che non c'è un rapporto uno a uno tra scheda e bene rilevato. Ossia in diversi casi è stato necessario compilare più di una scheda per ogni singolo bene complesso, proprio a causa della natura eterogenea delle architetture fortificate, formate dalla giustapposizione di differenti strutture con volumetrie e altezze molto diverse tra loro e in ciascuna delle quali è spesso possibile riconoscere una risposta unitaria al sisma. Per 9 beni complessi tra quelli esaminati è stata redatta più di una scheda ciascuno (Fig. 1). Tali beni sono stati suddivisi in unità strutturali dai rilevatori, ossia in diversi corpi di fabbrica e per ogni corpo individuato è stata redatta una specifica scheda. Esemplicativi sono i casi del Castello Estense di Ferrara e il Castello di Montegibbio a Sassuolo, Modena, per i quali sono state redatte il maggior numero

di schede. Per il castello di Ferrara nelle 13 schede sono stati rispettivamente riportati i dati relativi a: i rivellini, le torri e le ali di collegamento tra una torre e l'altra, oltre a una scheda complessiva, che fornisce informazioni globali sul bene, e un'altra scheda, in cui si descrive la suddivisione in unità del bene complesso, identificando e codificando in pianta i corpi di fabbrica individuati. Per Montegibbio si contano 6 schede relative alla torre, al palazzo, ad altri piccoli fabbricati e alla chiesa, per la quale è stata redatta la scheda Modello A-DC Chiese. Lo stesso principio è stato utilizzato per le altre 7 architetture fortificate. Il numero di schede in questo caso è minore perché minore è il numero di fabbricati che le compone. Emerge quindi l'evidente impossibilità di descrivere in un'unica scheda fabbricati così eterogenei.

4.1.2 DIFFICOLTÀ DI REPERIMENTO DEI DATI E DEGLI ELABORATI GRAFICI IN FASE EMERGENZIALE

Approfondendo l'analisi più nel dettaglio, iniziamo a sfogliare le singole schede individuando ordinatamente le sezioni in cui sembra che le squadre di rilevatori si siano trovati più in difficoltà nella compilazione.

Nella prima sezione della scheda Palazzo Modello B-DP si richiede di inserire i dati identificativi e descrittivi del bene, tra i quali: denominazione, tipologia e conformazione in pianta (Sottosezione B2), localizzazione geografico amministrativa (Sottosezione B3), coordinate UTM (Sottosezione B4), denominazione storica, datazioni varie, proprietà (Sottosezione B5), destinazione d'uso attuale (Sottosezione B6), accessibilità ai mezzi o meno (Sottosezione B9), tipologia dei beni artistici presenti (Sottosezione B11). Risulta evidente la difficoltà nel riuscire a reperire tali dati in fase emergenziale e in tempi relativamente rapidi, e ciò va a discapito della correttezza dell'informazione. Tale difficoltà tuttavia è intrinseca alla modalità di compilazione della scheda, delegata nella sua interezza alle squadre sul campo, e quindi riscontrabile anche per il rilievo della tipologia palazzi per cui tale strumento nasce e non esclusiva delle schede palazzo usate per censire la tipologia architetture fortificate. In questa prima sezione le principali difficoltà di compilazione si sono riscontrate nelle seguenti sotto-sezioni: B4, dove le coordinate UTM vengono raramente compilate²; B5, anche in questo caso le caselle relative alla datazione vengono spesso lasciate in bianco.

Analoghe difficoltà nella Seconda Sezione, in cui è richiesto ai rilevatori di compilare i campi relativi a interventi passati (sottosezione B16); regolarità, forma planimetrica e dati dimensionali (sottosezione B17) e di riportare eidotipi, schemi planimetrici e sezioni e la suddivisione in aree del fabbricato (sottosezione B18). Infatti, nel corso della fase emergenziale del maggio-giugno del 2012, non sempre è stato possibile fornire alle

² Si ricorda che nel 2012 la disponibilità e l'uso di *smartphone* o altri *device* con applicazioni satellitari non erano scontati.

squadre rilevatrici in tempi idonei materiale adeguato o aggiornato (planimetrie, sezioni, prospetti...), che invece sarebbe indispensabile avere non solo per riportare dati corretti³, ma anche al fine sia di velocizzare questa fase di compilazione sia di permettere ai rilevatori di comprendere il manufatto che si apprestano a rilevare nella sua globalità, evitando inesattezze. I principali errori incontrati nelle suddette sezioni riguardano difficoltà nel riportare informazioni relative agli interventi passati (B16) e ai dati dimensionali quali larghezza, lunghezza, superficie, altezza medie (B17). Per altro misure medie molto difficili da definire nel caso di complessi fortificati, con notevoli differenze in elevato tra parte palaziale e torri, e quindi in definitiva poco significative. Per la stessa ragione in almeno la metà dei casi visionati i rilevatori hanno contrassegnato il campo “Forma non regolare” sia in pianta che in elevato (B17), nonostante spesso si riscontrino schemi planimetrici tipici e a volte anche rigorosi (es. Rocca stellata di Bondeno) (Fig. 1).

In merito alla sottosezione B18 “Eidotipo e suddivisione in elementi” si rilevano due casistiche: eidotipi abbozzati direttamente sulla scheda, per far fronte all’assenza di materiale, oppure l’utilizzo appunto di elaborati grafici di terzi. Nel primo caso il rischio è di eccessiva semplificazione del manufatto o dimenticanza di alcune sue parti. Nel secondo caso si pone un’altra problematica, non relativa alla fase di rilievo, ma bensì alla fase successiva di lettura di tale modulistica. Infatti in questo caso nella sottosezione B18 si rimanda alla lettura di allegati (ossia gli elaborati grafici), che oggi non sono conservati assieme alle schede e che quindi non è stato possibile reperire dalla scrivente (Fig. 2). Di conseguenza l’assenza degli elaborati grafici allegati ha reso difficoltosa la lettura e la comprensione delle successive sottosezioni, in cui pareti, coperture, corpi annessi sono identificati tramite codici alfanumerici facenti riferimento alla loro collocazione in pianta.

³ In tale fase di rilievo speditivo in fase emergenziale non si pretende che i dati riportati abbiano alti livelli di precisione, date le condizioni in cui ci si trova ad operare. Tuttavia elaborati grafici non aggiornati o la loro assenza a monte, possono comportare valutazioni erronee a valle.

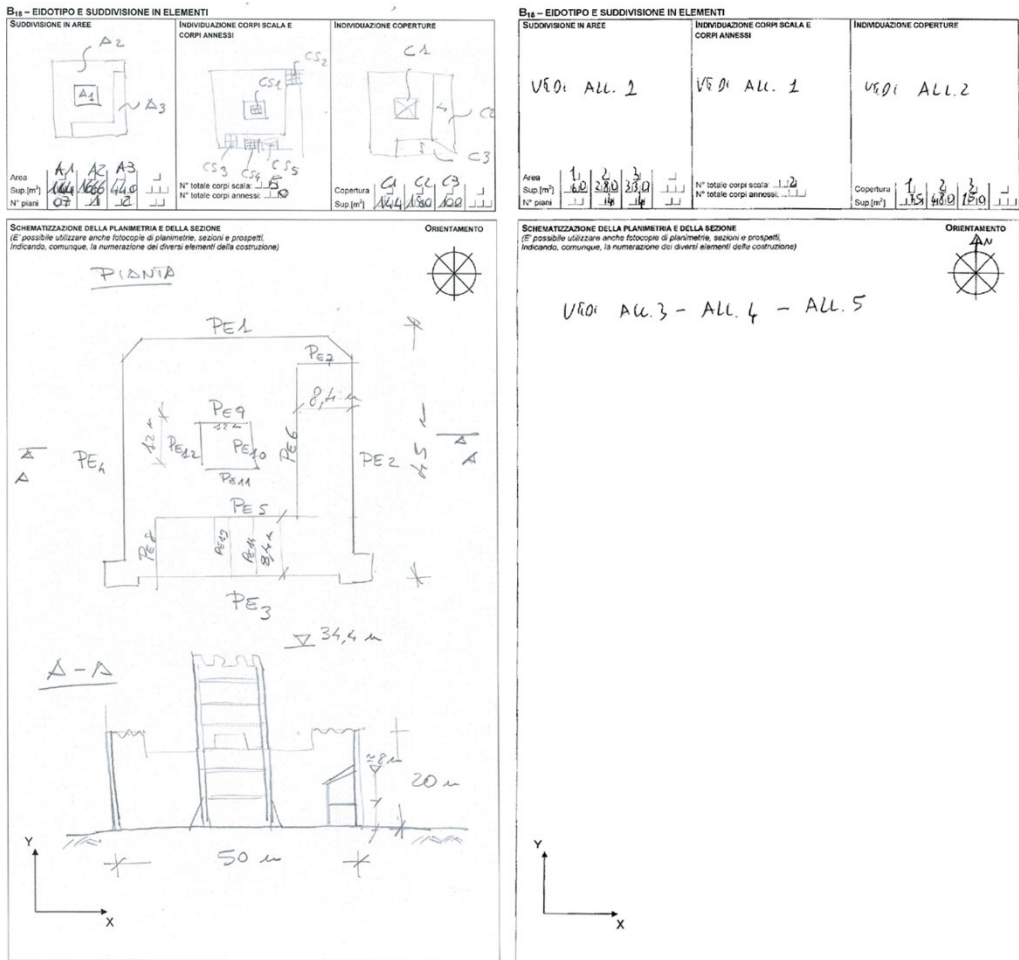


Figura 2 A sinistra un estratto della scheda della Rocca di Reggiolo e a destra del Castello delle Rocche a Finale Emilia, in cui si nota la difficoltà di poter interpretare la scheda stessa senza i dovuti allegati.

4.1.3 CENSIRE MECCANISMI TIPICI DELLE ARCHITETTURE FORTIFICATE CON LA SCHEDA PALAZZI

Si prosegue quindi con l'analisi delle sottosezioni della scheda riguardanti il rilievo del danno agli elementi non strutturali (B20) e dei meccanismi di collasso strutturali (B23). È certamente in questa parte che si denota maggiormente la difficoltà dei rilevatori nell'incasellare i cinematismi dei macro-elementi tipici dei castelli nella scheda Palazzo. La prima mancanza che emerge è la totale assenza, nell'elenco dei possibili meccanismi di collasso strutturali (B23), dei cinematismi di torri e mura di cinta e degli altri macro-elementi tipici dei castelli (merli, beccatelli, garitte, torrette, bertesche e così via). Tale assenza naturalmente non sorprende dato che tali strutture non si riscontrano usualmente nei palazzi. Per ovviare a tale problematica, i rilevatori si sono avvalsi della

voce “Altro” nel modo che, di volta in volta, ritenevano più opportuno. In particolare nella sottosezione B20 (danni agli elementi non strutturali) vengono riportati alla voce “Altro” o al posto della voce “Statue o aggetti” i cinematismi delle merlature. In altri casi lo stesso danno viene censito nella sotto-sezione B23, quindi meccanismi strutturali, sfruttando il campo altro (M23), come mostrato in Figura 3. In almeno tre casi il troppo solerte rilevatore ha riportato il suddetto dissesto in entrambe le sottosezioni (es. Scheda del Castello di Galeazza Pepoli a Crevalcore, di Villa La Giovannina a San Giovanni in Persiceto, della Rocca di Reggiolo). La voce M23 è stata inoltre utilizzata in 2 casi⁴ per censire un altro danno che poi si è rivelato tipico per i castelli, ossia la torsione della torre.

Denominazione	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23
Rocca di Pieve di Cento						3																	
Castello di Galeazza Pepoli	5		4	SI	SI	5	5			5	5	2	4	5	SI	5	4	5	4	4			5
Castello dei Manzoli	3					2	1			2		2		4				3		2			
Castello già del Bentivoglio	2					1	2			2	1							2					
Rocca di Minerbio - Isolani			3			2	2			2		2	1	1					2				
Villa La Giovannina				4	4	3	3		2			3	3						2	2			4
Castello Estense	3			5	3	2	2	4		2		2	1	3	5	2		4					
Castello Lambertini			3		3	3	4					3	SI	3	2			5				1	
Rocca possente	3										4	4	4	3		3	3	3					
Rocca di Cento	2				4											2							
Castello Santa Bianca di Bondeno																							
Rocca Estense	4			5	3	2	3	4		3	5	4			5	5	5	1		3	2		
Castello Campori				4	2	2			1					3	2			4		2	2		4
Castello del Pico	4	4		4	4	3	3		4	4	5	3		3	3	4	4		5	4			
Castello dei Pio	2			3	3	4			2	2	2		3	3	3	3		2	3	2	4		
Rocca di Vignola																							
Castello di Montegibbio																							
Castello delle Rocche		1		3	2	2	1		4				3			4					1		5
Castello Carrobbio			2		2	2			3		4			4	3	3				4		3	4
Rocca comunale di Reggiolo	3			4	4				5	5				4	5	5							5
Castello di S. Martino				1	1	1				1		2	2	2		2		1	2	2	2	1	
Castello Guidotti				1	1				2	3				2	2								
Rocca dei Gonzaga				1		1							1	1									1

Figura 3 Meccanismi di danno e relativi livelli di danno massimi riportati nelle schede compilate a valle del sisma del 2012. Si noti l'utilizzo del campo M23 (altro) anche per meccanismi di elevata gravità.

4.1.4 ERRORI DI COMPILAZIONE E POSSIBILI SOLUZIONI

Il meccanismo M23 viene utilizzato, nei casi del Castello Campori a Soliera e della Rocca di Gonzaga a Novellara, per censire danni alle volte e ai soffitti, in maniera erronea dato che tali dissesti rientrano nei meccanismi M10, M11, M12 e M13. La compilazione erronea, dovuta a fattori di distrazione o alla mancata comprensione di ciò che si chiede di riportare in una determinata sotto-sezione, contribuisce a generare ulteriore difficoltà nella lettura di tale modulistica. Tali errori di compilazione tuttavia potrebbero essere facilmente diminuiti innanzitutto con la stesura di un Manuale ad hoc per la Scheda Palazzi, su modello di quello della Scheda Chiese e infine definitivamente risolti tramite la digitalizzazione delle suddette schede⁵. Infatti la progettazione di un'applicazione informatica per *device* permetterebbe di guidare l'operatore ad ogni passaggio nella compilazione, impedendo di procedere nella stesura, in caso di dimenticanze o evidenziando eventuali errori. L'informatizzazione di

⁴ Scheda del Castello delle Rocche e del Castello di Carrobbio entrambi a Finale Emilia.

⁵ LIBRO A., COÏSSON E. 2021, pp. 44-51.

tale procedura preverrebbe ulteriori vantaggi a corollario, tra i quali la possibilità di inoltrare direttamente agli uffici preposti la scheda una volta compilata⁶ e l'opportunità di creare un archivio digitale di dati già organizzati e potenzialmente interoperabile con i database GIS già in uso⁷.

4.1.5 ANALISI DEGLI INDICI DI DANNO E DELLE VALUTAZIONE ECONOMICHE

Obiettivo pratico della schedatura è la definizione di un indice di danno e della relativa valutazione economica. Quest'ultima trasmessa agli uffici del Commissario Delegato, costituisce un primo valore di riferimento, che confluirà nel *Programma di Ricostruzione delle Opere Pubbliche e Beni culturali*, che attribuisce i fondi necessari alla ricostruzione. Le schede che stiamo qui analizzando sono quindi un importantissimo patrimonio di dati che merita di essere analizzato. Sono stati quindi effettuati alcuni confronti tra gli indici di danno calcolati nelle schede compilate a valle del terremoto del 2012 e tra le valutazioni economiche espresse nel modulo *Sintesi Valutazione Economica Interventi di Riparazione, Miglioramento e Restauro*, composto da tre voci: stima delle opere di ripristino strutturale; stima delle opere di finitura, impiantistiche e di miglioramento sismico; stima delle opere di pronto intervento (Fig. 5). Tali valori sono stati definiti sulla base di un metodo di valutazione fondato su analisi parametriche che utilizzano i seguenti dati a disposizione: il livello di danno dei diversi macro-elementi, l'indice di danno, l'indice di vulnerabilità, ricavabile dalla scheda di II livello, i costi medi di riparazione e ri-funionalizzazione al mq ricavati per analogia da quelli dei terremoti recenti. In particolare preme evidenziare che il metodo adottato pone in correlazione diretta le stime dei costi con l'indice di danno⁸.

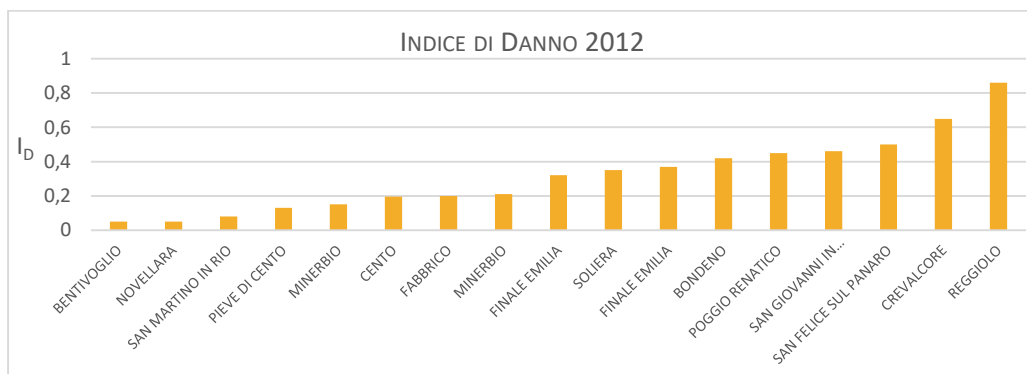


Figura 4 Indici di danno tratti dalle schede Modello B-DP compilate dopo il sisma 2012.

⁶ Si ricorda che, in occasione del sisma dell'Emilia, le squadre incaricate, una volta terminati i sopralluoghi di tutti i beni assegnati, dovevano fare rientro al Centro di Coordinamento a Bologna con le schede compilate in formato cartaceo. Tale logistica si è rivelata ancora più complessa per i terremoti avvenuti nel Centro Italia, zona montuosa e mal collegata.

⁷ Si fa in particolare riferimento al Web-GIS del Patrimonio culturale della Regione Emilia-Romagna, <https://www.patrimonioculturale-er.it/webgis/> (ultima consultazione 11 novembre 2021).

⁸ CIFANI G. et al. 2005, pp. 21-22

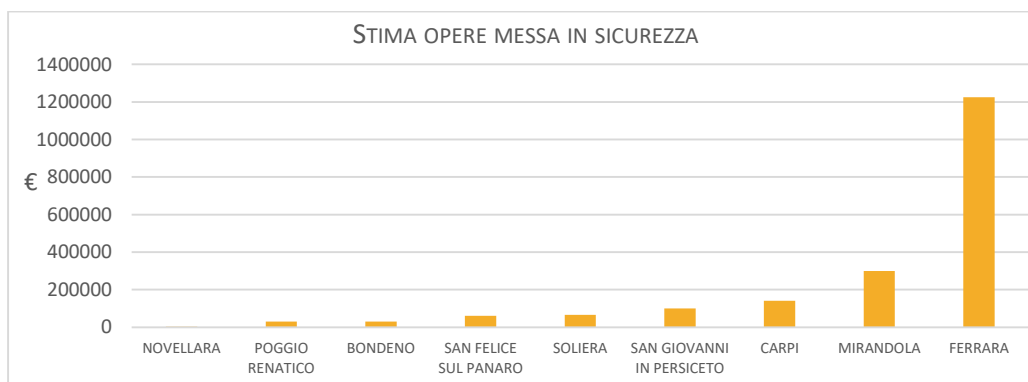
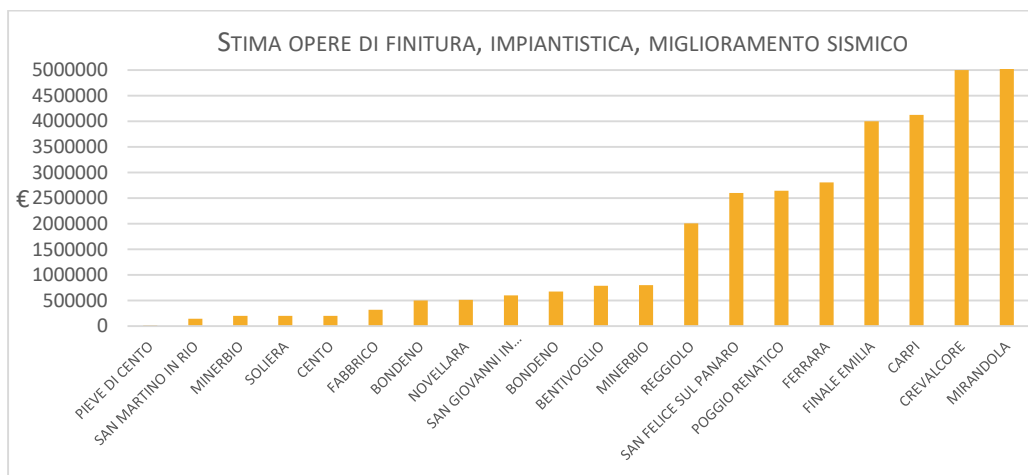
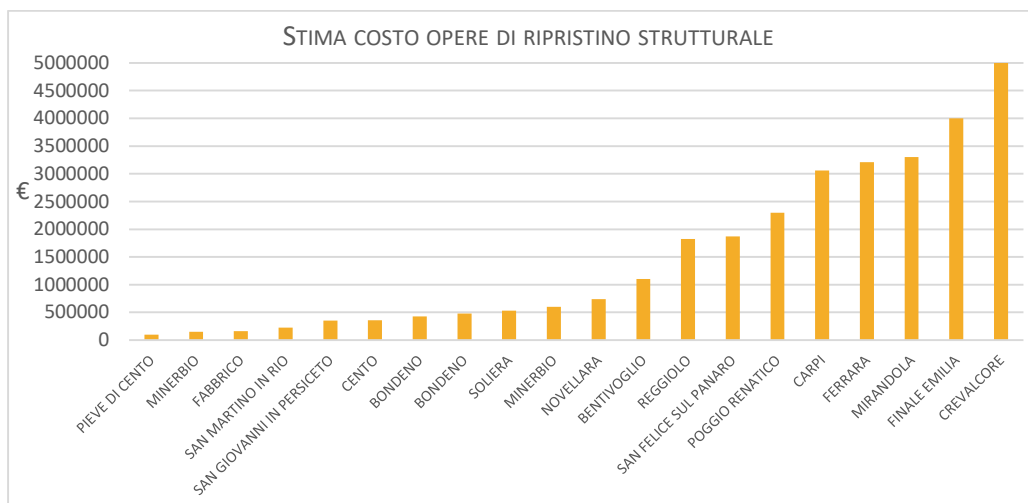
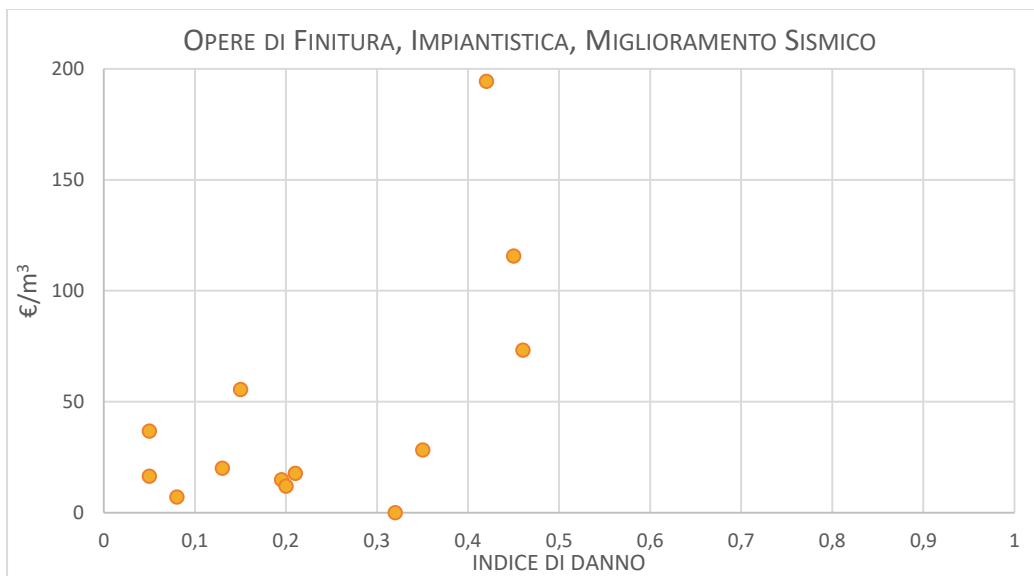
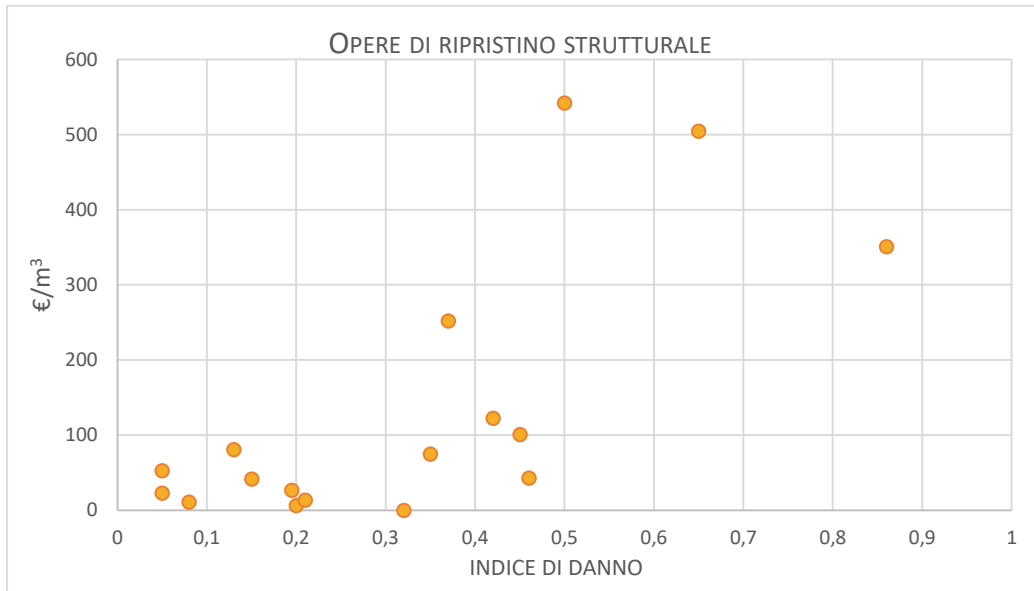


Figura 5 Valutazioni economiche tratte dal modulo Sintesi Valutazione Economica Interventi di Riparazione, Miglioramento e Restauro, compilato nei mesi successivi al sisma del 2012.

Sulla base dei dati acquisiti è stato quindi possibile effettuare un confronto tra indice di danno e valutazione economica (Fig. 6). Da questo raffronto non emerge una precisa correlazione tra indice di danno e stima dei costi al mc, in parte forse perché i dati a monte delle volumetrie erano solo stimati e quindi imprecisi o forse per via della difficoltà nello stabilire un indice di danno che rispecchiasse in maniera verosimile la reale gravità del quadro fessurativo, data la complessità delle architetture fortificate, che spesso non emerge dalle schede di rilievo del danno utilizzate.



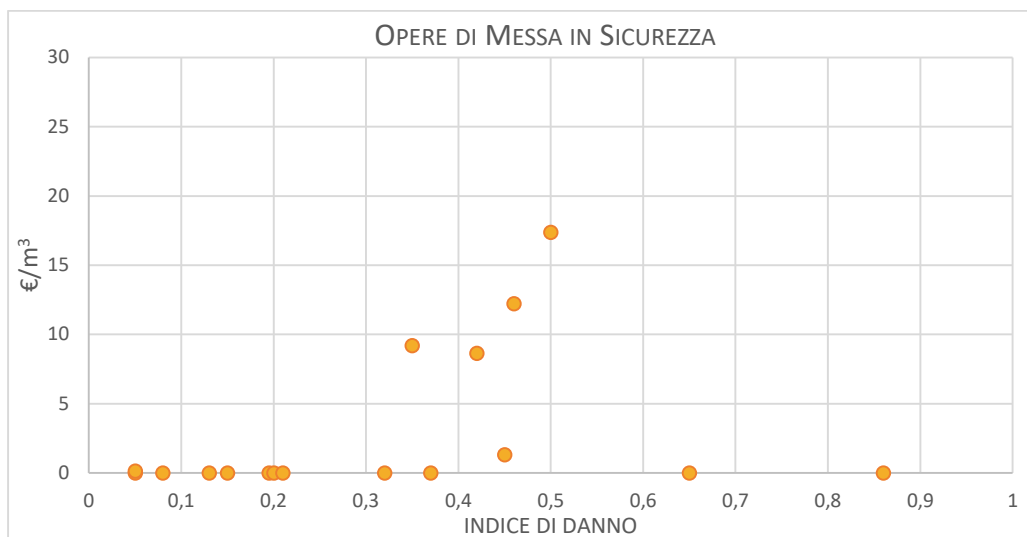


Figura 6 Valori di costi al mc tratti dal modulo Sintesi Valutazione Economica Interventi di Riparazione, Miglioramento e Restauro e indici di danno tratti dalle schede Modello B-DP.

Concludendo questa fase di analisi, è possibile affermare in definitiva che le problematiche esposte denotano la difficoltà nell'applicare una scheda che nasce per censire i palazzi, ossia edifici con una struttura generalmente uniforme, ai complessi fortificati, diametralmente opposti per definizione. Infatti l'architettura fortificata italiana si connota tipicamente per la sua natura composita ed eterogenea, i quanto costituita da fabbriche non coeve e con sviluppi planimetrici e in alzata molto diversi. La difficoltà di incasellare tale tipologia in una scheda non specifica comporta quindi il rischio della perdita di informazioni, anche a causa della difficoltà di lettura e di riconoscibilità dei meccanismi tipici, non previsti nel modello B-DP per i palazzi. Da queste considerazioni è emersa la necessità di provare a definire una scheda di rilievo del danno specifica per le architetture fortificate.

4.2 PROPOSTA PER UNA SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO SPECIFICA PER LE ARCHITETTURE FORTIFICATE

4.2.1 LA NECESSITÀ DI UNA SCHEDA *AD HOC* PER LE ARCHITETTURE FORTIFICATE

Per cercare di superare le difficoltà esposte nei paragrafi precedenti, in accordo con l'Agenzia Regionale per la Ricostruzione, si è ritenuto necessario provare a proporre una scheda di rilievo del danno *ad hoc* per le architetture fortificate. Tale proposta deriva inoltre dalla necessità di elaborare uno strumento in grado di cogliere le particolarità di ciascuna tipologia che compone usualmente i complessi castellani: palazzo, torre e mura di cinta. Quindi si è provato a elaborare una scheda che, attraverso una serie di sotto-schede, si adattasse alle caratteristiche tipiche delle architetture fortificate e che tenesse in considerazione la natura eterogenea di questi

complessi, costituiti da corpi di fabbrica con volumetrie, altezze molto diverse tra loro, che determinano risposte differenti al sisma.

Nonostante le problematiche riscontrate a valle delle scosse del 2012, e nei terremoti successivi, nella compilazione delle schede esistenti, non si può negare che racchiudano un patrimonio di conoscenza validato sulla base dell'osservazione dei cinematismi avvenuti terremoto dopo terremoto e che spesso tali problematiche derivino dalla necessità di estrema sintesi e uniformità che deve essere imposta a uno strumento per il rilievo speditivo e che si spesso si contrappone alla complessità e specificità del bene tutelato. Le schede esistenti costituiscono quindi una solida base di partenza che non poteva andare dispersa. Per tale motivo le schede elaborate nelle presenti tesi ricalcano in parte il modello di quelle esistenti (modello A-DC e modello B-DP), da una parte conservando le sotto-sezioni che effettivamente potevano essere utili alla descrizione delle architetture fortificate, dall'altra integrandole con nuove specifiche per la tipologia oggetto di studio. In particolare per quanto riguarda i meccanismi rilevati per le parti palaziali delle architetture fortificate, questi, come è facilmente intuibile, sono analoghi a quelli già presenti nella scheda Palazzi Modello B-DP (fatta eccezione per l'assenza dei meccanismi di merli, beccateli e così via). Mentre l'abaco di torri e mura di cinta vede l'inserimento di cinematismi fino ad ora non presenti negli strumenti di rilievo in vigore. Parziale novità è costituita anche dalla struttura della nuova scheda, meno rigida e che tende ad adattarsi alle specificità del complesso castellano. Infatti, come verrà meglio illustrato nei paragrafi successivi, tale modello proposto presenta una sotto-scheda per ogni bene componente (palazzo, torre, mura di cinta). Per ogni bene componente presente andrà redatta una scheda. Quindi una sorta di fisarmonica per cui più beni componenti ci sono, maggiore sarà il numero di schede. Mentre nel caso di fortificazioni più modeste con ad esempio solo una torre e un muro di cinta, sarà necessario compilare solo 2 sotto-schede. Da una parte si potrebbe ritenere che tale soluzione sia troppo complessa, tuttavia si ricorda che, già a valle del sisma del 2012, si era reso necessario redigere più Schede Palazzo per un solo complesso fortificato, proprio per via della loro natura composita, dovuta alla coesistenza in un unico bene di strutture con volumi, altezze totali e interpiano, snellezze e quindi cinematismi molto diversi tra loro. Senza contare che tale strumento, così strutturato, potenzialmente può adattarsi al rilievo di altre tipologie architettoniche, quali mura urbane e torri isolate.

In allegato a ciascuna scheda è presente un abaco dei meccanismi di danno che fornisce al rilevatore uno strumento sintetico per la consultazione rapida per aiutare nel riconoscimento del meccanismo stesso. Strumento più approfondito ed esteso è costituito dal *Manuale di compilazione della scheda*, in cui per ogni meccanismo di dissesto è riportata una tavola illustrativa con una breve descrizione e materiale fotografico diviso per livello di danno. Nei paragrafi successivi verrà fornita una

panoramica relativa alla struttura della scheda e verranno illustrate le motivazioni che hanno portato all'elaborazione di tale struttura. Per descrizioni più approfondite sulle singole sotto-sezioni si rimanda alla lettura delle schede stesse e del *Manuale di compilazione*, in allegato alla presente tesi (Allegato 2 e 3).

La scheda di rilievo del danno per le architetture fortificate è stata validata sulla base dei meccanismi studiati in letteratura per questa tipologia e sulla base dell'osservazione dei dissesti subiti dalle architetture fortificate in particolare dal terremoto del 2012 in Emilia, ma anche del 2016 Centro Italia e del 2019 in Albania. Tale scheda è poi stata applicata ad alcuni dei casi di studio emiliani. Tuttavia tale strumento non ha la presunzione di configurarsi come definitivo, ma piuttosto come una proposta che dovrà superare la prova sul campo nel corso di possibili future crisi sismiche.

4.2.2 STRUTTURA DI UNA POSSIBILE SCHEDA PER LE ARCHITETTURE FORTIFICATE

La scheda proposta nella presente tesi si articola in tre sotto-schede: scheda bene complesso (anagrafica e rilievo del danno), scheda bene componente e scheda riassuntiva finale (Fig. 7).

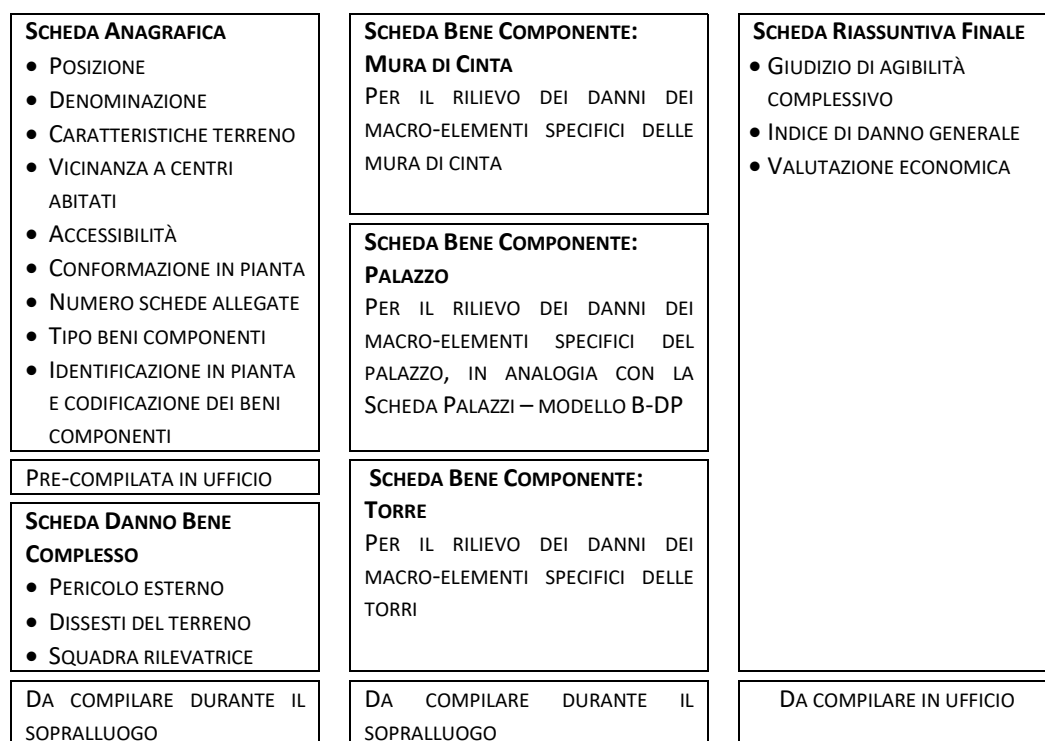


Figura 7 Schema sintetico della struttura della scheda di rilievo del danno per le architetture fortificate

Tale struttura, forse un po' complessa ma funzionale alla descrizione di una tipologia architettonica così eterogenea, in realtà non è un elemento di novità dell'ambito della

schedatura dei beni culturali. Infatti l'ICCD (Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione) ha elaborato delle schede per le tipologie chiese/teatri, ville/palazzi e torri, già in essere nella piattaforma Carta del Rischio, che sono state concepite secondo una struttura analoga per sub-componenti. In particolare ciascun bene complesso è dotato di una scheda anagrafica-madre, contenente i principali dati identificativi, a cui sono poi associate le schede di vulnerabilità - figlie, compilate per ciascun bene individuo⁹. Tali schede, testate sul campo tra il 2006 e il 2008 tramite una campagna di rilievo in Sicilia e Calabria¹⁰, si configurano secondo una forma più semplificata, rispetto a quelle che verranno presentate nei paragrafi successivi.

4.2.2.1 SCHEDA BENE COMPLESSO – ANAGRAFICA E DI RILIEVO DEL DANNO

Questa prima scheda raccoglie le informazioni generali relative a tutto il bene complesso e a sua volta si suddivide in due parti. La prima, detta scheda anagrafica, nasce con l'intenzione che sia possibile compilarla prima che avvenga un possibile evento sismico, nell'ottica di raccogliere, secondo un metodo uniforme, i soli dati necessari per l'identificazione del bene e per una sua descrizione di massima¹¹, al fine di rendere più agevole e veloce la compilazione delle altre sotto-schede nel corso del rilievo speditivo in fase emergenziale. In tale scheda, inoltre, si richiede di riportare gli elaborati grafici principali, che descrivano adeguatamente il bene complesso, e in particolare una pianta, ritenuta esemplificativa del manufatto, sulla quale identificare i beni componenti che costituiscono la fabbrica. Tale operazione sarà fondamentale per la compilazione delle altre sotto-schede. Una volta individuati in pianta, a tali beni componenti dovrà essere associato un codice identificativo e indicata la tipologia di appartenenza: palazzo, torre o muro di cinta. Infatti per ciascuna delle tre tipologie è stata redatta una specifica scheda. Nel caso in cui si riscontrino altre tipologie, ad esempio una chiesa come nel caso del Castello di Montegibbio a Sassuolo o della Rocca di San Martino in Rio nel reggiano, si rimanda alla compilazione della relativa scheda. Sulla base del numero di beni componenti indicati andrà compilato un uguale numero di schede bene componente.

La seconda parte, detta Scheda di Rilievo del Danno del Bene Complesso, deve invece essere necessariamente compilata durante il sopralluogo, in quanto raccoglie informazioni di carattere generale sulle condizioni della fabbrica e del suo contorno nella fase immediatamente successiva all'evento sismico. In questa scheda si richiede inoltre di riportare i nomi dei componenti della squadra che ha effettuato il rilievo speditivo.

⁹ DONATELLI A. 2010, pp. 193-214

¹⁰ ANGELETTI P. et al. 2009

¹¹ Si segnala che tali voci identificative sono già previste anche nella scheda anagrafica bene culturale (SCAN) dell'IICD, indispensabile per la gestione dei relativi Sistemi Informativi.

4.2.2.2 TRE SOTTO-SCHEDA BENE COMPONENTE: MURA DI CINTA, TORRE, PALAZZO

Sono state elaborate tre schede differenti costruite ad hoc sulla base delle specificità, sia geometriche-costruttive che di risposta al sisma, di ciascuna tipologia dei beni componenti: palazzo, torre, mura di cinta. Le suddette schede, che dovranno essere compilate nel corso del sopralluogo, si compongono di due sezioni (Fig.8): la prima contiene informazioni di carattere generale, ossia la denominazione del bene componente, i dati dimensionali ed eventuali caratteristiche costruttive, i dati relativi ai beni culturali in esso contenuti, e idotipi e infine si richiede di riportare il codice identificativo del bene componente già utilizzato nella scheda anagrafica; la seconda raccoglie le informazioni relative allo stato di manutenzione generale, al rilievo dei meccanismi di dissesto, all'indice di danno, alla valutazione dell'agibilità del bene componente, delle eventuali opere di messa in sicurezza e al rilievo del danno all'apparato decorativo e alle opere d'arte. Se la prima sezione risulta pressoché analoga per tutte e tre le schede, la seconda sezione è stata modellata, per ciascuna tipologia, sulla base dei meccanismi individuati, definendo un abaco specifico per ognuna. Nel caso in cui siano presenti più beni componenti appartenenti alla stessa tipologia andranno comunque compilate tante schede quanti beni componenti, eccezion fatta per il muro di cinta composto da più cortine. Quest'ultime infatti andranno invece censite in un'unica scheda mura di cinta.

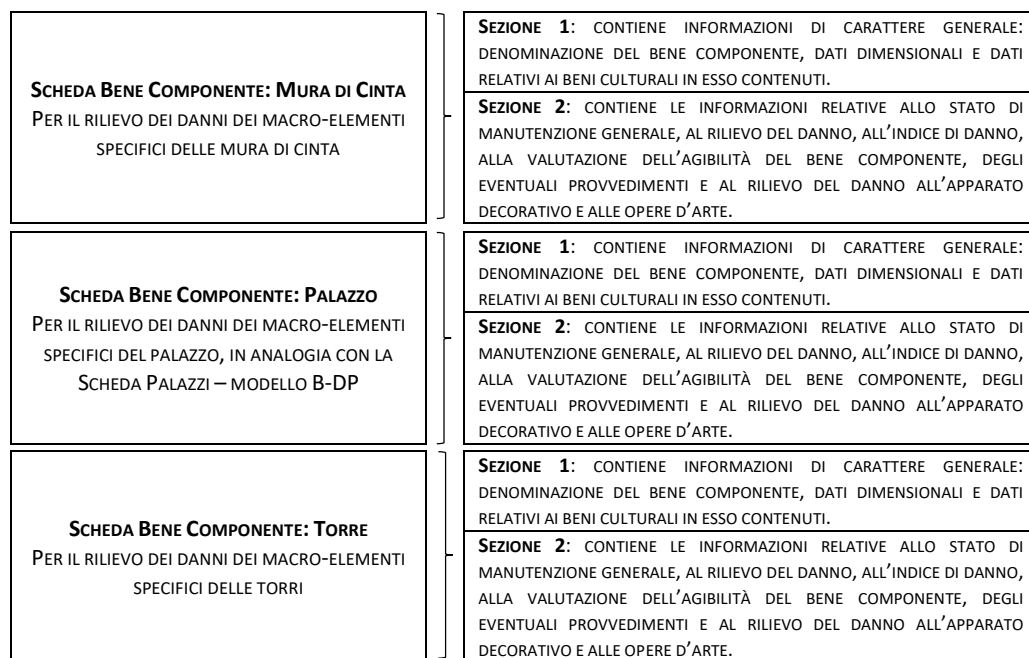


Figura 8 Schema della struttura delle sotto-schede bene componente, ciascuna composta da 2 sezioni.

4.2.2.2.1 *Mura di cinta*

In questa scheda vengono censiti i dati specifici relativi alle mura di cinta e in particolare i suoi meccanismi di dissesto. Nella prima sezione, oltre a poche informazioni di carattere generale, sono presenti due sotto-sezioni definite ad hoc per la scheda mura di cinta. La prima è la sotto-sezione C_{M3} relativa al codice del bene componente, ossia si richiede di riportare il codice indicato nella scheda anagrafica relativo al bene componente che si intende censire in questa scheda. Riportare il codice corretto è fondamentale per riconoscere e individuare correttamente il bene componente all'interno del bene complesso. In particolare il codice alfanumerico per il muro di cinta è composto dalle lettere MC e un numero progressivo. La seconda sotto-sezione C_{M6} , oltre a riportare i dati dimensionali, identifica la collocazione del muro di cinta rispetto agli altri beni componenti o la presenza o meno di alcuni elementi, quali portale d'ingresso e il fossato, che potrebbero determinare l'insorgenza di certi cinematismi. Infatti, dall'osservazione dei danni avvenuti e dall'analisi statistica delle caratteristiche costruttive, come verrà illustrato più dettagliatamente nel capitolo relativo al database GIS, è emerso che la presenza di alcuni elementi o il non adeguato collegamento con altri costituiscano una vulnerabilità intrinseca del bene. Quindi la catalogazione di tali condizioni di contorno risulta fondamentale, in quanto primo campanello d'allarme, che pone l'attenzione sulla possibilità di attivazione di determinati meccanismi. Ad esempio l'analisi statistica ha evidenziato che i muri di cinta, affiancati da fossato o che presentano camminamenti di ronda, sono generalmente più vulnerabili a cinematismi fuori dal piano.

MACRO-ELEMENTO	n	CODICE	MECCANISMO	
CORTINA MURARIA	┌┐	M26	<input type="checkbox"/>	RIBALTAMENTO DELLE PARETI
		M27	<input type="checkbox"/>	INSTABILITÀ VERTICALE DELLE PARETI
		M28	<input type="checkbox"/>	ROTTURA A FLESSIONE DELLE PARETI
ORIZZONTAMENTI	┌┐	M10	<input type="checkbox"/>	SFILAMENTO TESTA TRAVI E/O MARTELLAMENTO
		M11	<input type="checkbox"/>	COLLASSI LOCALI IMPALCATO O VOLTA
SCALE	┌┐	M14	<input type="checkbox"/>	DANNO ALLE SCALE
COPERTURE	┌┐	M15	<input type="checkbox"/>	DANNO AGLI ELEMENTI DI COPERTURA
		M16	<input type="checkbox"/>	DANNO AL MANTO DI COPERTURA
CORPI ANNESSI	┌┐	M21	<input type="checkbox"/>	DANNO NEI CORPI ANNESSI (CASAMATTA)
FONDAZIONI	■	M22	<input type="checkbox"/>	CEDIMENTO FONDAZIONI LOCALIZZATO
		M23	<input type="checkbox"/>	CEDIMENTO TERRAPIENO
IRREGOLARITÀ COSTRUTTIVE	<input type="checkbox"/>	M19	<input type="checkbox"/>	COLLASSI LOCALI PER IRREGOLARITÀ COSTRUTTIVE E DEL MATERIALE

DISCONTINUITÀ MATERICHE	<input type="checkbox"/>	M24	<input type="checkbox"/>	DISGREGAZIONE
		M25	<input type="checkbox"/>	DELAMINAZIONE
ELEMENTI AGGETTANTI/SVETTANTI	<input type="checkbox"/>	M18	<input type="checkbox"/>	DANNO AGLI ELEMENTI DI AGGETTANTI /SVETTANTI (GARITTE/TORRETTE)
MERLI	<input type="checkbox"/>	M32	<input type="checkbox"/>	MERLI: MECCANISMO A TAGLIO NEL PIANO
		M33	<input type="checkbox"/>	MERLI: MECCANISMO A RIBALTAMENTO FUORI DAL PIANO
BECCATELLI	<input type="checkbox"/>	M34	<input type="checkbox"/>	BECCATELLI: TRAZIONE ALL'INNESTO CON LA MURATURA PORTANTE
	<input type="checkbox"/>	M35	<input type="checkbox"/>	BECCATELLI: CEDIMENTO DELL'ARCO PER ALLONTANAMENTO DEI PIEDRITTI

Figura 9 Meccanismi di danno ricorrenti per il bene componente mura di cinta.

Nella seconda sezione, analogamente a quanto accade per la scheda Palazzo, e più precisamente nella sotto-sezione C_{M10} , vengono censiti i macro-elementi presenti: le cortine murarie, i corpi scala, gli orizzontamenti, le coperture, i corpi annessi e gli elementi aggettanti/svettanti (es. garitte e torrette), le merlature e i beccatelli. È necessario che il numero dei macro-elementi censiti sia corretto, perché sarà indispensabile per il calcolo dell'indice di danno. Infatti tale numero andrà prima di tutto riportato nella sotto-sezione relativa ai meccanismi di collasso strutturali nella colonna denominata n . Le caselle già annerite stanno a segnalare la sicura presenza del macro-elemento, quale ad esempio le fondazioni. In quest'ultima sotto-sezione sono stati riportati i 19 meccanismi di danno ricorrenti delle mura di cinta per le 11 tipologie di macro-elementi individuati (Fig. 9). Nel caso in cui il meccanismo si sia attivato sarà necessario barrare la relativa casella a fianco. Nella sotto-sezione successiva, andranno riportati tutti i macro-elementi danneggiati precedentemente censiti e a ognuno andrà associato uno o più meccanismi tra quelli attivatisi. Tra questi concorreranno al calcolo dell'indice di danno solo i meccanismi primari, ossia il meccanismo con livello di danno più grave per ogni macro-elemento. L'indice di danno viene calcolato secondo la seguente formula: $Id=d/5n$.

Dove n è la sommatoria dei macro-elementi censiti, mentre d è la sommatoria dei meccanismi primari riportati da ogni cortina. Nello specifico: $d= d_{CORTINA1}+ d_{CORTINA2}+.....+ d_{CORTINAN}$

$$d_{CORTINA} = MAX(d_{M10}; d_{M11}) + d_{M14} + MAX(d_{M15}; d_{M16}) + d_{M18} + d_{M19} + d_{M21} + MAX(d_{M22}; d_{M23}) + MAX(d_{M24}; d_{M25}) + MAX(d_{M26}; d_{M27}; d_{M28}) + MAX(d_{M32}; d_{M33}) + MAX(d_{M34}; d_{M35})$$

L'indice di danno ricavato con questa formula è stato applicato sui 10 muri di cinta dei 21 casi studio della tipologia castelli, colpiti dal terremoto del 2012. Grazie all'applicazione su casi studio effettivamente danneggiati è stato possibile validare tale

metodo di calcolo dell'indice di danno. Infatti quest'ultimo sembra effettivamente rispecchiare con una buona approssimazione la reale gravità del quadro fessurativo verificatosi (Fig. 10).

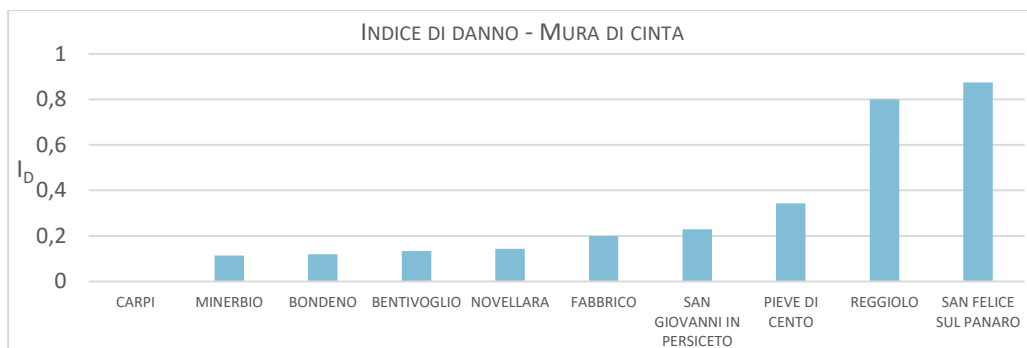


Figura 10 Indice di danno del bene componente Mura di cinta

Variazione che connota in maniera specifica la scheda di rilievo del danno delle mura di cinta, differendo dalle altre schede, è la sotto-sezione relativa all'agibilità. Infatti basandoci sulla definizione di agibilità in emergenza post-sismica¹², fornita dal Manuale di compilazione della scheda AeDES¹³, non era possibile associare tale definizione all'oggetto muro di cinta, che non prevede un effettivo utilizzo, se non limitatamente al transito in caso sia presente il camminamento di ronda. Quindi si è optato per la definizione di due tabelle: una relativa all'agibilità del camminamento di ronda e l'altra riguardante l'agibilità non della cortina muraria in sé, ma dell'area prospiciente, che potrebbe rivelarsi inagibile in caso di ribaltamento fuori dal piano della cortina muraria o di porzioni di essa. Al fine di rendere più snella questa sotto-sezione si è scelto di inserire solo tre giudizi di agibilità per entrambe le tabelle: agibile, inagibile e agibile con provvedimenti.

4.2.2.2 Torre

Analogamente a quanto già descritto per la scheda mura di cinta, nella prima sezione della scheda torre sono presenti, oltre alle sotto-sezioni riprese dalla scheda Palazzi e della scheda Chiese (denominazione, destinazione d'uso, tipologia di beni artistici presenti, documentazione fotografica, eidotipi), altre due sotto-sezioni più specifiche: una relativa al codice del bene componente (C_{T3}) e l'altra alla forma e alla disposizione della torre rispetto agli altri fabbricati (C_{T7}). Il codice alfanumerico che si richiede di

¹² Definizione di agibilità riportata nel Manuale di compilazione della scheda AeDES: "La valutazione di agibilità in emergenza post-sismica è una valutazione temporanea e speditiva – vale a dire formulata sulla base di un giudizio esperto e condotta in tempi limitati, in base alla semplice analisi visiva ed alla raccolta di informazioni facilmente accessibili – volta a stabilire se, in presenza di una crisi sismica in atto, gli edifici colpiti dal terremoto possano essere utilizzati restando ragionevolmente protetta la vita umana".

¹³ Approvato con il DPCM del 5 maggio 2011 e s.m.i.

inserire è composto dalla lettera T e da un numero progressivo, che indica la torre che ci si appresta a censire. Lo stesso codice è presente anche nella scheda anagrafica e identifica in maniera univoca una e una sola torre del complesso, individuandone la collocazione in pianta. Tale passaggio è fondamentale per non incorrere nel rischio di scambiare tra loro le torri appartenenti allo stesso complesso. Si richiede poi di indicare forma in pianta della torre, se si tratta di una torre portaia e la sua disposizione rispetto alle altre strutture della fabbrica (isolata, d'angolo, inglobata o sporgente). La richiesta di riportare tali informazioni è giustificata dal fatto che è stato verificato¹⁴ che queste caratteristiche, in particolare la posizione della torre e la presenza o meno del portale d'ingresso incidono sull'insorgenza dei meccanismi, sia in termini di tipologia di danno sia di gravità.

La seconda sezione della scheda torre, in particolare la sotto-sezione C_{T13} relativa a meccanismi di danno strutturali, è quella che ricalca maggiormente il modello A-DC della scheda chiese (Fig. 11). Tale modello è stato seguito con l'obiettivo di semplificare al rilevatore non solo il censimento dei dissesti, ma anche la fase successiva di calcolo dell'indice di danno. Infatti, a differenza della scheda palazzi, non si richiede di riportate il numero dei macro-elementi censiti, ma solo se questo è presente o meno e quindi se il meccanismo è potenzialmente attivabile¹⁵. Questa scelta è dovuta al fatto che, analizzando una torre alla volta, si ha generalmente un solo macro-elemento afferente a ciascuna tipologia (una copertura, un corpo scala, un fusto della torre) e non si ritiene necessario analizzare ogni singola parete della torre, ma piuttosto la sua risposta globale al sisma. Tra i macro-elementi che si presentano in un numero superiore a uno ci sono gli orizzontamenti, tuttavia per questioni di semplificazione, dato che si tratta di uno strumento finalizzato al rilievo speditivo, si è scelto di richiedere un giudizio sullo stato di danno generale di volte e impalcati. Sulla base di quanto censito viene ricavato l'indice di danno secondo la seguente formula: $Id = d/5n$

Dove $d = MAX(d_{M10,11}; d_{M12,13}) + d_{M14} + d_{M18} + d_{M19} + d_{M21} + d_{M22} + MAX(d_{M24}; d_{M25}) + MAX(d_{M29}; d_{M30}) + d_{M31} + MAX(d_{M32}; d_{M33}) + MAX(d_{M34}; d_{M35}) + MAX(d_{M36}; d_{M37})$

L'indice di danno, così definito, è stato applicato sulle 60 torri danneggiate dal sisma, rilevando una buona correlazione tra indice e reale livello di danno delle torri (Fig. 12).

¹⁴ Dalle analisi statistiche, condotte grazie ai dati archiviati nel database GIS, è emerso che, date alcune caratteristiche costruttive o di contorno, ci sono torri che risultano più vulnerabili di altre al sisma. Tali risultati sono stati esposti nel capitolo relativo al database GIS.

¹⁵ Le caselle già annerite stanno a segnalare la sicura presenza del macro-elemento, quale ad esempio le fondazioni.

CODICE	MACROELEMENTO E RELATIVI MECCANISMI					
	ORIZZONTAMENTI					<input type="checkbox"/>
M10	SFILAMENTO TESTA TRAVI E/O MARTELLAMENTO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
M11	COLLASSI LOCALI IMPALCATO O VOLTA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
M12	DANNO ALLE VOLTE PER ROTAZIONE DELLE IMPOSTE O	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
M13	DANNO ALLE VOLTE PER DEFORMAZIONI DI PIANO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	SCALE					<input type="checkbox"/>
M14	DANNO ALLE SCALE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	BASE TORRE					<input checked="" type="checkbox"/>
M29	MECCANISMO A FLESSIONE DELLA TORRE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
M30	MECCANISMI A TAGLIO E TORSIONALI DELLA TORRE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	PARTE SVETTANTE					<input type="checkbox"/>
M31	MECCANISMI A TAGLIO NELLA PARTE SVETTANTE DELLA TORRE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	COPERTURE					<input type="checkbox"/>
M36	RIBALTAMENTO DEL CANTONALE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
M37	SCORRIMENTO DELLA COPERTURA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	FONDAZIONI					<input checked="" type="checkbox"/>
M22	CEDIMENTO FONDAZIONI LOCALIZZATO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	IRREGOLARITÀ COSTRUTTIVE					<input type="checkbox"/>
M19	COLLASSI LOCALI PER IRREGOLARITÀ COSTRUTTIVE E DEL MATERIALE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	CORPI ANNESSI					<input type="checkbox"/>
M21	DANNO NEI CORPI ANNESSI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	DISCONTINUITÀ MATERICHE					<input type="checkbox"/>
M24	DISGREGAZIONE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
M25	DELAMINAZIONE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	ELEMENTI AGGETTANTI/SVETTANTI					<input type="checkbox"/>
M18	DANNO AGLI ELEMENTI DI AGGETTANTI /SVETTANTI (TORRETTE)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	MERLATURE					<input type="checkbox"/>
M32	MERLI: MECCANISMO A TAGLIO NEL PIANO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
M33	MERLI: MECCANISMO A RIBALTAMENTO FUORI DAL PIANO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	BECCATELLI					<input type="checkbox"/>
M34	TRAZIONE ALL'INNESTO CON LA MURATURA PORTANTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
M35	CEDIMENTO DELL'ARCO PER ALLONTANAMENTO DEI PIEDRITTI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 11 Tabella relativa ai meccanismi di danno del bene componente Torre.

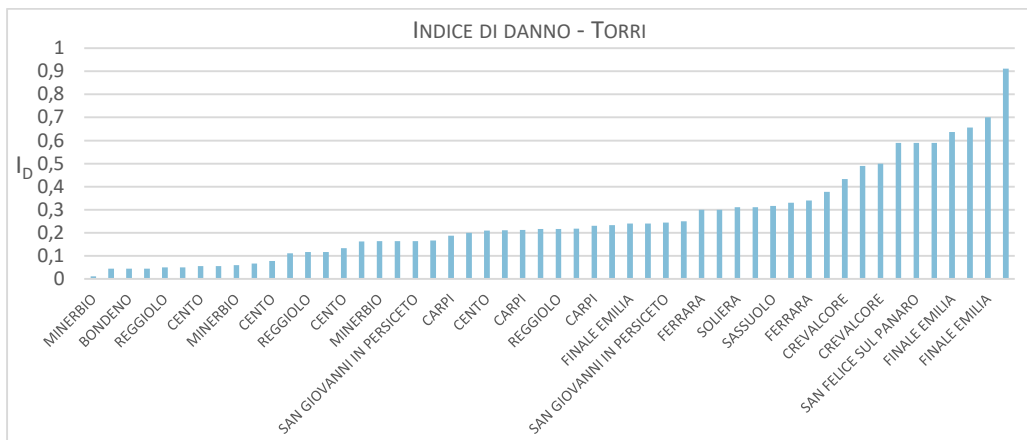


Figura 12 Indice di danno del bene componente Torre.

4.2.2.2.3 Palazzo

Per ovvie ragioni questa scheda bene componente è quella che ricalca maggiormente il Modello B-DP - Palazzi. Di seguito quindi verranno analizzate le principali differenze e integrazioni rispetto al modello vigente. La prima sezione naturalmente risulta snellita, in quanto le informazioni di carattere generale relative al bene componente sono confluite nella scheda anagrafica. Si conservano le seguenti sotto-sezioni: denominazione, destinazione d'uso, tipologia dei beni artistici presenti, documentazione fotografica; confluiscono qui dalla seconda sezione le sotto-sezioni C_{P7} regolarità, forma planimetrica e dati dimensionali (con alcune modifiche) e C_{P8} eidotipo e suddivisione in elementi; infine si aggiunge la sotto-sezione C_{P3} relativa al codice scheda bene componente. Come già illustrato si tratta di un codice alfanumerico presente anche nella scheda anagrafica, indispensabile per l'identificazione del bene componente. In questo caso il codice è composto dalla lettera P e un numero progressivo. Le modifiche della sotto-sezione C_{P7}, a cui si faceva cenno, riguardano l'aggiunta dell'indicazione della disposizione planimetria del palazzo oggetto di rilievo (isolato, addossato, angolare, inglobato), poiché, come noto, la presenza di strutture in adiacenza possono comportare effetti di martellamento di cui tenere conto in fase di rilievo dei danni.

MACRO-ELEMENTO	n	CODICE	MECCANISMO	
PARETI PERIMETRALI	┌┐	M1	<input type="checkbox"/>	RIBALTAMENTO DELLE PARETI
		M2	<input type="checkbox"/>	INSTABILITÀ VERTICALE DELLE PARETI
		M3	<input type="checkbox"/>	ROTTURA A FLESSIONE DELLE PARETI
		M5	<input type="checkbox"/>	TAGLIO NELLE PARETI ESTERNE: MASCHI
		M6	<input type="checkbox"/>	TAGLIO NELLE PARETI ESTERNE: ARCHITRAVI E MURATURA SOPRSTANTE

PARETI INTERNE	2x <input type="checkbox"/>	M7	<input type="checkbox"/>	TAGLIO PARETI INTERNE
GLOBALE	<input checked="" type="checkbox"/>	M8	<input type="checkbox"/>	SCORRIMENTO DI PIANO
PORTICATI/ LOGGE	<input type="checkbox"/>	M9	<input type="checkbox"/>	DANNO LOGGE/PORTICATI
ORIZZONTAMENTI	<input type="checkbox"/>	M10	<input type="checkbox"/>	SFILAMENTO TESTA TRAVI E/O MARTELLAMENTO
		M11	<input type="checkbox"/>	COLLASSI LOCALI IMPALCATO O VOLTA
		M12	<input type="checkbox"/>	DANNO ALLE VOLTE PER ROTAZIONE DELLE IMPOSTE
		M13	<input type="checkbox"/>	DANNO ALLE VOLTE PER DEFORMAZIONI DI PIANO
SCALE	<input type="checkbox"/>	M14	<input type="checkbox"/>	DANNO ALLE SCALE
COPERTURE	<input type="checkbox"/>	M15	<input type="checkbox"/>	DANNO AGLI ELEMENTI DI COPERTURA
		M16	<input type="checkbox"/>	DANNO AL MANTO DI COPERTURA
		M17	<input type="checkbox"/>	RIBALTAMENTO FASCE SOTTOTETTO E TIMPANO
		M4	<input type="checkbox"/>	RIBALTAMENTO DEL CANTONALE
INTERAZIONI	<input type="checkbox"/>	M20	<input type="checkbox"/>	DANNO PER IRREGOLARITÀ DI FORMA
	<input type="checkbox"/>	M21	<input type="checkbox"/>	DANNO NEI CORPI ANNESSI (CASAMATTA)
FONDAZIONI	<input checked="" type="checkbox"/>	M22	<input type="checkbox"/>	CEDIMENTO FONDAZIONI LOCALIZZATO
IRREGOLARITÀ COSTRUTTIVE	<input type="checkbox"/>	M19	<input type="checkbox"/>	COLLASSI LOCALI PER IRREGOLARITÀ COSTRUTTIVE E DEL MATERIALE
DISCONTINUITÀ MATERICHE	<input type="checkbox"/>	M24	<input type="checkbox"/>	DISGREGAZIONE
		M25	<input type="checkbox"/>	DELAMINAZIONE
ELEMENTI AGGETTANTI/SVETTANTI	<input type="checkbox"/>	M18	<input type="checkbox"/>	DANNO AGLI ELEMENTI DI AGGETTANTI /SVETTANTI (GARITTE/TORRETTE)
MERLI	<input type="checkbox"/>	M32	<input type="checkbox"/>	MERLI: MECCANISMO A TAGLIO NEL PIANO
		M33	<input type="checkbox"/>	MERLI: MECCANISMO A RIBALTAMENTO FUORI DAL PIANO
BECCATELLI	<input type="checkbox"/>	M34	<input type="checkbox"/>	BECCATELLI: TRAZIONE ALL'INNESTO CON LA MURATURA PORTANTE
	<input type="checkbox"/>	M35	<input type="checkbox"/>	BECCATELLI: CEDIMENTO DELL'ARCO PER ALLONTANAMENTO DEI PIEDRITTI

Figura 13 Meccanismi di danno del bene componente Palazzo.

Nella seconda sezione le uniche modifiche apportate sono state alcune integrazioni relative alla possibilità di censire i macro-elementi, e quindi i relativi danni, tipici delle architetture fortificate e non presenti invece nella scheda Palazzi: merlature, beccatelli e così via. Si fa riferimento in particolare alle sotto-sezioni C_{P12} e C_{P13} , nelle quali è riportata la tabella (Fig. 13), cui si richiede di censire i macro-elementi presenti. Come già illustrato, le caselle già annerite stanno a segnalare la sicura presenza del macro-elemento, quale ad esempio le fondazioni. Inoltre, analogamente a quanto è previsto

nella Scheda Palazzi, nella sotto-sezione $C_{P14.1}$ a ogni macro-elemento censito vengono associati uno o più meccanismi, di cui solo i meccanismi primari contribuiranno al calcolo dell'indice di danno. Quest'ultimo viene definito tramite la seguente formula: $I_d = d/5n$. Analogamente a quanto definito per il modello B-DP. Dove d è la somma dei livelli di danno dei meccanismi primari e n il numero di macro-elementi censiti.

L'indice di danno, così definito, è stato applicato sui 38 corpi di fabbrica colpiti dal sisma, rilevando una buona correlazione tra indice e reale livello di danno del bene componente (Fig. 14).

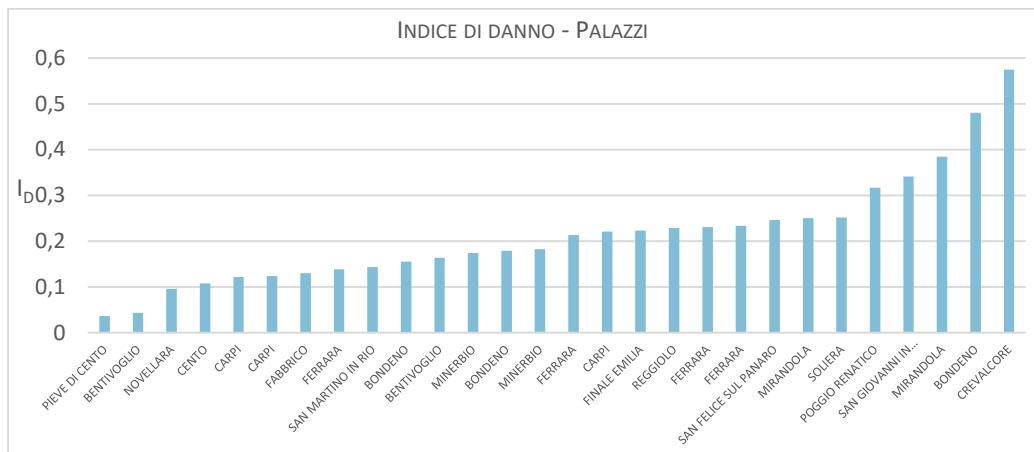


Figura 14 Indice di danno del bene componente Palazzo.

4.2.2.3 SCHEDA RIEPILOGATIVA

Questa scheda trae spunto dalla struttura della *Scheda di valutazione di danno e agibilità post-sisma per edifici a struttura prefabbricata o di grande luce* (GL-AeDES 01/2014) e in particolare dai modelli GE1-GL e GP1-GL, consegnati insieme alle scheda GL-AeDES, tramite cui le squadre di rilevatori forniscono un resoconto complessivo al Centro Operativo Comunale sul giudizio di agibilità e sugli eventuali provvedimenti urgenti necessari e/o agibilità parziali. Infatti nella scheda riepilogativa finale si chiede di riportare un giudizio di agibilità globale, l'indice di danno del bene complesso e infine una valutazione economica preliminare. Tale scheda potrà essere potenzialmente compilata dagli uffici preposti, successivamente al sopralluogo e sulla base dei dati raccolti nel corso di quest'ultimo.

4.2.2.3.1 Giudizio di agibilità del bene complesso

Per i beni componenti Torre e Palazzi, una volta indicato il numero complesso si chiede di riportare il giudizio di agibilità, fornito nelle schede bene componente, per ciascuna torre e ciascun palazzo. È possibile scegliere tra 7 giudizi sull'agibilità: A) Agibile; B) Agibile con provvedimenti; C) Parzialmente inagibile; D) Temporaneamente inagibile;

E) Inagibile; F) Inagibile per cause esterne al bene complesso; G) Inagibile per cause esterne al bene componente (indicare la sigla del bene componente, appartenente al bene complesso, che costituisce un pericolo). A ogni bene componente deve essere associato un solo giudizio di agibilità ad eccezione del giudizio F che può essere selezionato ad esempio anche se bene in se risulta agibile. Esempio tipico di tale circostanza, riscontrata anche in Emilia, è il campanile o altre costruzioni snelle che, pericolanti, incombono su altri edifici¹⁶. Dato che anche il danneggiamento delle torri del complesso castellano, che si sta indagando, potrebbe comportare uno scenario analogo, ossia la torre che minaccia il crollo sugli altri beni componenti (altre torri, palazzo o mura di cinta), si è deciso di inserire l'ulteriore giudizio G "Inagibile per cause esterne al bene componente". Per quanto riguarda il bene Muro di cinta non essendo una struttura che prevede lo stazionamento di persone e data la definizione di agibilità¹⁷, legata alla possibilità di utilizzo di un edificio nel corso della crisi sismica a patto che non sussistano rischi per la vita umana, si è scelto di non associare al muro di cinta una valutazione sull'agibilità, ma si richiede di indicare solamente, anche al fine di rendere più snella la compilazione, se si ritiene necessario delimitare area prospiciente al muro di cinta, a causa di meccanismi fuori piano o di disgregazione dello stesso, che renderebbero la zona non sicura. Infine viene fornito uno spazio libero in cui riportare eventuali note sull'agibilità e si richiede di riassumere le unità immobiliari inagibili, famiglie e persone evacuate e di riportare l'accuratezza del sopralluogo (solo dall'esterno, completa, parziale, incompleta) e gli eventuali motivi ostativi.

4.2.2.3.2 *Indice di danno del bene complesso*

L'indice di danno del bene complesso è una media pesata degli indici di danno di ciascun bene componente sulla base dei relativi volumi. Quindi il peso che l'indice di danno di ogni bene componente assume nel calcolo dell'indice di danno complessivo viene tarato sulla base del suo volume¹⁸. Si ricorda che l'indice di danno e il volume di ciascun bene componente sono già stati precedentemente calcolati e riportati nelle relative schede, andranno quindi semplicemente trascritti in questa sezione al fine di calcolare l'indice di danno del bene complesso secondo la seguente formula:

$$Id = \frac{[(Id_{T1} * Vol_{T1} + Id_{Tn} * Vol_{Tn}) + (Id_{P1} * Vol_{P1} + Id_{Pn} * Vol_{Pn}) + (Id_M * Vol_M)]}{(Vol_{TORRI} + Vol_{PALAZZI} + Vol_{MURACINTA})}$$

Il valore che tale indice assume è sempre un numero da 0 a 1, maggiore è il valore e maggiore sarà la gravità del quadro fessurativo. Naturalmente tale formula è stata verificata applicandola a ciascuno dei 21 complessi fortificati colpiti dal terremoto

¹⁶ MODENA C. et al. 2012; DI TOMMASO A., CASACCI S. 2013, pp. 18-25.

¹⁷ DPCM del 5 maggio 2011 e s.m.i.

¹⁸ Per il calcolo dell'indice di danno delle chiese, in CIFANI G. et al. 2002 p. 116, si proponeva di assegnare pesi diversi ai vari meccanismi considerati, attribuendo a ciascuno un coefficiente denominato ρ_k .

emiliano del 2012 ed è stato possibile constatare una buona approssimazione tra gravità del quadro fessurativo rilevato e i valori dell'indice così definito. Infatti mettendo a confronto gli indici dei 21 casi studio, i castelli effettivamente più colpiti presentano un indice di danno più alto e viceversa. Correlazione che emerge con meno precisione con l'indice di danno calcolato nel 2012, che non teneva conto delle volumetrie (Fig. 15). Inoltre è importante sottolineare che i volumi dei singoli beni componenti sono stati adeguatamente revisionati rispetto a quelli riportati nelle schede compilate nel 2012, grazie alla possibilità di analizzare gli elaborati depositati nell'archivio della Soprintendenza di Bologna, senz'altro geometricamente più precisi rispetto al materiale messo a disposizione in fase emergenziale nel 2012 (Fig.16).

L'indice di danno così definito, approssimando meglio la reale gravità del quadro fessurativo, potrà aiutare nel fornire valutazioni economiche più realistiche e quindi aiutare in una corretta gestione e redistribuzione delle risorse economiche in fase di ricostruzione. Infatti è possibile notare come utilizzando il "nuovo" indice di danno emerga una migliore correlazione con le valutazioni economiche proposte nel 2012, se pur non ancora del tutto soddisfacente (Fig. 17). Al fine di verificare che tale incongruenza non dipendesse dal calcolo dell'indice del danno del bene complesso elaborato in questa tesi, nel paragrafo successivo sono state elaborate alcune considerazioni in merito al possibile calcolo delle stime delle opere di ricostruzione.

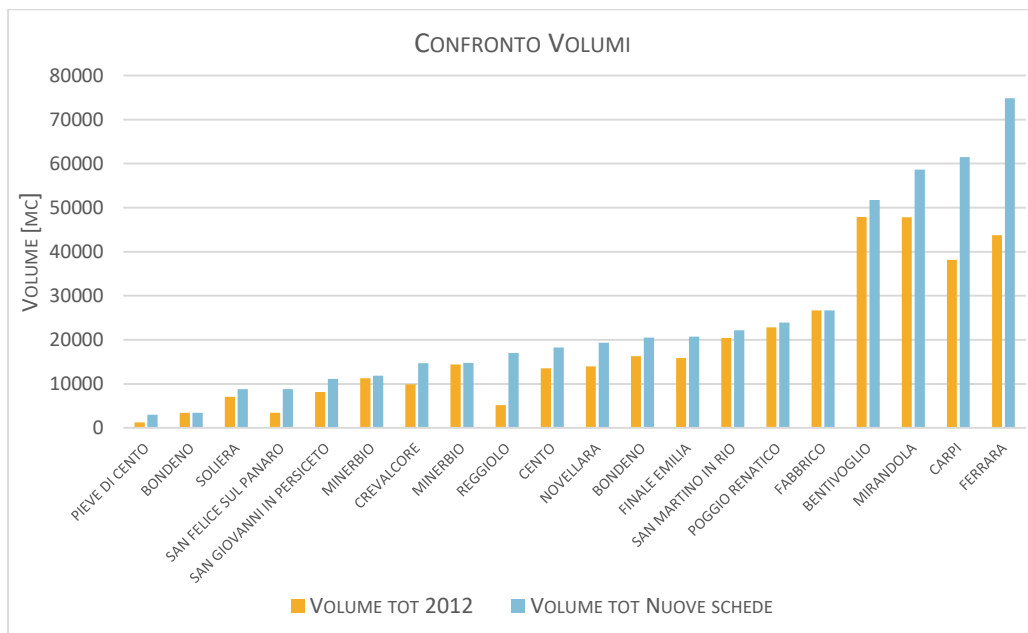


Figura 15 Confronto tra i valori dei volumi riportati nelle schede modello B-DP compilate nel 2012 e valori dei volumi ricalibrati nella presente tesi.

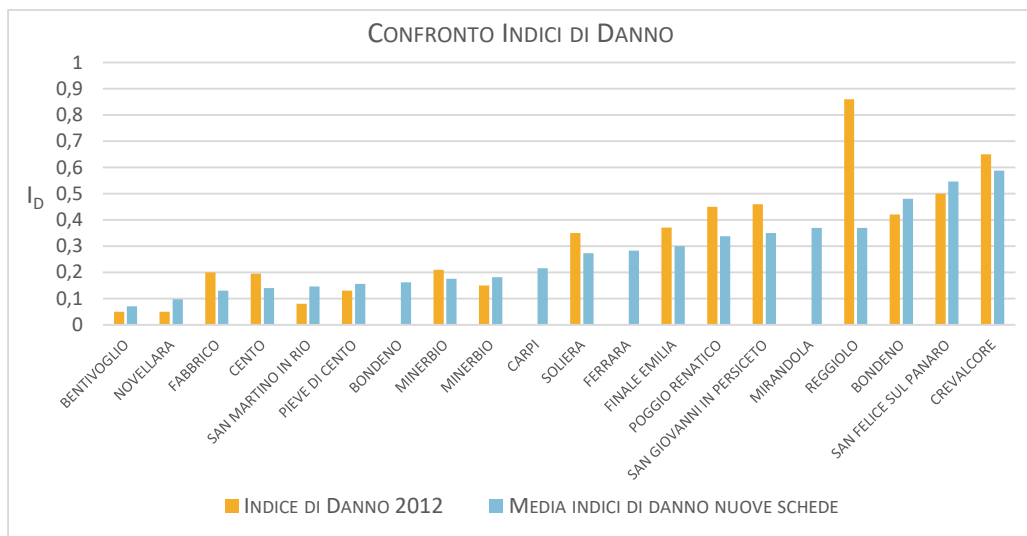
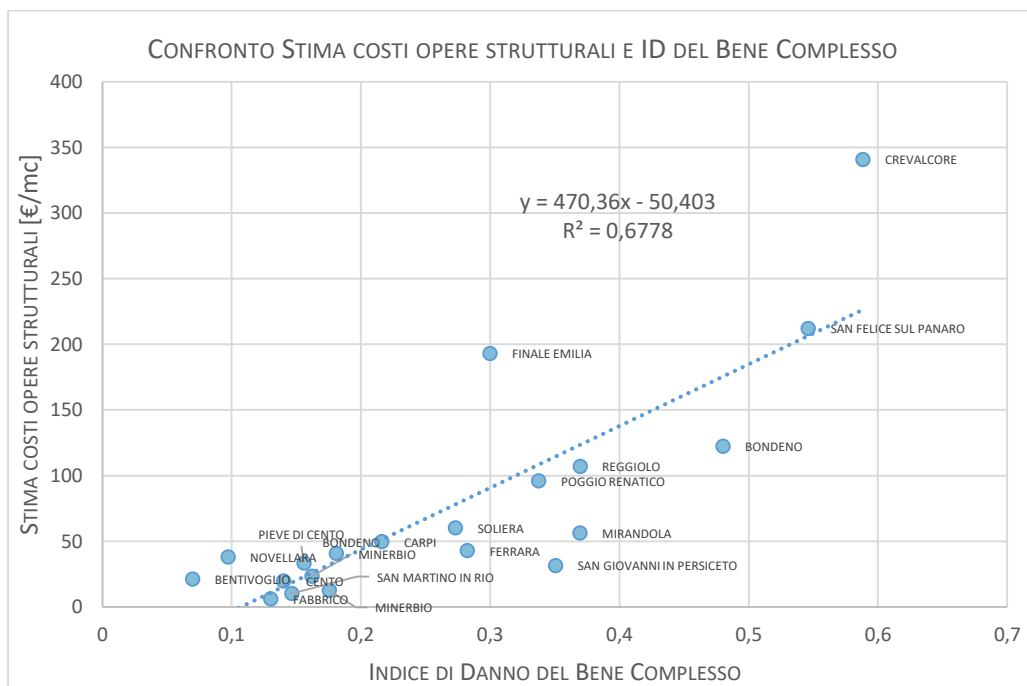


Figura 16 Confronto gli indici di danno riportati nelle schede modello B-DP compilate nel 2012 e gli indici di danno del bene complesso definiti secondo la formula illustrata nella presente tesi.



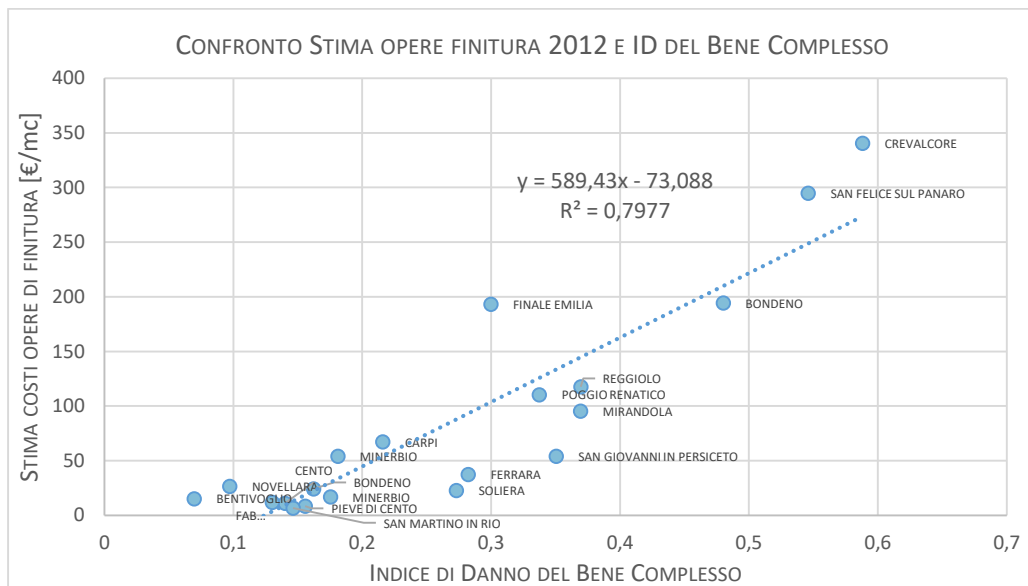


Figura 17 Confronto tra valutazione economiche effettuate a valle del sisma del 2012 e l'indice di danno del bene complesso definito nella presente tesi.

4.2.2.3.3 Valutazione economica preliminare

Come già accennato, nelle schede di rilievo di danno approvate nel 2006¹⁹, sono previste anche delle voci relative alla stima dei costi preliminari per le opere strutturali, di finitura, impiantistiche, miglioramento sismico e messa in sicurezza, che il rilevatore deve completare sulla base del suo giudizio e facendo riferimento ai costi sostenuti su fabbricati analoghi in altri contesti²⁰. La difficoltà riscontrata a valle del terremoto del 2012 nel compilare tali campi da parte delle squadre rilevatrici, ha suggerito che fosse consigliabile far confluire tale sotto-sezione della scheda riepilogativa, di modo da delegare questa incombenza agli uffici preposti, anche nell’ottica di garantire una valutazione il più possibile uniforme. Va inoltre sottolineato che una procedura analoga era già stata messa in atto nei mesi successivi al sisma del 2012. Infatti data la sopramenzionata difficoltà da parte delle squadre rilevatrici nell’effettuare valutazioni economiche estemporanee nel corso del sopralluogo, si decise di istituire un Gruppo di Validazione, che, da un unico ufficio fisso, sulla base dei dati rilevati, compilò per ogni bene il modulo specifico denominato *Sintesi Valutazione Economica Interventi di Riparazione, Miglioramento e Restauro*, composto da tre voci che riprendono quelle della sottosezione B29 della scheda palazzi: stima delle opere di ripristino strutturale; stima delle opere di finitura, impiantistiche e di miglioramento sismico; stima delle opere di pronto intervento.

¹⁹ D.M. 23 febbraio 2006

²⁰ CIFANI G. et al. 2005, pp. 21-22

Premesso che questa tesi non intende approfondire nel dettaglio il tema delle stime dei costi della ricostruzione, l'intenzione di quanto verrà esposto nelle righe successive è di verificare la validità dell'indice di danno stimato secondo il metodo descritto nel paragrafo precedente. Tuttavia l'indice di danno è un coefficiente sulla base del quale vengono definite le valutazioni economiche in fase emergenziale, di conseguenza non ci si è potuti esimere dal tentare di stabilire la correlazione tra le stime dei costi e il "nuovo" indice di danno per determinare valutazioni economiche il più possibile realistiche. Infatti la stima sommaria dei costi orienta le prime scelte di finanziamento che saranno prese a livello governativo.

La valutazione economica si divide in tre voci: valutazione economica delle opere strutturali, valutazione economica delle opere finitura, valutazione economica delle opere pronto intervento. Ciascuna di queste tre voci viene calcolata grazie alla seguente formula:

$$VE = ((IdTorri * VolTorri) * \alpha + (IdPalazzi * VolPalazzi) * \beta + (Id Mura * Vol Mura) * \gamma) \quad [€]$$

Dove *Id* e *Vol* sono rispettivamente l'indice di danno e il volume del bene componente, mentre α , β , γ sono coefficienti correttivi che indicano il costo al m³ del singolo bene componente. Tali coefficienti insieme al volume sono funzionali a far pesare più o meno un bene componente rispetto a un altro nel calcolo del costo complessivo, ad esempio le opere necessarie per ripristino strutturale del muro di cinta tendenzialmente costeranno meno rispetto a quelle di una torre o di un palazzo. Tali coefficienti sono stati calcolati applicando il metodo dei minimi quadrati, spesso usato in statistica, che è una tecnica di ottimizzazione (o regressione) che consente di ottenere una funzione, in questo caso lineare, che minimizzi (ossia faccia tendere a zero) la somma dei quadrati dei dati in gioco e quelli della retta data, che rappresenta la funzione stessa. Nello specifico tale metodo è stato utilizzato per esprimere al meglio la relazione funzionale tra il costo stimato a valle del terremoto del 2012 e quello determinato secondo i tre coefficienti.

Di seguito si riportano i grafici (Fig.18) che confrontano sia il costo stimato a seguito del sisma del 2012 e quello determinato secondo i tre coefficienti, sia quest'ultimo con il "nuovo" indice di danno. Confrontando quest'ultimo tipo di grafico con quelli relativi a costi stimati a valle del terremoto del 2012, riportati nel paragrafo 4.1.5 (Fig.6), si noterà una correlazione decisamente più precisa tra costi e indici di danno, il che avvalorava questa metodologia, che potrebbe essere ulteriormente migliorata e applicata anche in occasioni future. Infatti, fornito un metodo di calcolo uniforme, il fatto che la stima dei costi da investire su un bene rispecchi in maniera verosimile la gravità del quadro fessurativo potrebbe garantire una migliore e più celere gestione e suddivisione delle risorse finanziarie statali e non.

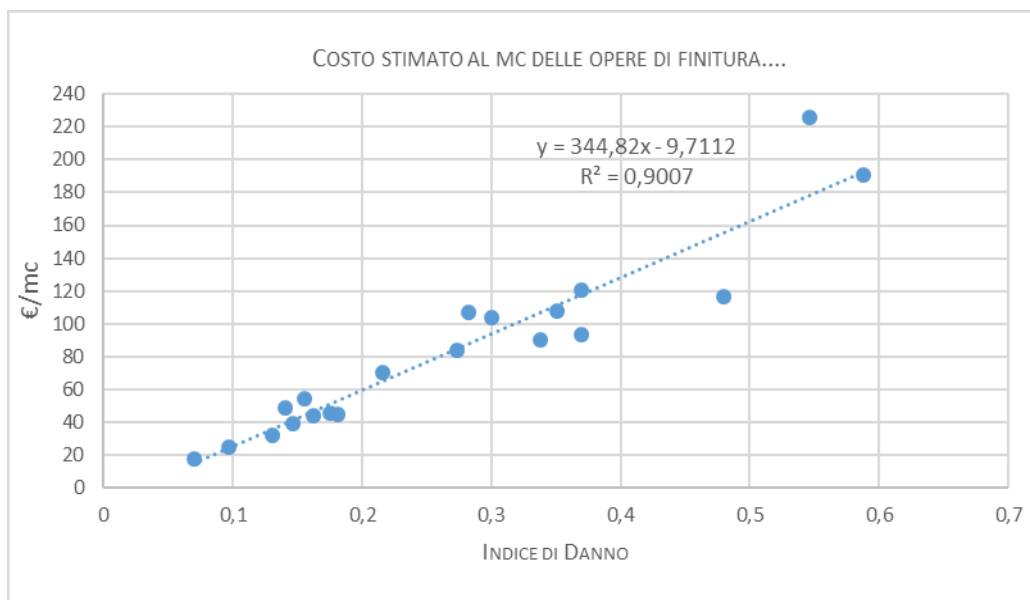
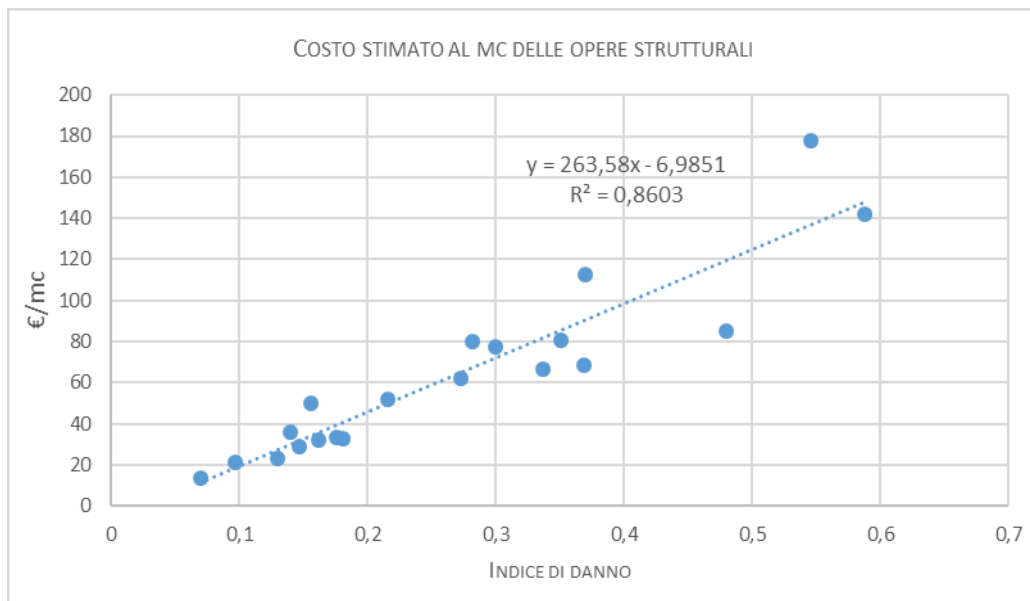


Figura 18 Confronto tra valutazione economiche stimate e l'indice di danno del bene complesso, definiti nella presente tesi.

4.3 MANUALE DI COMPILAZIONE DELLA SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO ALLE ARCHITETTURE FORTIFICATE

Nel corso dell'elaborazione della scheda sopradescritta, si è ritenuto fosse indispensabile provare a fornire uno strumento, da allegare direttamente alla modulistica definita, più snello e di più agile consultazione rispetto alla presente tesi, che in primo luogo fosse d'ausilio alla lettura e alla comprensione della scheda stessa e in secondo luogo che potesse aiutarne la compilazione. Il risultato è un Manuale di compilazione²¹, costruito in analogia a quello già esistente per la Scheda Chiese²². Il manuale si compone di una prima parte analitica, in cui viene indicato come compilare ogni singola sotto-sezione, e di una seconda parte costituita da 37 tavole illustrate, una per ogni meccanismo di danno censito per la tipologia architetture fortificate. Ogni tavola è composta da: schema tridimensionale del cinematiso (presente anche nell'abaco riportato in allegato alla scheda) e relativa descrizione sintetica del meccanismo e degli elementi che possono aggravarlo o che possono evitarne l'attivazione; materiale fotografico, suddiviso per livelli di danno, che illustra come si presenta il quadro fessurativo a seconda della sua gravità; breve descrizione di ciascun livello. Tali tavole, oltre a costituire un ampio archivio fotografico delle varie casistiche dei meccanismi censiti, organizzati per livelli di danno, delle architetture fortificate emiliane e non, sono uno strumento utile per aiutare nel riconoscimento del meccanismo, soprattutto nella fase iniziale, anche un occhio meno allenato, e per classificare secondo un criterio univoco i livelli di danno di ciascun meccanismo. Infatti il metodo di classificazione secondo i suddetti livelli segue un criterio qualitativo, non numerico, inevitabilmente dipendente dal giudizio soggettivo del rilevatore, oltre che dalle condizioni di difficile accessibilità in fase di rilievo emergenziale. Fornire uno strumento che, sulla base del confronto dei dissesti osservati nel corso degli eventi sismici avvenuti, fornisca dei punti fermi sul metro di giudizio con cui associare il livello di danno al meccanismo, potrebbe essere d'aiuto nel minimizzare le differenze di giudizio tra i vari rilievi, definendo quindi indici di danno più verosimilmente paragonabili tra loro, e allo stesso tempo senza pregiudicare la possibilità al rilevatore di esprimere un suo giudizio da esperto sulla base delle specificità che caratterizzano la fabbrica che sta rilevando.

²¹ Riportato in allegato alla presente tesi.

²² DI PASQUALE G., PAPA S. 2014

CAPITOLO 5

UN GEO-DATABASE GIS PER LA PREVENZIONE DEL RISCHIO SISMICO A SCALA TERRITORIALE

“La sismologia non sa dire quando, ma sa dire dove avverranno terremoti rovinosi, e sa pure graduare la sismicità delle diverse province italiane, quindi saprebbe indicare al Governo dove sarebbero necessari regolamenti edilizi più e dove meno rigorosi, senza aspettare che prima il terremoto distrugga quei paesi che si vogliono salvare”

Giuseppe Mercalli, 1908

5.1 COS'È UN GIS

Il termine GIS è l'acronimo di *Geographic Information Systems* (Sistema Informativo Geografico), ossia un sistema per l'archiviazione, la gestione, la visualizzazione e l'analisi di informazioni geo-localizzate in un determinato Sistema di Riferimento geografico. Tuttavia la definizione di GIS non è univoca e, soprattutto nel corso degli anni '80-'90, periodo in cui questa nuova tecnologia andava affermandosi, si è dibattuto su quale potesse essere la più appropriata¹:

“insieme di strumenti per acquisire, archiviare, estrarre, elaborare e rappresentare dati spaziali del mondo reale” Burrough 1986

“il complesso di uomini, strumenti e procedure che permettono l'acquisizione e la distribuzione dei dati nell'ambito dell'organizzazione e che li rendono disponibili, validandoli, nel momento in cui sono richiesti a chi ne ha la necessità per svolgere qualsivoglia attività” Mogorovich 1988

“insieme di procedure, basate sull'uso di sistemi informatici, usate per archiviare ed elaborare dati geo-referenziati” Aronoff 1989

“un sistema informativo [...] che cerca di catturare, immagazzinare, manipolare, analizzare e visualizzare dati spaziali con associati degli attributi, al fine di risolvere ricerche complesse, pianificare e gestire problemi” Fischer e Nijkamp 1992

Molte e diverse sono le definizioni attribuite ai GIS nel corso degli ultimi decenni, in parte per via della continua evoluzione di questi sistemi e in parte perché sono più che semplici archivi di informazioni e la loro definizione cambia anche in base al fine che si intende perseguire². A tal proposito nei paragrafi successivi verranno illustrati alcuni esempi di database GIS applicati all'ambito dei beni culturali, con funzioni sia di

¹ CETRARO F. 2015

² PESARESI C. 2017. Per ulteriori approfondimenti sul tema della definizione di GIS: GOODCHILD M.F. 2010, pp. 3-20; GOODCHILD M., MAGUIRE D., RHIND D. 1991

archiviazione che di gestione dei dati, e con finalità sempre differenti pur censendo casi di studio analoghi. Da un punto di vista più operativo le potenzialità dei sistemi GIS sono legate alla possibilità di archiviare, in maniera univoca e organizzata, grandi quantità di dati, sia numerici che testuali, di georeferenziarli e soprattutto di interrogarli tramite correlazioni spaziali o relazionali, generando informazioni originali. L'insieme dei dati inseriti in ambiente GIS costruiscono la banca-dati del Sistema Informativo. I dati possono essere di due tipologie: oggetti³ e fenomeni⁴.

Le mappe visualizzate nei GIS sono organizzate secondo vari livelli (*layers*), che possono essere visualizzati separatamente e avere i seguenti formati: *raster* o vettoriale. A ciascun livello è associata una tabella degli attributi, che ne organizza tutte le informazioni in righe (*record*), che identificano i singoli oggetti e colonne (campi o *feature*), che contengono le caratteristiche descrittive (attributi) degli oggetti. Il campo della tabella, che identifica, attraverso un codice univoco, gli oggetti del database, è detto chiave primaria. Gli attributi, a loro volta, possono essere divisi in tre tipologie: geometriche, ossia le entità grafiche di rappresentazione degli oggetti nella mappa (punto, linea, poligono); topologiche, relative alle relazioni reciproche tra gli oggetti (connessione, adiacenza, inclusione...); e infine informative, cioè i dati testuali o numerici, che descrivono ciascun oggetto.

5.2 DATABASE GIS APPLICATI ALL'AMBITO DEI BENI CULTURALI

I GIS sono per definizione sistemi strettamente legati alla scala territoriale, non è quindi un caso che siano generalmente associati a materie diverse dal Restauro, che invece opera prevalentemente alla scala dell'edificio⁵. Le applicazioni più diffuse riguardano l'ambito della cartografia geografica o topografia, pianificazione urbanistica, ma anche il monitoraggio ambientale, idrologico, analisi delle informazioni relative alla demografia e alla statistica e più in generale si stanno rivelando fondamentali per la gestione dei così detti Big Data. Un altro ambito in cui per altro enormi moli di dati sono in attesa essere informatizzati e organizzati è quello dei beni culturali. A tal proposito ad oggi tali sistemi si stanno rilevando di fatto indispensabili anche per l'attuazione di politiche efficaci di tutela del patrimonio costruito.

Numerosi sono infatti ormai gli esempi di database GIS applicati al settore del Restauro. In particolare per quanto riguarda l'oggetto di studio della presente tesi, le architetture fortificate emiliane, sono già stati realizzati dei database GIS. Si segnalano due esempi

³ Ossia entità fisiche (edifici, strade etc.) o giuridiche (confini provinciali/comunali, proprietà etc.), caratterizzate da confini individuabili.

⁴ Ossia eventi che si manifestano e che non sono caratterizzati da confini individuabili.

⁵ È pur vero che sono diversi i casi in cui, nell'ambito dei beni culturali, il *software* GIS è stato utilizzato alla scala dell'edificio per localizzare le informazioni relative alle superfici del manufatto. A tal proposito si vedano BARTOLOMUCCI C. 2008; BARTOLOMUCCI C., TRIZIO I. 2013.

precedenti, che paiono significativi per introdurre il database progettato nell'ambito di questo progetto di ricerca. Il primo, in ordine cronologico, è stato sviluppato nell'ambito del "Progetto castelli medievali e neo medievali dell'Emilia Romagna" da Alberto Monti e Franco Siligardi⁶. Si tratta di un database *object oriented*, in cui cioè le informazioni di tipo testuale, contenute nelle tabelle attributi, rivestono un ruolo più importante rispetto al posizionamento topografico. Infatti l'obiettivo prefissato di questo database era di supporto all'analisi storico-cronologica dei complessi fortificati indagati e di catalogazione delle fonti. In particolare i dati anagrafici relativi a ogni castello sono stati organizzati seguendo la struttura della Scheda A, prevista all'Istituto Centrale del Catalogo e Documentazione, mentre per le fonti storiche e la ricostruzione cronologia dei beni sono state costruite altre schede specifiche. Un database che quindi si pone sia come un database di archiviazione dei dati sia di analisi e gestione degli stessi. È senz'altro interessante notare come, se pur l'oggetto studiato sia lo stesso della presente tesi, la finalità per cui viene progettato il database sia completamente diversa, ossia incentrata sullo studio delle vicende storiche legate ai manufatti. L'altro esempio di database che invece presenta obiettivi analoghi a quelli prefissati nel presente elaborato, raggiungibili attraverso un approccio predittivo al GIS, che verrà a breve illustrato, è quello progettato da Eva Coïsson, Daniele Ferretti ed Erica Lenticchia⁷. Nello specifico, attraverso l'inserimento delle *shakemaps* in ambiente GIS (Fig. 1), si ha la possibilità di operare in maniera predittiva, associando i dati relativi ai meccanismi di dissesto, precedentemente studiati e osservati, a quelli relativi al sisma, stabilendo una correlazione tra gravità del danno e valori di accelerazione.

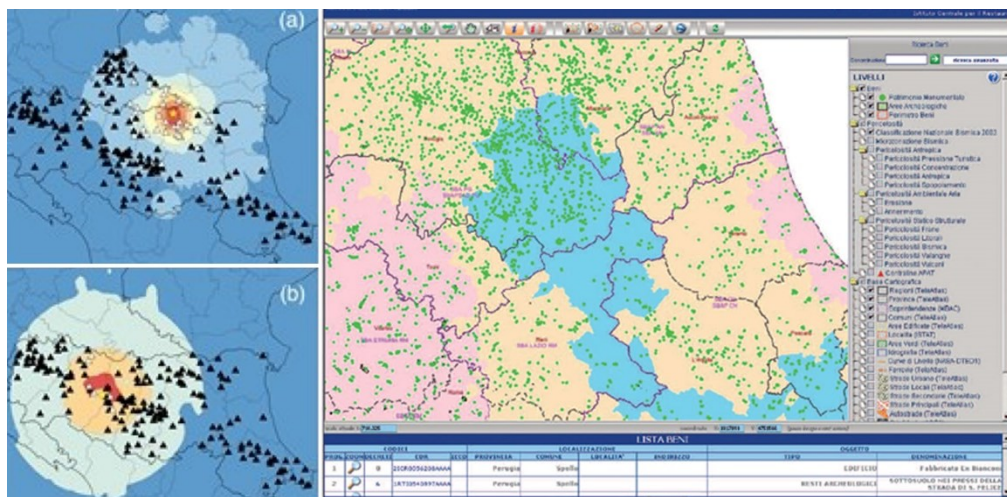


Figura 1 A sinistra il database tratto da COÏSSON E., FERRETTI D., LENTICCHIA E. 2016, relativo tra gli altri al sisma del 2008 (b) e del 2012 (a) in Emilia Romagna. A destra una mappa tematica del SIT CdR tratta da BARTOLOMUCCI C., CACACE C. 2009.

⁶ SILIGARDI F. 2005, pp.31-34; MONTI A. 2005, pp. 35-39; MONTI A. 2014, pp. 33-40

⁷ COÏSSON E., FERRETTI D., LENTICCHIA E. 2016, pp. 1489-1496; LENTICCHIA E., COÏSSON E. 2017b, pp. 39-46

I due database illustrati sono database di ricerca limitati allo studio molto approfondito di aree specifiche ritenute esemplificative per illustrare una metodologia. Un esempio di sistema GIS, che copre tutto il territorio nazionale e che non sia di sola archiviazione e gestione, ma anche di valutazione del rischio, a cui sono sottoposti i beni culturali, è il Sistema Informativo Territoriale della Carta del Rischio (SIT CdR)⁸. In particolare, questo progetto, avviato nel 1990 dall'Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro (IsCR)⁹, censisce tre categorie di pericolosità: ambientale-aria; antropica; statico-strutturale (relativa a vulcani, valanghe, frane, modifica dei litorali, esondazioni e, non da ultimi, terremoti). Il SIT CdR permette quindi di conoscere non solo la distribuzione del patrimonio culturale, ma anche di evidenziare quali tipi di rischio corre, nell'ottica di agevolare la programmazione dei provvedimenti sulla base di valutazioni oggettive, che indentifichino quelli più urgenti¹⁰. In merito al rischio sismico, come già accennato nel precedente capitolo, sono state elaborate delle schede per la valutazione della vulnerabilità sismica, sufficientemente semplici e snelle di modo da adattarsi alle finalità del SIT CdR. Tali schede, definite per tre tipologie (chiese, palazzi e torri), sono state validate tramite una campagna di rilievo condotta tra il 2006 e il 2008 in Calabria e Sicilia, che ha portato al censimento di 3000 beni¹¹. A ciascuno di questi sono stati associati i valori di vulnerabilità sismica e di rischio sismico strutturale, poi inseriti nel SIT CdR. Attualmente tale sistema è consultabile on-line tramite una piattaforma WebGIS¹², pur ovviamente esistendo diversi gradi di accesso alle informazioni (Fig. 1).

5.3 L'ESPERIENZA DEL SISMA DEL 2012: QUANDO LA CATALOGAZIONE SISTEMATICA E GEOREFERENZIATA DEL PATRIMONIO COSTRUITO DIVIENE NECESSITÀ

*“Del fenomeno sismico in Italia si sa praticamente tutto: intensità, probabilità, estensione, localizzazione. Quello che ancora non si conosce invece, ed è paradossale ammetterlo, è la reale consistenza del patrimonio culturale. Nessuno è in grado di rispondere ad una semplice domanda: quanti e dove sono i beni culturali a rischio sismico?”*¹³

Rispetto alla problematica evidenziata da Laura Moro, direttrice dell'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione tra il 2009 e il 2018, molti passi avanti ad oggi sono stati fatti. Tuttavia la questione esposta emergeva in tutta la sua drammatica attualità

⁸ BARTOLOMUCCI C., CACACE C. 2009, pp. 69-77

⁹ CACACE C. 2019, p. 65

¹⁰ BARTOLOMUCCI C. 2008; ACIERNO, M., FIORANI D. 2019

¹¹ ANGELETTI P. et al. 2009

¹² <http://www.cartadelrischio.beniculturali.it/webgis/> (consultato in data 12/12/2021)

¹³ MORO L. 2011, p. 10

nelle fasi successive alle scosse sismiche del 20 e 29 Maggio del 2012. In particolare il terremoto ha evidenziato la mancanza di uno strumento che fornisse sia un elenco dei beni architettonici tutelati disseminati sul territorio, censiti in maniera univoca, sia la loro esatta localizzazione. Infatti, come esposto da Ilaria Di Cocco¹⁴, le principali difficoltà, nella prima fase di emergenza, erano legate a: una notevole quantità di segnalazioni, che corrisponde a una grande mole di dati, da una parte difficili da gestire in modo controllato senza un sistema strutturato, dall'altra spesso non completi, imprecisi o ripetitivi¹⁵; una impossibilità di associare a queste informazioni una localizzazione precisa di modo da poter gestire la successiva fase dei sopralluoghi d'emergenza. In un primo momento la raccolta dati è stata avviata tramite semplici file di Excel, divisi per provincia. Tuttavia alla luce delle problematiche esposte emergeva chiaramente la necessità di adoperare uno strumento in grado di consentire una catalogazione sistematica e georeferenziata dei beni dislocati sul territorio; di assicurarne l'identificazione univoca e non da ultimo di permettere una consultazione agevole dei dati e la loro condivisione con altri enti amministrativi, tramite l'adozione di strumenti cartografici comuni. La scelta dello strumento più idoneo non poteva che ricadere su un sistema GIS. Nel caso specifico emiliano, l'allora Direzione Regionale decise di avvalersi del software ArcGIS per la gestione della banca dati realizzata in Access, mentre l'attività di consultazione, modifica e inserimento dati è stata svolta con il software open source QGIS, installato nelle varie postazioni di lavoro. Il geo-database è stato popolato grazie ai dati messi a disposizione in tempi rapidi dalle Soprintendenze, che hanno fornito gli elenchi dei beni oggetto di tutela, dal Servizio Cartografico Regionale che ha messo a disposizione il CTR regionale, a cui sono stati agevolmente correlati i dati catastali. Questa soluzione è stata preferita rispetto all'uso del SIT CdR, dove i beni tutelati sono localizzati come punti e non come areali. Altri dati informatizzati sono stati messi a disposizione dall'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione, tramite la condivisione di circa 200 schede del sistema SigecWeb. Particolarmente problematica si rivelò invece la localizzazione dei beni tutelati *ope legis*¹⁶. Infatti quest'ultimi, essendo tutelati automaticamente, non risultano in un elenco specifico e il loro numero, legato all'età degli edifici, è in continuo aumento. Si delinea così un patrimonio immenso e diffuso, che man mano si sta provvedendo a censire.

¹⁴ Di Cocco I. 2014, pp. 119-120

¹⁵ Di Cocco I. 2014, p. 117, si fa riferimento al fatto che uno stesso bene venisse segnalato con nomi diversi a seconda delle modalità di fruizione (es. un palazzo poteva essere denominato con il nome della frazione di appartenenza, con il nome storico della famiglia che lo ha abitato o associato alla sua funzione: scuola di, caserma di...).

¹⁶ Beni tutelati ai sensi dell'art. 10, comma 1, del *Codice dei Beni culturali*, ossia quegli edifici di proprietà pubblica, o privata, aventi più di 70 anni (salvo che non siano stati dichiarati privi d'interesse).

Per quanto concerne il database relazionale, costruito con Access, è stato così strutturato: una scheda “madre” per ogni complesso architettonico, contenente i dati anagrafici, ad essa, in un rapporto uno-a-molti, sono collegate le schede “figlie”, relative ai beni individui. Ad esempio a un unico complesso castellano possono fare riferimento più beni, quali un corpo di fabbrica palaziale, eventuali torri isolate, fabbricati accessori, spesso una chiesa. Alla scheda madre sono quindi state collegate successivamente quattro tipologie di schede: le schede contenenti le informazioni essenziali derivanti dai sopralluoghi speditivi¹⁷ e le valutazioni economiche redatte dall’UCR (Unità di Crisi – Coordinamento Regionale); le schede sugli interventi di rimozione delle macerie; le schede per l’autorizzazione agli interventi (messa in sicurezza, restauro ecc.) presentate all’UCR e con relativo aggiornamento dell’iter di autorizzazione; storico delle segnalazioni prevenute.

Il risultato di questo ampio lavoro di relazione tra più livelli di dettaglio e di scala e di formulazione di un vocabolario univoco, di cui il terremoto è stato l’impulso promotore, è la costruzione di patrimonio informativo che non poteva andare disperso o rimanere cristallizzato all’esperienza dell’emergenza post-sisma. Questa attività di catalogazione ha infatti posto le basi per la progettazione di un database finalizzato alla conoscenza e gestione del patrimonio architettonico tutelato della Regione Emilia Romagna. Tale database, denominato *Web-GIS del Patrimonio culturale dell’Emilia-Romagna*, è oggi consultabile on-line¹⁸ ed è in continuo aggiornamento. Nello specifico tramite questa piattaforma è possibile, per ogni tipo di utenza, visualizzare diverse mappe tematiche sui beni tutelati e le relative informazioni (es. tipologia, localizzazione, datazione), fornite dal Segretariato Regionale per l’Emilia-Romagna (Fig. 2).

Quindi certamente rispetto alla citazione con cui si apriva il presente paragrafo è possibile affermare che sono stati fatti numerosi passi avanti. Tuttavia il database qui illustrato, come molti altri adottati da altre regioni, è uno strumento finalizzato alla gestione corrente dei dati. Mentre il database che si intende proporre in questa tesi ha l’ambizione di essere uno strumento predittivo e proattivo per la prevenzione del danno sismico.

¹⁷ Informazioni a loro volta dedotte dalla schede di rilievo del danno ai beni culturali (modello A-DC o Modello B-DP).

¹⁸ <https://www.patrimonioculturale-er.it/webgis/> (consultato in data 13/12/2021)

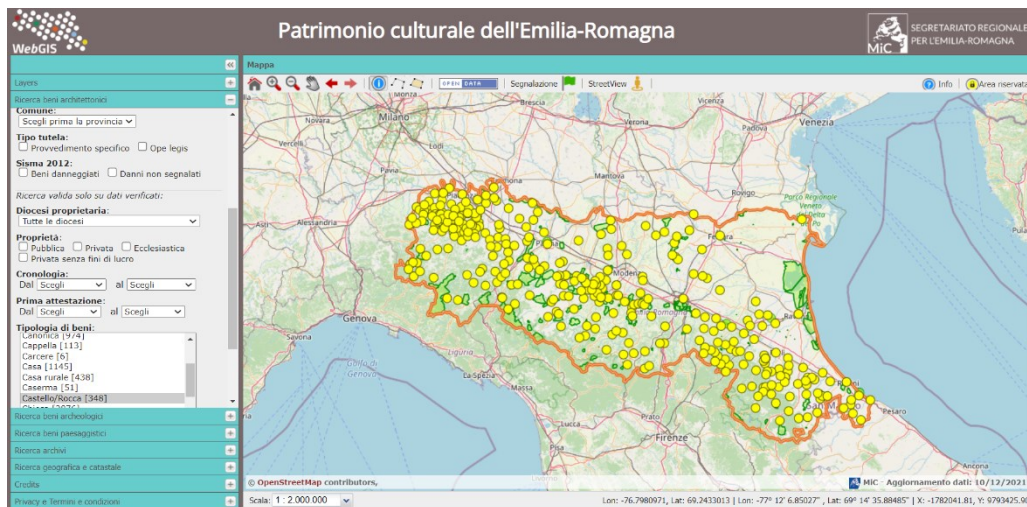


Figura 2 Un'immagine tratta dal WebGIS del Patrimonio culturale dell'Emilia-Romagna. A sinistra la possibilità di effettuare alcune semplici interrogazioni dei database tramite un'interfaccia friendly. A destra la visualizzazione della mappa tematica (in questo caso relativa alla tipologia Rocche/Castelli).

5.4 UN DATABASE GIS PER LE ARCHITETTURE FORTIFICATE

5.4.1 METODOLOGIA PREDITTIVA

Il geo-database GIS, progettato nel corso del triennio di Dottorato e che verrà illustrato nei paragrafi successivi, non vuole avere solo funzioni di catalogazione e gestione dei dati, ossia essere un archivio statico di dati, ma punta ad essere un possibile strumento proattivo per la previsione del danno sismico. Nello specifico la metodologia predittiva, applicata all'ambiente GIS, consente di associare agevolmente le informazioni relative a dati meccanismi, precedentemente studiati e osservati a seguito di un terremoto reale e rivelatisi ricorrenti per una data tipologia architettonica, ai valori di accelerazione registrati per uno o più eventi sismici avvenuti. In particolare è possibile associare le accelerazioni avvenute e i livelli di danno, tramite le curve di fragilità. Una volta definite queste funzioni sarà possibile, tramite le mappe di pericolosità sismica, che forniscono le accelerazioni massime attese¹⁹, definire in quali altre zone, ancora non interessate dal terremoto, i meccanismi indagati potranno verosimilmente attivarsi. Tale metodologia predittiva quindi rileva le possibili vulnerabilità di macro-elementi specifici in funzione delle accelerazioni previste, prima che il danno si verifichi. Prevedere il dissesto dà l'opportunità di prevenirlo. Tramite questo approccio è quindi possibile fornire indicazioni puntuali, su scala territoriale, sugli interventi di consolidamento necessari, secondo un ordine di priorità, ottimizzandone i costi e

¹⁹ Per le analisi effettuate in questa tesi ci si è avvalsi della mappa di pericolosità con i valori espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli rigidi, a cui si fa riferimento anche nell'Ordinanza del P.C.M. del 28 Aprile 2006 n° 3519

minimizzandone l'invasività, nell'ottica del rispetto del principio del minimo intervento e di conservazione del patrimonio esistente. Tale metodologia dunque potrebbe consentire di sostituire l'approccio emergenziale al restauro, tipico soprattutto nelle fasi successive a grandi calamità distruttive, con un piano di manutenzione programma su vasta scala per la prevenzione del danno.

5.4.2 FASI DI PROGETTAZIONE

Il geo-database, progettato in questa tesi, oltre ad essere stato costruito con l'ambizione di diventare un possibile strumento per l'individuazione e la prevenzione delle vulnerabilità delle architetture fortificate, costituiva una vera e propria necessità. Dagli esempi di database già citati infatti ben si comprende l'impossibilità di gestire in maniera ordinata e sistematica, tramite file di testo o fogli elettronici di calcolo, la grande mole di dati in gioco e le relazioni che tra questi si strutturano. Si è quindi optato fin da subito per la catalogazione del patrimonio informativo, che andava sempre più arricchendosi man mano che la ricerca proseguiva, secondo delle strutture (modelli di astrazione), che sarebbero poi state funzionali alla progettazione del database.

Tra i vari software GIS in commercio, si è optato per l'uso di ArcGIS Pro, prodotto dalla ESRI Inc; di cui lo *shapefile* è principale formato di archiviazione. Lo *shapefile* consente di conservare sia le informazioni spaziali, geometriche e tabellari per ciascuna *feature class*. Nello specifico ArcGIS è composto da tre moduli: ArcMap, per la visualizzazione e l'editing delle mappe tematiche; ArcCatalog, per la gestione del database; ArcToolbox, per le analisi e la conversione dei dati in formati diversi.

La progettazione, il popolamento e la gestione del database si sono articolati nelle seguenti fasi di lavoro:

- *Definizione dei confini d'indagine*: il database progettato limita la propria indagine di ricerca alle architetture fortificate emiliane danneggiate dagli eventi sismici del maggio-giugno del 2012 entro i confini dell'area di cratere²⁰.
- *Acquisizione dati già informatizzati e loro pre-elaborazione*: le basi cartografiche (mappe dei confini regionali, provinciali e comunali) sono state scaricate dal sito dell'ISTAT (sistema di riferimento WGS84); le *shakemaps* (PGV, PGA, PSA03, PSA10, PSA30) dal sito nell'INGV; i dati sull'area del cratere del sisma e sui beni culturali, poi adeguatamente selezionati e semplificati²¹, sono stati forniti dal Segretariato Regionale.
- *Progettazione del database*: definizione dei due modelli di astrazione: logico e fisico.

²⁰ Definita ai sensi del D.M. del 1 giugno 2012 e del D.L. n° 74 6/6/2012.

²¹ Estrapolazione dai *layer* originali dei soli record di interesse e creazione di una nuova *feature class* originale.

- *Selezione e organizzazione del materiale*: la raccolta di informazioni (attributi), da associare alle *feature class*²² che popoleranno il database, ha previsto lo studio di elaborati grafici, relazioni, materiale fotografico di tutti i complessi fortificati oggetto di indagine e quindi l'individuazione per ciascun di essi dei relativi beni componenti (Palazzo, Torre, Mura di cinta) e dei macro-elementi presenti. A ciascun bene componente è stato assegnato un codice alfanumerico. Questa fase ha previsto anche la semplificazione e strutturazione dei dati raccolti in tabelle di attributi: a ciascun bene componente sono stati associati i meccanismi di dissesto attivabili e a ogni meccanismo attivato è stato associato un livello di danno.
- *Popolamento e gestione della banca dati*: upload degli *shapefile* e delle tabelle attributi contenenti i dati relativi ai beni componenti; collegamento delle *feature class* tra loro secondo quanto definito dal modello logico; creazione di un geodatabase.
- *Interrogazione del database e prodotti di output*: incrocio dei dati raccolti tramite *query* di tipo spaziale e tabellare e rielaborazioni statistiche per la definizione di nuove informazioni originali.

5.4.3 DEFINIZIONE DEI CONFINI D'INDAGINE

Come già ampiamente detto, il campione di dati, preso in considerazione per le indagini statistiche dei danni sulle architetture fortificate, si limita fisicamente entro i confini dell'area di cratere del sisma definita dal D.M. del 1 giugno 2012, di cui vengono considerati solo i comuni della Regione Emilia-Romagna, e temporalmente agli eventi che hanno scosso il suolo emiliano tra maggio e giugno 2012.

5.4.4 ACQUISIZIONE DEI DATI GIÀ INFORMATIZZATI

L'ISTAT pubblica sul suo sito²³ i dati geografici relativi ai confini amministrativi aggiornati al censimento del 2011 e disponibili nel sistema di riferimento WGS 84 UTM Zona 32n. Sono stati quindi scaricati gli *shapefile*, con geometria poligono, dei confini regionali e provinciali italiani. Analogamente il sito dell'INGV²⁴ pubblica, a seguito di ciascuna scossa registrata sul suolo italiano, le *shakemaps* in vari formati tra cui *shapefile* e in varie unità di misura. Ci si è quindi focalizzati sul reperimento dei dati relativi ai 9 eventi sismici aventi magnitudo maggiore o uguale a 5, che hanno interessato il suolo emiliano tra maggio e giugno 2012. Per ogni suddetta scossa sono state scaricate 5 *shakemaps* (con geometria poligono) aventi ciascuna le seguenti unità

²² Insieme di oggetti organizzati in tabelle, aventi stessi attributi (*feature*) e stessa geometria.

²³ <http://www.istat.it/it/archivio/104317#accordions> (consultato in data 8 settembre 2021)

²⁴ <http://shakemap.rm.ingv.it/shake/archive/> (consultato in data 8 settembre 2021)

di misura: PGV, PGA, PSA03, PSA10, PSA30²⁵. Per un totale di 45 *shakemaps* relative allo sciame sismico oggetto di studio (Tab.1).

data	ora UTC	ora locale	latitudine	longitudine	magnitudo
20/05/2012	02:03:52	04:03:52	44.889	11.228	5.9
20/05/2012	02:07:31	04:07:31	44.863	11.370	5.1
20/05/2012	03:02:47	05:02:47	44.86	11.15	5.0
20/05/2012	13:18:02	15:18:02	44.831	11.490	5.1
29/05/2012	07:00:03	09:00:03	44.851	11.086	5.8
29/05/2012	08:25:51	10:25:51	44.86	10.95	5.0
29/05/2012	10:55:57	12:55:57	44.888	11.008	5.3
29/05/2012	11:00:25	13:00:25	44.879	10.947	5.2
03/06/2012	19:20:43	21:20:43	44.899	10.943	5.1

Tabella 1 Dati relativi alle scosse sismiche inserite in ambiente GIS, tratti da sito dell'INGV

Oltre a ciò il Segretariato Regionale ha fornito i dati relativi ai beni architettonici emiliani sottoposti a tutela, direttamente in formato *shapefile* con geometria punto. In particolare questi *shapefile*, oltre a geolocalizzare puntualmente tutti gli edifici tutelati, constano, nella tabella attributi, dei seguenti campi: codice del bene utilizzato dalla Soprintendenza composto dal codice ISTAT del comune e un numero progressivo, denominazione del bene, proprietari, sigla e codice ISTAT della provincia e del comune, eventuale nome della frazione, indirizzo, tipo di tutela, tipologia architettonica, epoca di costruzione e datazione, tipo di bene (individuo o complesso), numero di beni componenti appartenenti al bene complesso, eventuali note, beni danneggiati, campo che riporta il numero di beni componenti danneggiati dal sisma del 2012²⁶. Quindi essendo tali dati relativi a tutto il patrimonio tutelato collocato entro i confini regionali, era necessario effettuare un'operazione di scrematura dei dati, di modo da poter operare, nelle fasi successive di indagine statistica, solo sui record relativi alle architetture fortificate colpite e dal terremoto. Effettuando una prima operazione di selezione degli attributi mediante il campo denominato "beni", è stato possibile selezionare solo i record che riportano il valore maggiore o uguale 1, ossia appunto i beni danneggiati dal sisma del 2012, riducendo così la ricerca da 9914 a 1427 record. Con una seconda operazione di selezione degli attributi tramite il campo "tipologia", è stato possibile restringere ulteriormente la selezione selezionando solo i record con dicitura "Rocca/Castello" e quindi trovare i 21 casi di studio già descritti nel Capitolo 2.

²⁵ PGA (Peak Ground Acceleration), PGV (Peak Ground Velocity), PSA (PseudoSpectral Acceleration) calcolata per un periodo con T=0,3s, T=1s e T=30s.

²⁶ Per approfondimenti sulla struttura dei dati forniti dal Segretariato Regionale:

<http://www.emiliaromagna.beniculturali.it/index.php?it/317/istruzioni> (consultato in data 8 settembre 2021)

Sono poi stati consultati altri archivi informativi online (SIT CdR²⁷ e SigecWeb²⁸, accessibili però solo parzialmente, e Vincoli in rete²⁹), da cui è stato possibile acquisire dati già organizzati e utili al fine di completare la compilazione dei campi necessari alla successiva fase di interrogazione dei dati, ma non acquisibili in formato tale da essere importabili direttamente in ambiente GIS.

5.4.5 PROGETTAZIONE DEL DATABASE E PRIMA ELABORAZIONE DEI DATI

Sulla base dei suddetti dati di partenza inseriti in ambiente GIS, sono stati progettati i modelli logico e fisico, che faranno da supporto a tutto il sistema di archiviazione. Questi modelli traspongono le entità e i fenomeni del mondo reale in dati organizzati e il più possibile semplificati e quindi più agilmente leggibili dal sistema GIS.

Il modello logico è uno schema che sinteticamente descrive le tipologie di relazioni e le gerarchie che intercorrono tra le varie *feature class*, inserite nel geodatabase. Infatti tale modello è anche detto georelazionale. La relazione tra le *feature class* avviene tramite un campo in comune della tabella degli attributi. Nello specifico Castelli_danneggiati è la *feature class* “padre” a cui si legano le altre *feature class* o tabelle. Nello specifico le tabelle Palazzo, Torre, Mura si collegano alla *feature class* “padre” tramite il campo entità primaria relativo al codice della Soprintendenza, con relazioni uno a molti.

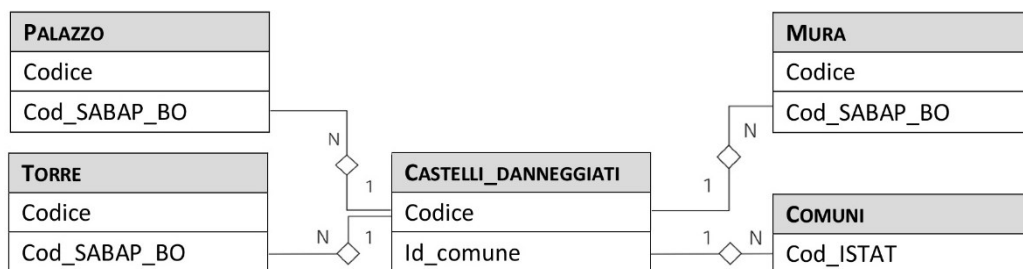


Figura 3 Modello logico del geodatabase progettato.

Il modello fisico specifica la geometria dell’oggetto (geometrie primitive possibili: punto, linea o poligono) e il sistema geografico di riferimento. Il modello fisico è stato realizzato per tutte le tabelle progettate ex-novo (Palazzi, Torri, Mura) o le *Feature class* implementate (Castelli_danneggiati) per questo database, di modo da esplicitare il contenuto e il dominio di ogni campo. Più la descrizione di ogni campo è particolareggiata ed esauriente, maggiore sarà il livello di comprensibilità del database progettato. Infatti al fine di garantire la correttezza d’uso del sistema, quindi la sua funzionalità, è indispensabile redigere schemi di astrazione (modello logico e fisico) per

²⁷ <http://www.cartadelrischio.beniculturali.it/documentazioni> (consultato in data 21/09/21)

²⁸ <https://www.catalogo.beniculturali.it/> (consultato in data 21/09/21)

²⁹ <http://vincoliinrete.beniculturali.it/VincoliInRete/vir/bene/listabeni> (consultato in data 21/09/21)

assicurare la comprensibilità anche ad utenti terzi che non abbiano partecipato alla fase di progettazione.

Alla *Feature class* “padre” Castelli_danneggiati è attribuita l’entità geometrica punto e il sistema di riferimento impiegato è il WGS84 UTM32, sistema di riferimento di tutto il database, in cui per altro erano già referenziati i dati open-source. La scelta di utilizzare l’entità geometrica “punto” è stata determinata sia dal fatto che i dati di partenza fossero già così strutturati sia dal fatto che l’obbiettivo finale della presente ricerca non è associare, all’interno del database, geometrie precise i singoli manufatti, ma piuttosto di confrontare tra loro i dati, che verranno successivamente descritti, a fini statistici. Quindi, evitando di complicare inutilmente il database, si è ritenuto che la geometria scelta fosse sufficientemente accurata.

Si riporta quindi di seguito il modello fisico, relativo ai soli campi aggiunti dalla scrivente³⁰, della *feature class* Castelli_danneggiati (i modelli delle altre tabelle vengono riportati nel paragrafo successivo, in cui si esplicita la loro fase di progettazione).

MODELLO FISICO

Classe: Castelli danneggiati

Geometria: Punto

Sistema di riferimento: WGS 84_UTM zone 32N

Dettaglio degli attributi:

NOME_CAMPO	DESCRIZIONE	TIPO	CONGRUENZA
codice	Codice alfanumerico numerico utilizzato dalla soprintendenza per identificare in maniera univoca il bene tutelato. Tale codice è composto dal codice istat del comune in cui si trova il bene (numero intero a 6 cifre), un trattino basso, seguito da un numero intero che identifica il bene di quel comune.	Testo (10)	

³⁰ Per una maggior completezza sono stati riportati in grigio alcuni dei campi già presenti nel WebGIS della Regione Emilia Romagna, non prodotti quindi dalla scrivente, in quanto indispensabili per l’identificazione da parte del lettore del bene complesso che si intende descrivere. La tabella degli attributi è quindi stata riportata in allegato alla tesi con i campi illustrati nel modello logico qui presente.

provincia	Indica la provincia di appartenenza del bene tutelato.	Testo (12)	
id_comune	Codice istat del comune in cui si trova il bene (numero intero a 6 cifre).	Numero	Numero intero composto da 6 cifre
comune	Indica il comune su cui il bene componente sorge. È indicato con lettere maiuscole.	Testo (22)	
Palazzo	Indica la presenza o meno all'interno del bene complesso del bene componente Palazzo.	Testo (2)	Dominio: -SI -NO
Torre	Indica il numero di torri all'interno del bene complesso. In caso di assenza di torri il numero da riportare è 0.	Numero	
Mura	Indica la presenza o meno all'interno del bene complesso del bene componente Mura di cinta.	Testo (2)	Dominio: -SI -NO

5.4.6 RACCOLTA E ORGANIZZAZIONE DEL MATERIALE

Al fine di poter completare i suddetti campi per ciascuno dei castelli danneggiati è stato necessario un intenso lavoro di ricerca non solo bibliografica, ma soprattutto d'archivio. Si fa riferimento in particolare al materiale consultato presso l'archivio SABAP-BO, già illustrato nel Capitolo 2.

In una prima fase è stata implementata, con campi originali, la tabella attributi della *feature class* Castelli_danneggiati, secondo quanto già riportato nel relativo modello fisico. Tale fase di inserimento dati è stata indispensabile per individuare quali e quanti beni componenti (Corpo di fabbrica, torre, mura di cinta) fossero presenti per ciascun bene complesso (ossia ciascuna architettura fortificata in esame). Quindi per ciascuna di quest'ultime sono stati esaminati gli elaborati grafici relativi ai rilievi geometrici e il materiale fotografico. Qualora questi non fossero disponibili, anche solo per una maggior completezza nell'informazione quando necessaria, sono venuti in ausilio i servizi offerti da Google Earth Pro: viste satellitari o tramite modalità *street view* degli edifici oggetto di studio. Alla fine di questa fase si è arrivati a contare 60 torri, 31 palazzi, 15 cortine murarie appartenenti a 10 mura di cinta su 21 beni complessi.

Una volta definiti i beni componenti oggetto di studio, ad ognuno di essi è stato attribuito un codice alfanumerico composto dal codice attribuito dalla Soprintendenza al bene complesso (es. 038004_23 per la Rocca di Cento) e dal codice attribuito dalla scrivente per il singolo bene componente. Quest'ultimo, in caso si tratti di una torre, è composto da una T e da un numero progressivo in base a quante torri sono presenti nel bene complesso; analogamente per i palazzi (P1, P2, P3...) e le mura di cinta (MC1, MC2, MC3...). Per le mura di cinta è necessario specificare che solo qualora fossero presenti cortine non contigue tra loro sono stati associati codici differenti, mentre le mura continue (es. la mura del Castello dei Bentivoglio) sono state identificate con un unico codice, ossia un unico bene componente al limite composto da più pareti. Quindi per poter identificare correttamente ciascun bene componente, sia nel corso di questa fase di raccolta dati e di compilazione delle tabelle attributi, sia in futuro, sono stati disegnati degli schemi planimetrici di base (Fig. 4), per ciascun caso studio, ai quali sono stati associati in pianta i codici alfanumerici. Quindi il codice che si ottiene ad esempio per una delle torri della Rocca di Cento sarà 038004_23_T1.

Si è quindi passati alla definizione di tabelle degli attributi specifiche per i suddetti beni componenti. Nello specifico sono state stilate e compilate tre nuove tabelle attributi per ciascuna tipologia di bene componente: una per i palazzi, una per le torri e una per le mura di cinta. Nelle rispettive tabelle ogni record è identificato con il codice alfanumerico attribuito precedentemente. Per questioni di praticità, questa fase di inserimento dati è avvenuta tramite il software Excel, i tre file Excel sono poi stati trasformati in file .csv e caricati in ambiente GIS come tabelle attributi. Di seguito si riporta il modello fisico per ciascuna tabella attributi progettata, mentre le tabelle attributi vengono riportate in allegato alla presente tesi.

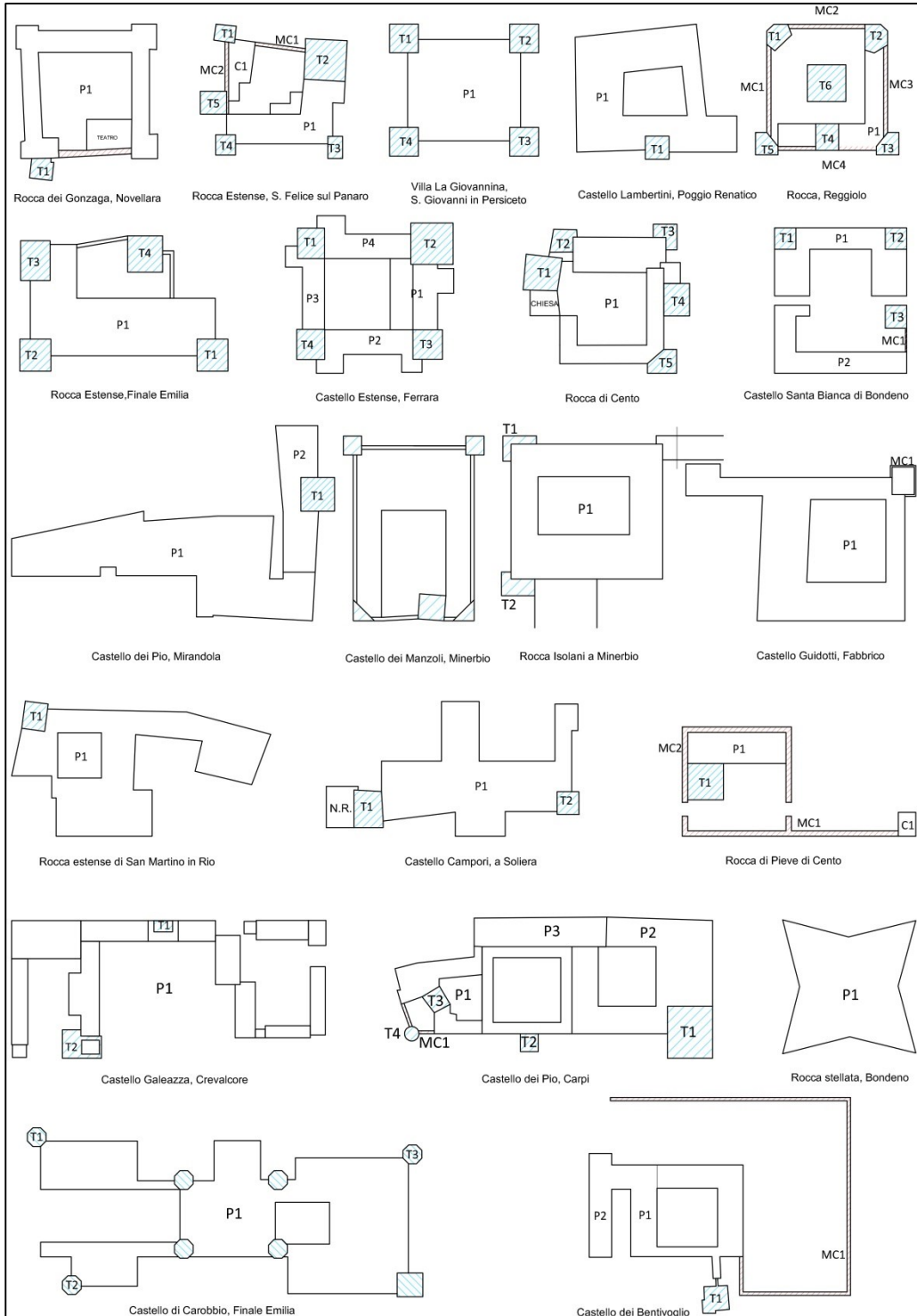


Figura 4 Planimetrie dei fortilizi esaminati, con i codici alfanumerici relativi ai beni componenti.

Tabella attributi del bene componente “Mura di cinta”

NOME_CAMPO	DESCRIZIONE	TIPO	CONGRUENZA
Cod_mura	Codice alfanumerico univoco all'interno della classe. Composto dal codice SABAP_BO, dalla lettera MC e un numero intero progressivo.	Testo (15)	
Cod_SABAP_BO	Codice alfanumerico numerico utilizzato dalla soprintendenza per identificare in maniera univoca il bene tutelato. Tale codice è composto dal codice ISTAT del comune in cui si trova il bene (numero intero a 6 cifre), un trattino basso, seguito da un numero intero che identifica il bene di quel comune.	Testo (10)	
N_mura	Codice alfanumerico composto dalla lettera M in maiuscolo (mura di cinta) e da un numero intero, progressivo se un castello presenta più cortine non collegate. Tale codice identifica in ciascun bene complesso il muro di cinta singola	Testo (3)	Dominio: -MC1 -MC2 -MC3 -MC4 -MC5 -MC6
comune	Indica il comune su cui il bene componente sorge. È indicato con lettere maiuscole.	Testo (22)	
Spessore	Indica lo spessore in sezione trasversale del muro di cinta (unità di misura: metri).	Numero	
Lunghezza	Indica la lunghezza del muro di cinta (unità di misura: metri).	Numero	
Altezza	Indica l'altezza massima del muro di cinta da terra cielo (unità di misura: metri).	Numero	

Beccatelli	Indica o meno la presenza del macro-elemento dei beccatelli	Testo (2)	Dominio: -SI -NO
Merli	Indica o meno la presenza del macro-elemento dei merli	Testo (2)	Dominio: -SI -NO
Altri_el_aggettanti	Indica o meno la presenza di elementi aggettanti o svettanti (quali torrette, garitte, bertesche)	Testo (2)	Dominio: -SI -NO
Torre_ad	Indica o meno la presenza di una torre costruita in adiacenza al muro di cinta	Testo (2)	Dominio: -SI -NO
Altri_el_addossati	Indica o meno la presenza di altre strutture costruite in adiacenza al muro di cinta	Testo (2)	Dominio: -SI -NO
Camminamenti	Indica o meno la presenza del macro-elemento del corpo scala. Tale elemento non andrà indicato presente se sono presenti semplici scale removibili (scale a pioli, lignee).	Testo (2)	Dominio: -SI -NO
Copertura	Indica o meno la presenza del macro-elemento solaio ligneo.	Testo (2)	Dominio: -SI -NO
M10	Sfilamento testa delle travi e/o martellamento	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M11	Collassi locali dell'impalcato della volta	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M12	Danno alle volte per rotazione delle imposte	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M13	Danno alle volte per deformazione di piano	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M14	Danno alle scale	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M15	Danno agli elementi di copertura	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M16	Danno al manto di copertura	Numero	Dominio:

			tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M18	Danno agli elementi aggettanti/svettanti	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M19	Collapsi locali per irregolarità costruttive del materiale	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M21	Danno nei corpi annessi	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M22	Cedimento di fondazioni	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M23	Cedimenti terrapieno	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M24	Muratura: sbriciolamento muratura (livello di danno).	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M25	Muratura: delaminazione del rivestimento (livello di danno).	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M26	Ribaltamento fuori dal piano del muro di cinta	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M27	Meccanismo di taglio nel piano del muro di cinta	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M28	Rottura a flessione orizzontale del muro di cinta	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M32	Merlature: fessure a flessione o a taglio nel piano (livello di danno).	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M33	Merlature: ribaltamento (livello di danno).	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M34-35	Elementi svettanti: danni ai beccatelli e alla porzione aggettante da essi sostenuta (livello di danno).	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
d	Indica la sommatoria dei livelli di danno	Numero	

n	Numero dei meccanismi attivabili.	Numero	
I_danno	INDICE DI DANNO. Numero compreso tra 0 e 1, che quantifica il livello medio di danno subito dal bene componente. Più il numero è vicino ad 1 maggiore è il danno subito: $I_d = d/5n$	Numero	Dominio: tutti i numeri compresi tra 0 e 1
PGV_MAX	Peak Ground Velocity [cm/s]: picco più alto registrato per la velocità tra tutte le scosse sismiche (con $M \geq 5$) registrate tra i mesi di maggio e giugno 2012	Numero	
PGA_MAX	Peak Ground Acceleration [g]: picco più alto registrato per l'accelerazione tra tutte le scosse sismiche (con $M \geq 5$) registrate tra i mesi di maggio e giugno 2012	Numero	
PSA03_MAX	Indica il valore massimo in PseudoSpectral Acceleration [%g] (registrato ogni 3 secondi) tra tutte le scosse sismiche (con $M \geq 5$) registrate tra i mesi di maggio e giugno 2012	Numero	
PSA10_MAX	Indica il valore massimo della PseudoSpectral Acceleration [%g] (registrato ogni 10 secondi) tra tutte le scosse sismiche (con $M \geq 5$) registrate tra i mesi di maggio e giugno 2012	Numero	
PSA30_MAX	Indica il valore massimo della PseudoSpectral Acceleration [%g] (registrato ogni 30 secondi) tra tutte le scosse sismiche (con $M \geq 5$) registrate tra i mesi di maggio e giugno 2012	Numero	

Tabella attributi del bene componente "Palazzo"

NOME_CAMPO	DESCRIZIONE	TIPO	CONGRUENZA
Cod_palazzo	Codice alfanumerico univoco all'interno della classe. Composto dal codice SABAP_BO, dalla lettera P e un numero intero progressivo.	Testo (15)	
Cod_SABAP_BO	Codice alfanumerico numerico utilizzato dalla soprintendenza per identificare in maniera univoca il bene tutelato. Tale codice è composto dal codice istat del comune in cui si trova il bene (numero intero a 6 cifre), un trattino basso, seguito da un numero intero che identifica il bene di quel comune.	Testo (10)	
N_palazzo	Codice alfanumerico composto dalla lettera P in maiuscolo (palazzo) e da un numero intero, progressivo se un castello presenta più corpi. Tale codice identifica in ciascun bene complesso il singolo corpo di fabbrica.	Testo (3)	Dominio: -P1 -P2 -P3 -P4 -P5 -P6
comune	Indica il comune su cui il bene sorge. È indicato con lettere maiuscole.	Testo (22)	Dominio:
Pianta	Indica se la forma in pianta del corpo del fabbrica è regolare o meno	Testo (10)	Dominio: -Regolare -Irregolare
Elevazione	Indica se il corpo del fabbrica è regolare o meno in elevazione, ossia se presenta vistose differenze di quota	Testo (10)	Dominio: -Regolare -Irregolare
Disp_muri_interni	Indica se i muri sono disposti in modo regolare all'interno del fabbricato (muri di spina e muri di controvento) o se esistono invece diversi muri in falso o con andamenti irregolari.	Testo (10)	Dominio: -Regolare -Irregolare

Disp_aperture	Indica se le aperture sono disposte in maniera regolare: allineate verticalmente e orizzontalmente, di modo che siano presenti maschi murari che vanno da cielo a terra.	Testo (10)	Dominio: -Regolare -Irregolare
Forma_pianta	Indica la forma in pianta del corpo del fabbrica.	Testo (25)	Dominio: -rettangolare -rettangolare allungata - a L -a C -a corti -altro
larghezza	Indica la larghezza del corpo di fabbrica (unità di misura: metri).	Numero	
lunghezza	Indica la lunghezza del corpo di fabbrica (unità di misura: metri).	Numero	
Superficie	Indica il prodotto tra larghezza e lunghezza del corpo di fabbrica (unità di misura: metri).	Numero	
altezza	Indica l'altezza massima del corpo di fabbrica da terra cielo (unità di misura: metri).	Numero	
Piani_fuori_terra	Indica il numero di piani fuori terra (disposti sopra il piano di campagna) del corpo di fabbrica	Numero	Dominio: Numero intero
Piani_interrati	Indica il numero di piani interrati (disposti sotto il piano di campagna) del corpo di fabbrica	Numero	Dominio: Numero intero
Tipologia_muraria	Indica il materiale utilizzato per la costruzione della muratura del fabbricato.	Testo (20)	Dominio: -Pietra squadrata -Pietra sbozzata -Pietra a spacco -Mattoni -Irregolare -Altro
Logge_porticati	Indica la presenza o meno di logge/porticati	Testo (2)	Dominio: -SI

			-NO
Solaio_ligneo	Indica o meno la presenza del macro-elemento solaio ligneo.	Testo (2)	Dominio: -SI -NO
solaio_voltato	Indica o meno la presenza del macro-elemento solaio voltato.	Testo (2)	Dominio: -SI -NO
solaio_altro	Indica la tipologia del macro-elemento di un solaio realizzato con tecnologia diversa delle due suddette. Ad esempio in questo campo si può indicare la presenza di un solaio in laterocemento. Indicare NO se si è sicuri che non siano presenti solai di tipologie diverse da solai lignei o voltati	Testo (2)	Dominio: -cannicciato -laterocemento -SAP -voltine -NO
Merli	Indica la presenza o meno del macro-elemento merlature	Testo (2)	Dominio: -SI -NO
Beccatelli	Indica la presenza o meno del macro-elemento beccatelli	Testo (2)	Dominio: -SI -NO
Altri_el_aggettanti	Indica la presenza o meno di macro-elementi elementi aggettanti (garrite, bertesche)	Testo (2)	Dominio: -SI -NO
El_sveltanti	Indica la presenza o meno di macro-elementi elementi sveltanti (torrette)	Testo (2)	Dominio: -SI -NO
Mura_cinta_addossate	Indica la presenza o meno del macro-elemento mura di cinta	Testo (2)	Dominio: -SI -NO
Corpi_annessi	Indica la presenza o meno del macro-elemento corpi annessi	Testo (2)	Dominio: -SI -NO
M1	Meccanismo di ribaltamento delle pareti	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M2	Meccanismo di instabilità verticale delle pareti	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M3	Meccanismo di rottura a flessione delle pareti	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5

M4	Meccanismo di ribaltamento del cantonale	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M5	Meccanismo a taglio nelle pareti esterne: maschi	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M6	Meccanismo a taglio nelle pareti esterne: architravi e muratura soprastante	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M7	Meccanismo a taglio nelle pareti interne	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M8	Meccanismo di scorrimento di piano	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M9	Danno ai portici/logge	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M10	Sfilamento testa delle travi e/o martellamento	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M11	Collassi locali dell'impalcato della volta	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M12	Danno alle volte per rotazione delle imposte	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M13	Danno alle volte per deformazione di piano	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M14	Danno alle scale	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M15	Danno negli elementi di copertura	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M16	Danno al manto di copertura	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M17	Ribaltamento delle fasce sottotetto e timpano	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M18	Danno agli elementi aggettanti/svettanti	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5

M19	Collapsi locali per irregolarità costruttive del materiale	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M20	Danno per irregolarità di forma	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M21	Danno nei corpi annessi	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M22	Cedimento di fondazioni	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M24	Muratura: sbriciolamento muratura (livello di danno).	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M25	Muratura: delaminazione del rivestimento (livello di danno).	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M32	Merlature: fessure a flessione o a taglio nel piano (livello di danno).	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M33	Merlature: ribaltamento (livello di danno).	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M34-35	Danni ai beccatelli	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
d	Indica la sommatoria dei livelli di danno.	Numero	
n	Numero dei meccanismi attivabili.	Numero	
I_danno	INDICE DI DANNO. Numero compreso tra 0 e 1, che quantifica il livello medio di danno subito dal bene componente. Più il numero è vicino ad 1 maggiore è il danno subito: $I_d = d/5n$	Numero	Dominio: tutti i numeri compresi tra 0 e 1
PGV_MAX	Peak Ground Velocity [cm/s]: picco più alto registrato per la velocità tra tutte le scosse sismiche (con $M \geq 5$) registrate tra i mesi di maggio e giugno 2012	Numero	
PGA_MAX	Peak Ground Acceleration [g]: picco più alto registrato per l'accelerazione tra tutte	Numero	

	le scosse sismiche (con $M \geq 5$) registrate tra i mesi di maggio e giugno 2012		
PSA03_MAX	Indica il valore massimo in PseudoSpectral Acceleration [%g] (registrato ogni 3 secondi) tra tutte le scosse sismiche (con $M \geq 5$) registrate tra i mesi di maggio e giugno 2012	Numero	
PSA10_MAX	Indica il valore massimo della PseudoSpectral Acceleration [%g] (registrato ogni 10 secondi) tra tutte le scosse sismiche (con $M \geq 5$) registrate tra i mesi di maggio e giugno 2012	Numero	
PSA30_MAX	Indica il valore massimo della PseudoSpectral Acceleration [%g] (registrato ogni 30 secondi) tra tutte le scosse sismiche (con $M \geq 5$) registrate tra i mesi di maggio e giugno 2012	Numero	

Tabella attributi del bene componente "Torre"

NOME_CAMPO	DESCRIZIONE	TIPO	CONGRUENZA
ID_torri	Codice alfanumerico univoco all'interno della classe. Composto dal codice SABAP_BO, dalla lettera T e un numero intero progressivo.	Testo (15)	
Cod_SABAP_BO	Codice alfanumerico numerico utilizzato dalla soprintendenza per identificare in maniera univoca il bene tutelato. Tale codice è composto dal codice ISTAT del comune in cui si trova il bene (numero intero a 6 cifre), un trattino basso, seguito da un numero intero che identifica il bene di quel comune.	Testo (10)	

N_torri	Codice alfanumerico composto dalla lettera T in maiuscolo (torre) e da un numero intero, progressivo se un castello presenta più torri. Tale codice identifica in ciascun bene complesso la singola torre.	Testo (3)	Dominio: -T1 -T2 -T3 -T4 -T5 -T6
comune	Indica il comune su cui la torre sorge. È indicato con lettere maiuscole.	Testo (22)	Dominio:
larghezza	Indica la larghezza alla base della torre (unità di misura: metri).	Numero	
lunghezza	Indica la lunghezza alla base della torre (unità di misura: metri).	Numero	
altezza	Indica l'altezza massima della torre da terra cielo (unità di misura: metri).	Numero	
Forma_pianta	Indica la forma in pianta della torre.	Testo (13)	Dominio: -quadrangolare -circolare -poligonale -aperta
Posizione	Indica la posizione della torre rispetto agli altri corpi di fabbrica.	Testo (26)	Dominio: -isolata -angolo -sporgente -inglobata
corpo_scala	Indica o meno la presenza del macro-elemento del corpo scala. Tale elemento non andrà indicato presente se sono presenti semplici scale removibili (scale a pioli, lignee).	Testo (2)	Dominio: -SI -NO
solai_lignei	Indica o meno la presenza del macro-elemento solaio ligneo.	Testo (2)	Dominio: -SI -NO
solai_voltati	Indica o meno la presenza del macro-elemento solaio voltato.	Testo (2)	Dominio: -SI -NO
solai_altro	Indica o meno la presenza del macro-elemento di un solaio realizzato con tecnologia diversa delle	Testo (2)	Dominio: -SI -NO

	due suddette. Ad esempio in questo campo si può indicare la presenza di un solaio in latero cemento o in acciaio		
beccatelli	Indica o meno la presenza del macro-elemento dei beccatelli	Testo (2)	Dominio: -SI -NO
merli	Indica o meno la presenza del macro-elemento dei merli	Testo (2)	Dominio: -SI -NO
Torre portaia	Indica se si tratta o meno di una torre portaia, ossia d'ingresso al complesso.	Testo (2)	Dominio: -SI -NO
M10	Sfilamento testa delle travi e/o martellamento	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M11	Collassi locali dell'impalcato della volta	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M12	Danno alle volte per rotazione delle imposte	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M13	Danno alle volte per deformazione di piano	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M14	Danno alle scale	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M16	Danno al manto di copertura	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M18	Danno agli elementi aggettanti/svettanti	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M19	Collassi locali per irregolarità costruttive del materiale	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M21	Danno nei corpi annessi	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M22	Cedimento di fondazioni	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M24	Muratura: sbriciolamento muratura	Numero	Dominio:

	(livello di danno).		tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M25	Muratura: delaminazione del rivestimento (livello di danno).	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M29	Torre: danni alla base della torre (livello di danno).	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M30	Torre: lesioni nel corpo principale della torre con possibili effetti di torsione (livello di danno).	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M31	Torre: lesioni nella parte superiore della torre (livello di danno).	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M32	Merlature: fessure a flessione o a taglio nel piano (livello di danno).	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M33	Merlature: ribaltamento (livello di danno).	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M34-35	Elementi sveltanti: danni ai beccatelli e alla porzione aggettante da essi sostenuta (livello di danno).	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M36	Coperture: danni agli angoli della torre o nella parte superiore, nel caso di tetto spingente (livello di danno).	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
M37	Coperture: danni tra tetto e pareti (livello di danno).	Numero	Dominio: tutti i numeri interi compresi tra 0 e 5
d	Indica la sommatoria dei livelli di danno.	Numero	
n	Numero dei meccanismi attivabili.	Numero	
I_danno	INDICE DI DANNO. Numero compreso tra 0 e 1, che quantifica il livello medio di danno subito dal bene componente. Più il numero è vicino ad 1 maggiore è il danno subito: $I_d = d/5n$	Numero	Dominio: tutti i numeri compresi tra 0 e 1
PGV_MAX	Peak Ground Velocity [cm/s]: picco più alto	Numero	

	registrato per la velocità tra tutte le scosse sismiche (con $M \geq 5$) registrate tra i mesi di maggio e giugno 2012		
PGA_MAX	Peak Ground Acceleration [g]: picco più alto registrato per l'accelerazione tra tutte le scosse sismiche (con $M \geq 5$) registrate tra i mesi di maggio e giugno 2012	Numero	
PSA03_MAX	Indica il valore massimo in PseudoSpectral Acceleration [%g] (registrato ogni 3 secondi) tra tutte le scosse sismiche (con $M \geq 5$) registrate tra i mesi di maggio e giugno 2012	Numero	
PSA10_MAX	Indica il valore massimo della PseudoSpectral Acceleration [%g] (registrato ogni 10 secondi) tra tutte le scosse sismiche (con $M \geq 5$) registrate tra i mesi di maggio e giugno 2012	Numero	
PSA30_MAX	Indica il valore massimo della PseudoSpectral Acceleration [%g] (registrato ogni 30 secondi) tra tutte le scosse sismiche (con $M \geq 5$) registrate tra i mesi di maggio e giugno 2012	Numero	

Come sarà facile intuire i campi che hanno chiesto maggior sforzo nella compilazione sono quelli relativi sia alla verifica della presenza o meno dei singoli macro-elementi, che costituiscono il bene componente, sia all'attribuzione di un livello di danno (numero intero che va da 0 a 5) per ciascun meccanismo. Per quanto riguarda la verifica della presenza o meno dei singoli macro-elementi si è proceduto analogamente a quanto descritto per l'indagine dei beni componenti, ossia vagliando gli elaborati grafici, soprattutto geometrici, a disposizione e il materiale fotografico. Per quanto riguarda l'attribuzione del livello di danno si è trattato di un lavoro svolto in contemporanea su due fronti, ossia da una parte l'analisi della documentazione sul

singolo edificio: progetti definitivi/esecutivi, tra cui relazioni tecniche, relazioni fotografiche, elaborati grafici relativi all'analisi approfondita del quadro fessurativo e dei cinematismi; dall'altra il continuo confronto tra i vari singoli meccanismi riscontrati nei diversi edifici, di modo da stabilire una scala di danno coerente per ogni meccanismo. Riguardo a quest'ultimo punto, come già illustrato nei capitoli precedenti, è stato redatto il *Manuale di compilazione della scheda di rilievo del danno per le architetture fortificate* con allegate tavole esplicative. Dopo una prima compilazione dei campi sopradescritti, sulla base delle definizioni date a ogni livello di ogni meccanismo, è stato effettuato un nuovo confronto tra i livelli attribuiti e, in certi casi, quest'ultimi sono stati revisionati per rispettare il più coerentemente possibile le definizioni stabilite. Tale fase è stata inoltre supportata dalle revisioni da parte dei referenti per l'Agenzia Regionale per la Ricostruzione, Arch. Antonino Libro e Ing. Davide Parisi.

5.4.7 POPOLAMENTO E GESTIONE DELLA BANCA DATI

Questa fase riguarda l'upload in ambiente GIS degli *shapefile* scaricati dai database open source già descritti (Confini Provinciali e Regionali, *Shakemaps*, Castelli Danneggiati) e delle tabelle progettate ex-novo, quali Palazzo, Torre e Mura. Tramite operazioni di *join* le suddette tabelle e la *feature class* Castelli_danneggiati sono state collegate tra loro. I dati illustrati sono stati archiviati in un file geodatabase (GDB), il formato standard per lo scambio di informazioni geografiche di ArcGIS e gestibile tramite ArcCatalog. Si è scelto questo formato di archiviazione dati perché è un sistema di semplice utilizzo, che, pur consentendo un solo editor, permette multipli accessi e allo stesso tempo gestisce enormi quantità di dati (1 TB per tabella) ed è compatibile con i principali sistemi operativi.

5.5 INTERROGAZIONE DEL DATABASE E PRODOTTI DI OUTPUT

Tramite operazioni di interrogazione (*query*) del database di tipo spaziale (*select by location*) e tabellare (*select by attributes*) è stato possibile produrre informazioni originali, che verranno illustrate nei paragrafi successivi.

5.5.1 INTERROGAZIONI DI TIPO SPAZIALE

5.5.1.1 ASSOCIARE A CIASCUN CASTELLO LA PGV, PGA, PSA MASSIMA SUBITA.

Attraverso *query* di tipo spaziale è stato possibile associare ai 21 complessi fortificati (*feature class* Castelli danneggiati) i valori massimi di PGV, PGA, PSA. Da un punto di vista esecutivo è stata effettuata un'operazione di *select by location*, che ha permesso di individuare di volta in volta quali erano i castelli contenuti in determinati poligoni delle *shakemaps* (Fig.5-6-7). Le *shakemaps* infatti hanno come entità geometrica il poligono e ad ogni poligono è associato un valore in termini di PGV o PGA o PSA03 o

PSA10 o PSA30. Come già descritto, sono state inserite in ambiente GIS 45 *shakemaps*, relative alle scosse con Magnitudo ≥ 5 , nelle suddette unità di misura.

La necessità di prendere in considerazione le *shakemaps* di ben 9 scosse diverse deriva dal fatto che, se pure le scosse di magnitudo maggiore sono solo due (20 e 29 maggio), lo sciame sismico del 2012 è stato caratterizzato da uno spostamento lineare dei singoli epicentri, da Est verso Ovest, per ben 50 km³¹. Tale scenario, oltre ad un notevole ampliamento dell'area di cratere, ha comportato anche il fatto che certi beni, lontani dagli epicentri delle due scosse maggiori, siano stati interessati da valori di accelerazione o velocità più elevati a seguito di scosse minori, ma con epicentro più vicino. Tuttavia nella maggioranza dei casi presi in esame le accelerazioni e le velocità maggiori rimangono attribuibili agli eventi sismici del 20 e del 29 maggio. Intercettare i valori massimi di accelerazione e velocità che hanno subito i beni oggetto di studio risulterà fondamentale per le interrogazioni statistiche che verranno successivamente illustrate.

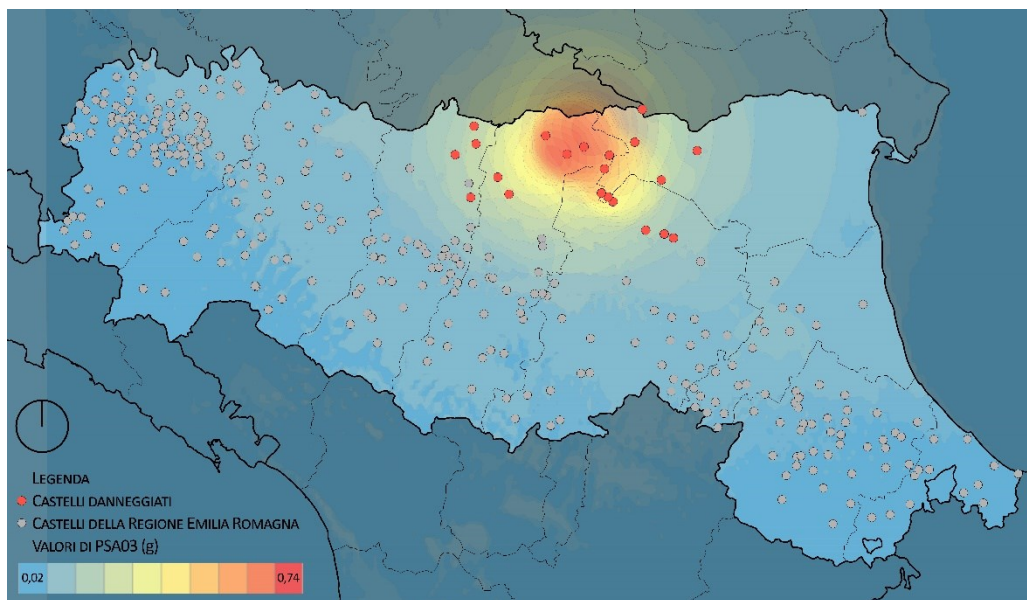


Figura 5 Mappa tematica, realizzata tramite ArcMap, dei castelli danneggiati e sovrapposizione delle *shakemaps* in PSA03.

³¹ ARCORACI L. et al. 2012

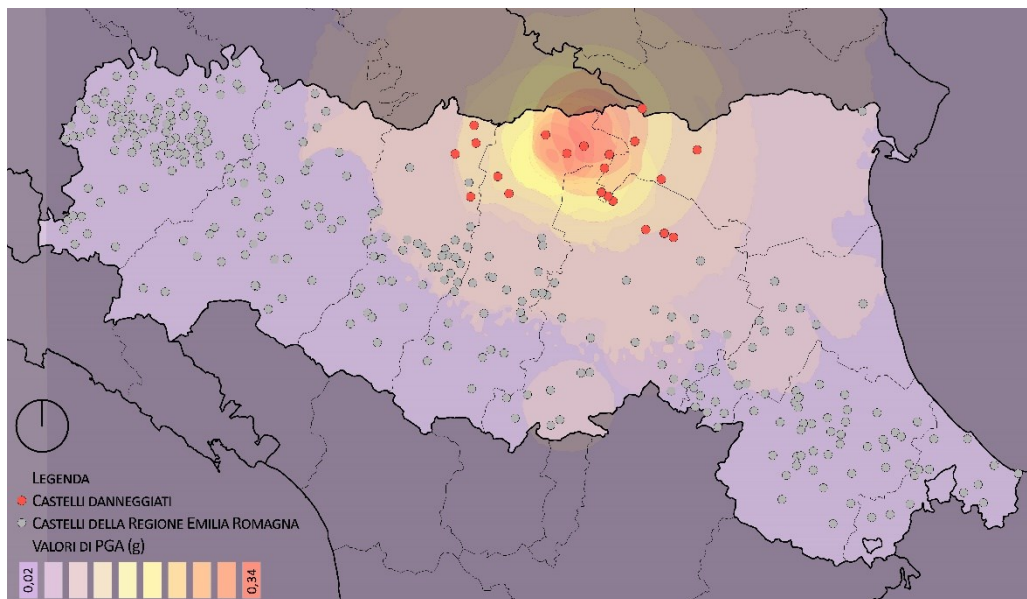


Figura 6 Mappa tematica, realizzata tramite ArcMap, dei castelli danneggiati e sovrapposizione delle shakemaps in PGA.

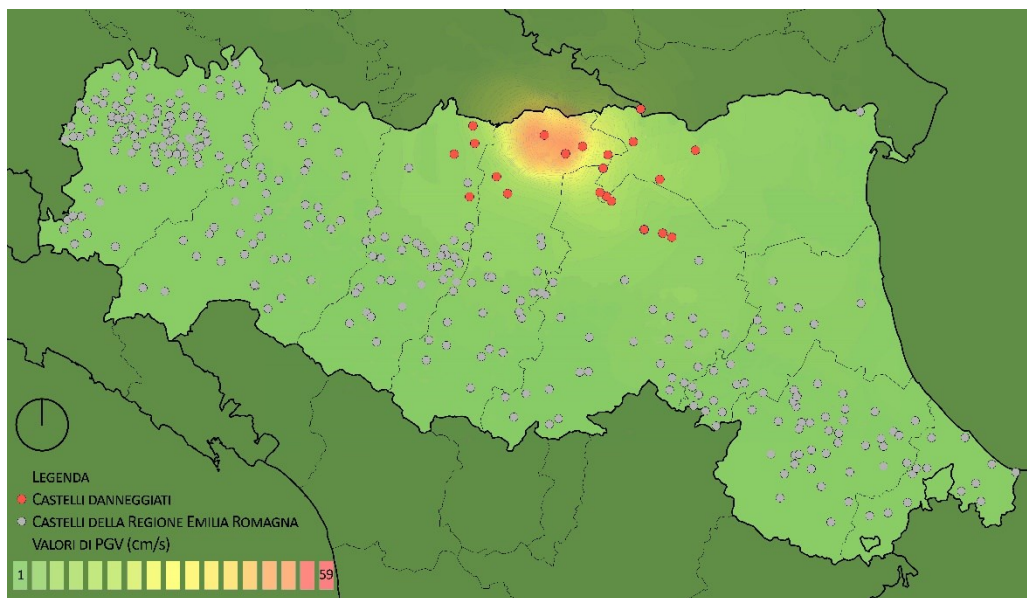


Figura 7 Mappa tematica, realizzata tramite ArcMap, dei castelli danneggiati e sovrapposizione delle shakemaps in PGV.

5.5.2 INTERROGAZIONI DI TIPO TABELLARE PER LE MURA DI CINTA

5.5.2.1 MECCANISMI ATTIVATI E POTENZIALMENTE ATTIVABILI

Di seguito si riportano, per il bene componente Muro di cinta, le percentuali dei cinematismi attivati a seguito dello sciame sismico del 2012 e di quelli potenzialmente attivabili, in questa categoria rientrano quei casi di studio che pur non avendo manifestato un dato meccanismo di danno, presentano il macro-elemento che potrebbe esserne interessato in futuro. Tale confronto è funzionale per visionare graficamente quali cinematismi si sono verificati con più frequenza per il bene componente Mura di cinta. In questo caso si noti la frequenza del meccanismo di ribaltamento dei merli (M33), probabilmente legata al fatto che i merli dei muri di cinta sono generalmente vincolati solo alla base, cioè privi di copertura, circostanza che, come verrà illustrato a breve, aumenta le probabilità che si verifichi un meccanismo fuori dal piano.

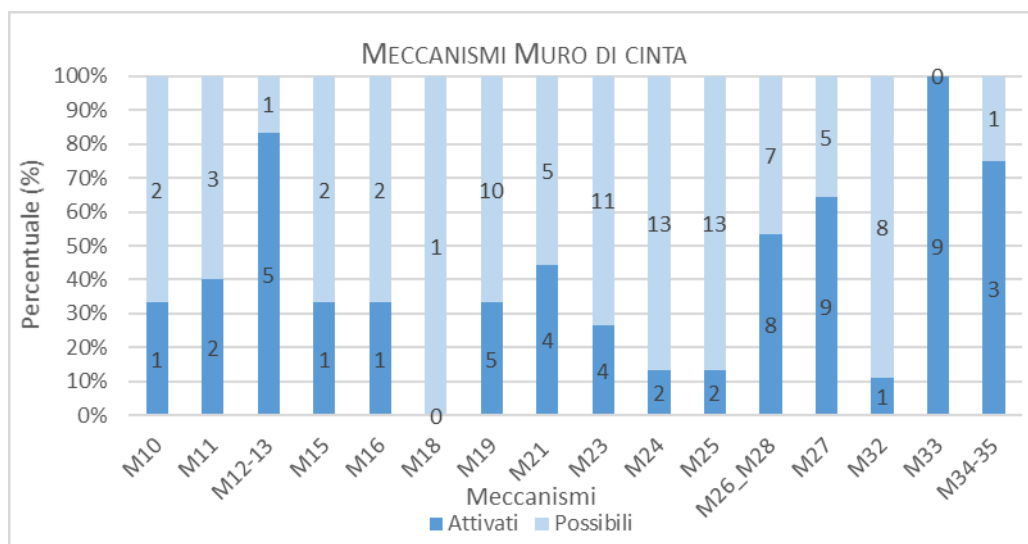


Figura 8 Muro di Cinta: percentuali dei meccanismi attivati e di quelli potenzialmente attivabili.

MECCANISMI FUORI DAL PIANO (M26 E M28) – CAMMINAMENTO DI RONDA

Dall'analisi statistica emerge che i meccanismi fuori dal piano del muro di cinta tendono ad aggravarsi nel caso siano presenti camminamenti di ronda sommitali, in quanto la variazione di spessore (riduzione o inspessimento) della sezione muraria della cortina, comporta una variazione delle rigidità e quindi una maggiore vulnerabilità.

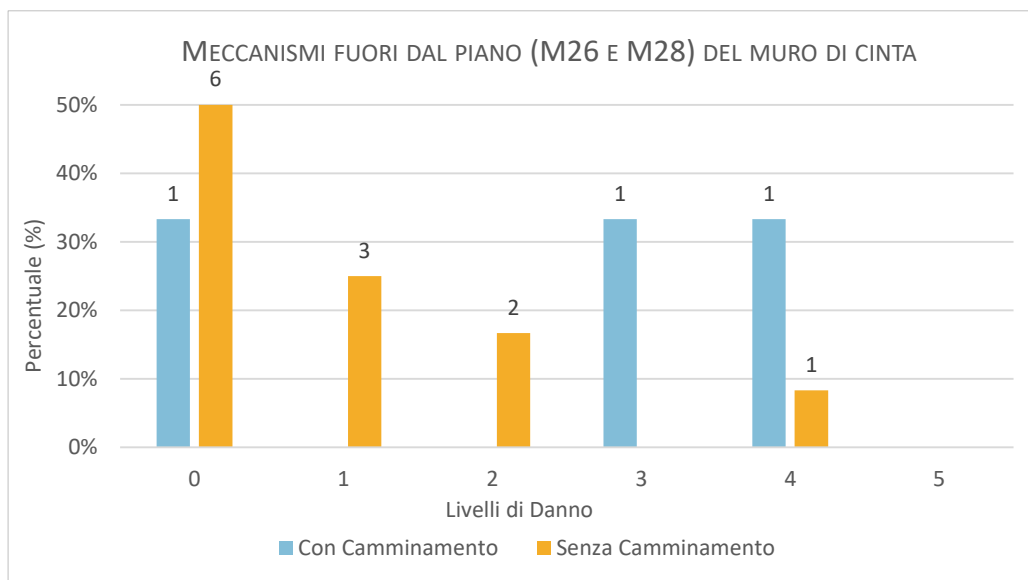


Figura 9 Mura di cinta: correlazione tra meccanismi fuori dal piano e camminamento sommitale.

5.5.2.2 MURA (DANNO DA RIBALTAMENTO) – CON O SENZA FOSSATO

Analogamente sembra che la presenza di fossato possa rendere le mura di cinta più vulnerabili a meccanismi di ribaltamento fuori dal piano, probabilmente perché tende ad aumentare l'altezza di libera inflessione della cortina muraria. Si specifica che sono stati considerati nella categoria "Presenza di Fossato" sia i fossati attualmente esistenti sia quelli oggi coperti, secondo quanto è stato possibile appurare dalle fonti consultate; mentre non è stata operata distinzione tra fossati asciutti o allagati.

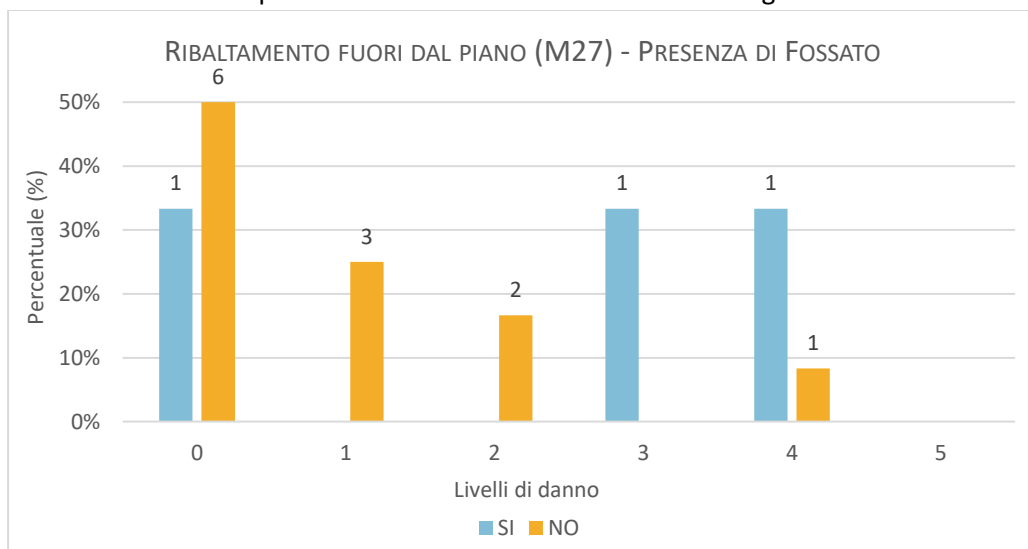


Figura 10 Mura di cinta: correlazione tra meccanismi fuori dal piano e presenza del fossato.

5.5.3 INTERROGAZIONI DI TIPO TABELLARE PER LE TORRI

5.5.3.1 MECCANISMI ATTIVATI E POTENZIALMENTE ATTIVABILI

Analogamente a quanto già descritto per il bene componente mura di cinta, si riportano qui le percentuali dei meccanismi attivati a seguito dello sciame sismico del 2012 e di quelli potenzialmente attivabili per il bene componente Torre. Tra i cinematismi attivatisi con maggiore frequenza annoveriamo il meccanismo di danno agli elementi aggettanti e svettanti M18 e il meccanismo di collassi locali per irregolarità costruttive (M19). La frequenza di attivazione del meccanismo M18 probabilmente è strettamente legata alla vulnerabilità dei suoi macro-elementi. Mentre quella del meccanismo M19 è connessa alla lunga storia di questi manufatti che ha comportato fasi successive di edificazione, funzioni diverse e quindi la necessità di intervenire sull'esistente per adeguarlo alle esigenze moderne, non sempre con il dovuto rispetto della preesistenza. Quindi non di rado si rilevano murature sagomate per far spazio agli impianti, demolizioni e ricostruzioni per l'adattamento a nuove funzioni e così via. Tutte operazioni che inevitabilmente hanno intaccato la resistenza e il comportamento della fabbrica originaria. Frequenti sono anche i meccanismi M30 e M31 che verranno illustrati più dettagliatamente nei prossimi paragrafi.

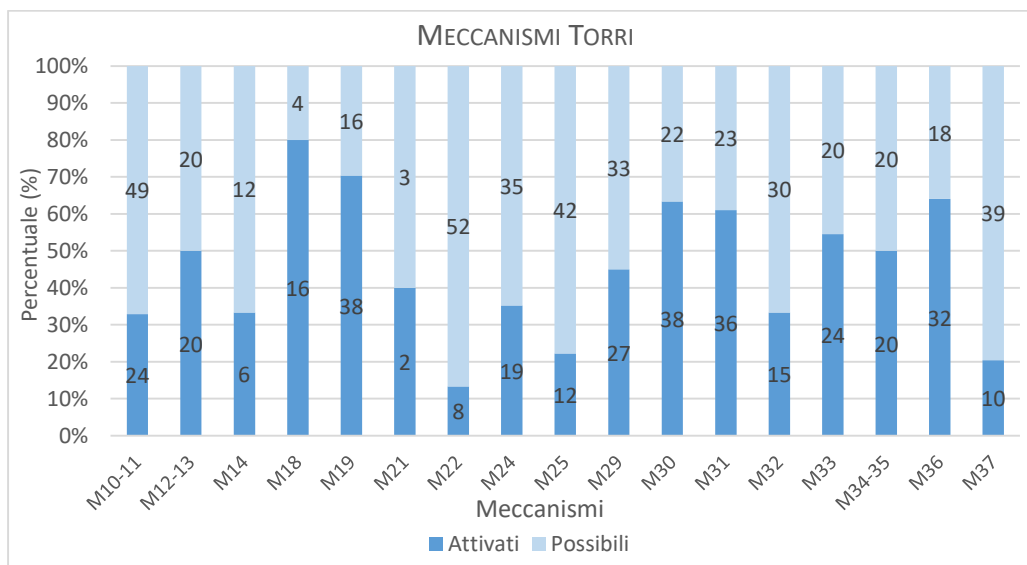


Figura 11 Torri: percentuali dei meccanismi attivati e di quelli potenzialmente attivabili.

5.5.3.2 TIPOLOGIE TORRI

La tipologia castellana emiliana è caratterizzata tipicamente da torri angolari, più la torre portaia d'ingresso al complesso. Poche sono le torri isolate facenti parte di un complesso castellano: il mastio della Rocca di Reggiolo (Reggio Emilia) e il rivellino del Castello di Bentivoglio (Bologna).

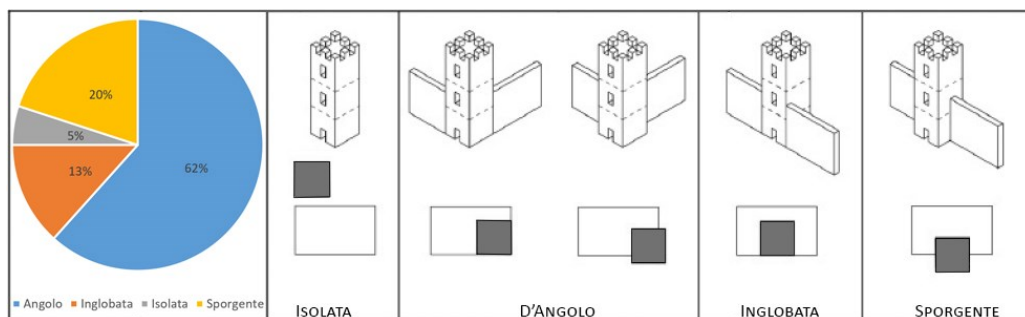


Figura 12 Casistica di disposizione delle torri all'interno di un complesso e relativa percentuale rilevata.

5.5.3.3 CONFRONTO TRA I MECCANISMI DI DANNO ALLE TORRI E LORO POSIZIONE

È stata analizzata la frequenza dei meccanismi di danno M29, M30 e M31, tipici del fusto e della parte sommitale della torre, e posta a confronto con le differenti tipologie di posizione delle torri. L'intenzione è verificare se esiste o meno un legame tra cinematico e disposizione della torre all'interno del complesso e nel caso individuare quali sono le strutture più o meno vulnerabili. Si ricorda tuttavia che la frequenza dei meccanismi M29 e M30 è naturalmente legata anche alla qualità dei collegamenti della torre con le fabbriche adiacenti. In particolare ci si aspetta che il meccanismo M29 ricorra maggiormente nelle torri non adeguatamente connesse. Mentre il meccanismo M30 si verifica tendenzialmente in caso di collegamenti efficaci³².

Meccanismo a flessione della torre (M29): per tale meccanismo le torri isolate risultano non danneggiate; mentre quelle maggiormente vulnerabili sembrano essere le torri sporgenti, seguite da quelle ad angolo. Probabilmente per via del vincolo fortemente asimmetrico alla base che caratterizza in particolar modo le torri sporgenti, e in parte quelle angolari, e che comporta l'insorgenza di tensioni flessione-torsionali. Inoltre va considerata anche una brusca variazione di rigidità nel punto in cui la torre diviene svettante.

³² CATTARI et al. 2014a

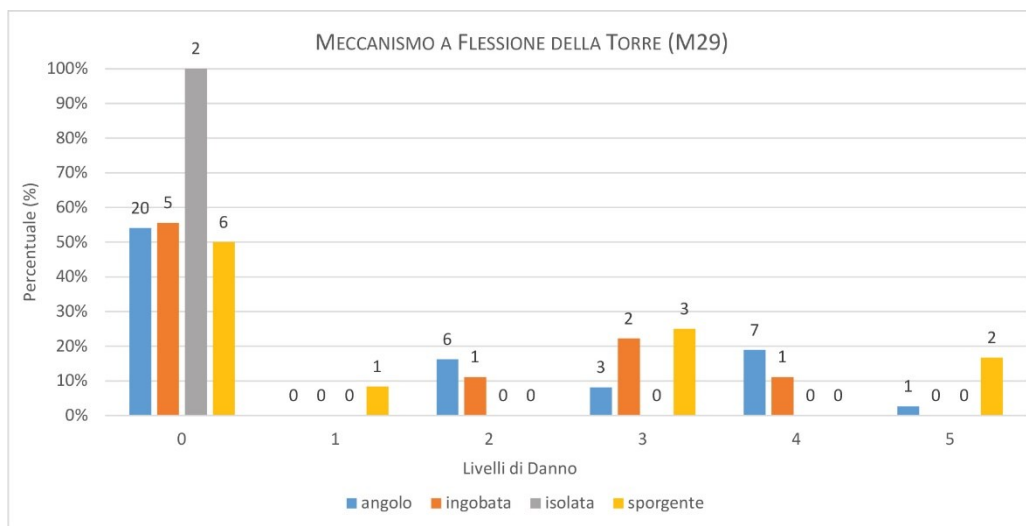


Figura 13 Torri: confronto tra meccanismo M29 e disposizione delle torri.

Meccanismi a taglio e torsionali della torre (M30): anche per tale cinematico le torri isolate non riportano danni. Mentre le torri sporgenti, analogamente al meccanismo M29, presentano un quadro fessurativo più grave (livello 5), le torri ad angolo e inglobate presentano per lo più livelli di danno intermedi. La motivazione è analoga a quella esposta per il meccanismo M29. Per quanto riguarda il mancato danneggiamento delle torri isolate, sia per il meccanismo M29 sia M30, probabilmente è dovuto al fatto che sono libere di oscillare senza incorrere in fenomeni di martellamento con strutture adiacenti, anche se tuttavia i casi di torri isolate, appartenenti a complessi fortificati, censite in questa tesi sono al momento troppo pochi per poter effettuare indagini statistiche significative.

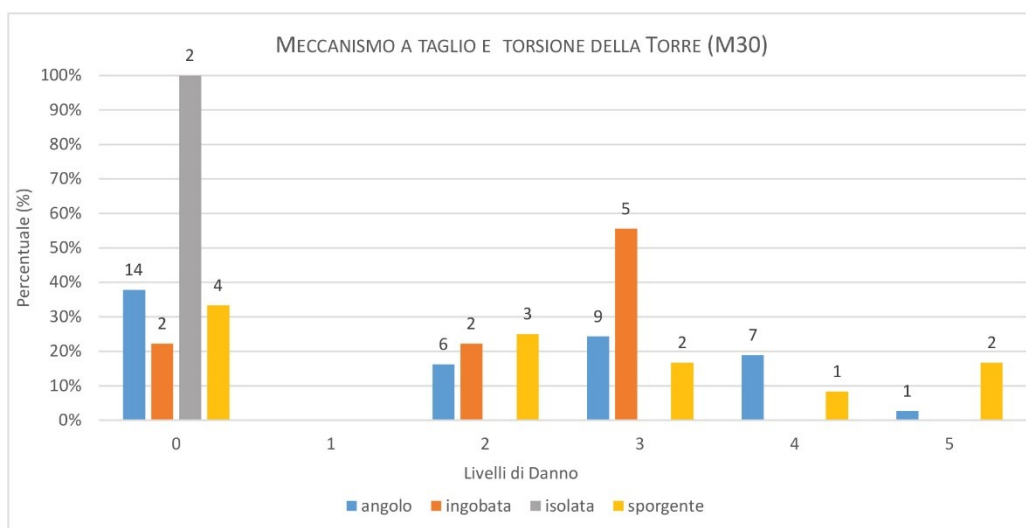


Figura 14 Torri: confronto tra meccanismo M30 e disposizione delle torri.

Meccanismi a taglio nella parte sommitale della torre (M31): dall'analisi di quest'ultimo dei tre meccanismi sono state escluse le torri isolate, in quanto si prende in considerazione la porzione della torre sveltante dai corpi di fabbrica adiacenti. In questo caso le meno danneggiate sembrerebbero essere le torri sporgenti (livello 0), mentre quelle maggiormente dissestate sono torri ad angolo e torri inglobate.

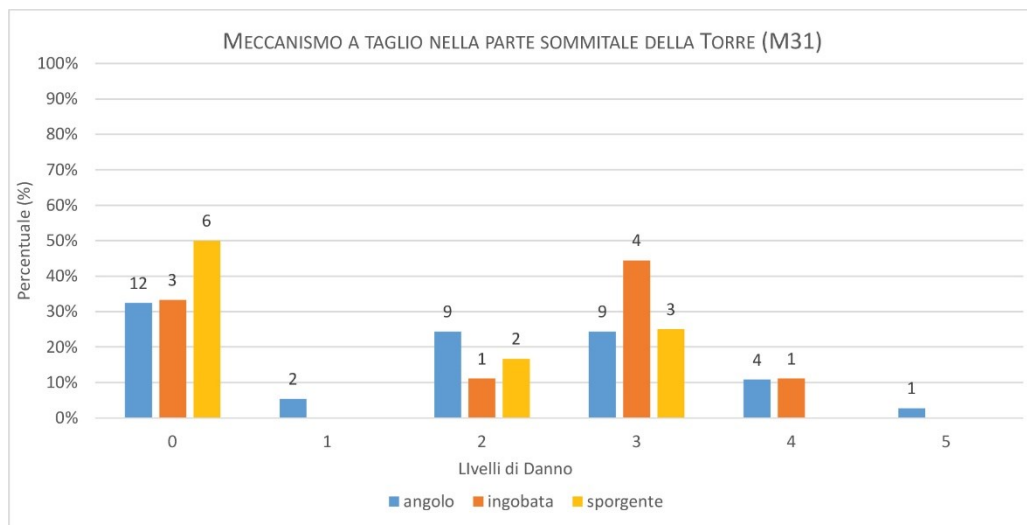


Figura 15 Torri: confronto tra meccanismo M31 e disposizione delle torri.

5.5.3.4 MECCANISMO A FLESSIONE E TORRI PORTAIE

Dalle analisi effettuate emerge che le torri portaie risulterebbero, in percentuale, maggiormente vulnerabili ai meccanismi a flessione. A titolo esemplificativo si ricordi il crollo della torre del castello dei Lambertini a Poggio Renatico, crollata fino alla quota di chiave della volta d'ingresso. Probabilmente la causa di tale vulnerabilità è dovuta in parte all'intrinseca debolezza che la torre portaia presenta nella parte basamentale, dove per due lati è di fatto priva dei muri perimetrali e in parte al fatto che generalmente le torri portaie in Emilia sono sporgenti e la loro disposizione rispetto al resto del complesso, come già detto, le rende vulnerabili al cinematico in questione.

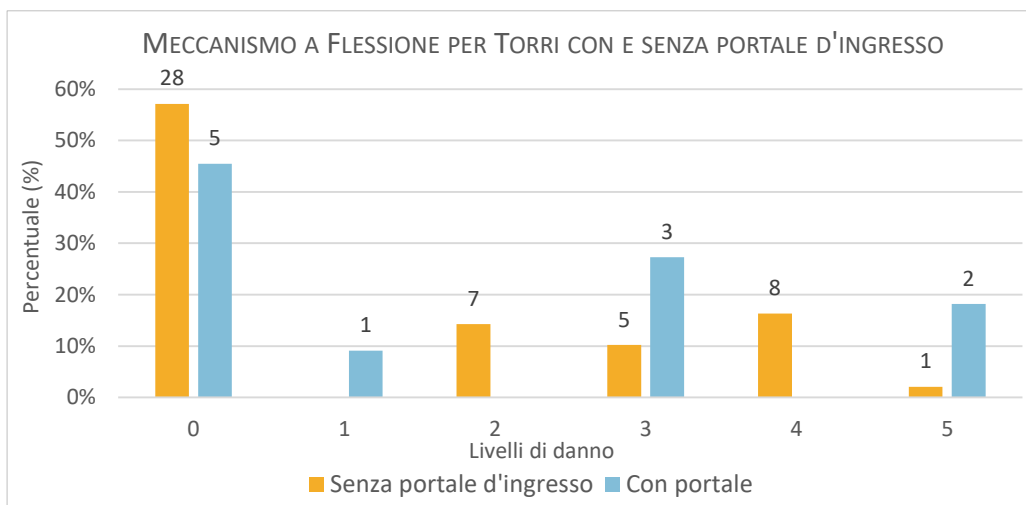


Figura 16 Torri: confronto tra meccanismo M29 e presenza o meno della volta d'ingresso al complesso.

5.5.4 INTERROGAZIONI DI TIPO TABELLARE PER I PALAZZI

5.5.4.1 MECCANISMI ATTIVATI E ATTIVABILI

Analogamente a quanto già descritto per gli altri beni componenti, si riportano qui le percentuali dei meccanismi attivati a seguito degli eventi sismici del 2012 e di quelli potenzialmente attivabili per il bene componente Palazzo. Tra i meccanismi attivatisi con maggiore frequenza, in percentuale, annoveriamo i cinematismi a taglio (M5, M6 e M7), ma anche il meccanismo di danno agli elementi aggettanti e svettanti M18, per le ragioni già illustrate.

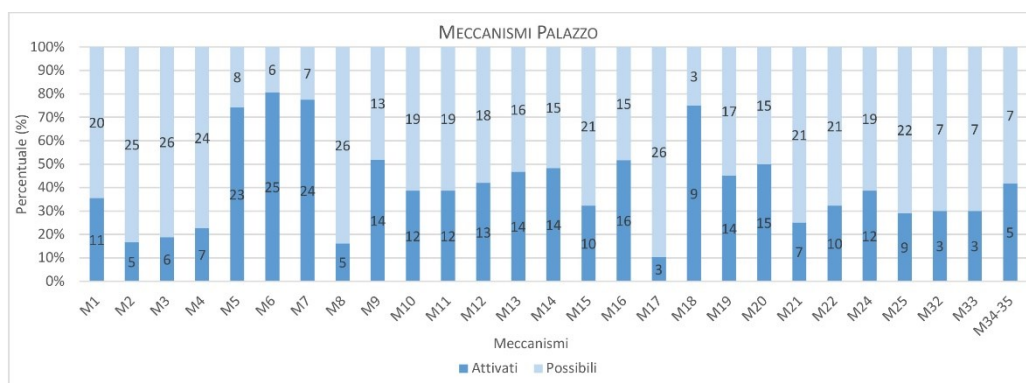


Figura 17 Palazzo: percentuali dei meccanismi attivati e di quelli potenzialmente attivabili.

5.5.5 INTERROGAZIONI DI TIPO TABELLARE PER I MERLI

Le analisi statistiche, e le relative considerazioni, che si riportano di seguito sono relative ai merli appartenenti indistintamente a tutti e tre i beni componenti: mura, torri e palazzi.

5.5.5.1 FORMA E SNELLEZZA

Come gli illustrato dallo stato dell'arte³³ la snellezza del merlo può essere una componente che ne influenza la risposta sismica e quindi il quadro fessurativo. Non sembra emergere invece una particolare correlazione tra insorgenza del meccanismo di danno e forma del merlo (guelfa o ghibellina).

5.5.5.2 CON O SENZA COPERTURA

Come già intuitivamente è possibile immaginare i merli vincolati solo alla base dovrebbero tendenzialmente essere più propensi a manifestare fenomeni di ribaltamento fuori piano (M33), mentre i merli su cui sono disposte delle coperture, e quindi vincolate anche in sommità, tenderanno più facilmente a danneggiarsi a taglio (M32). Attraverso i dati raccolti è stato possibile verificare questa intuizione.

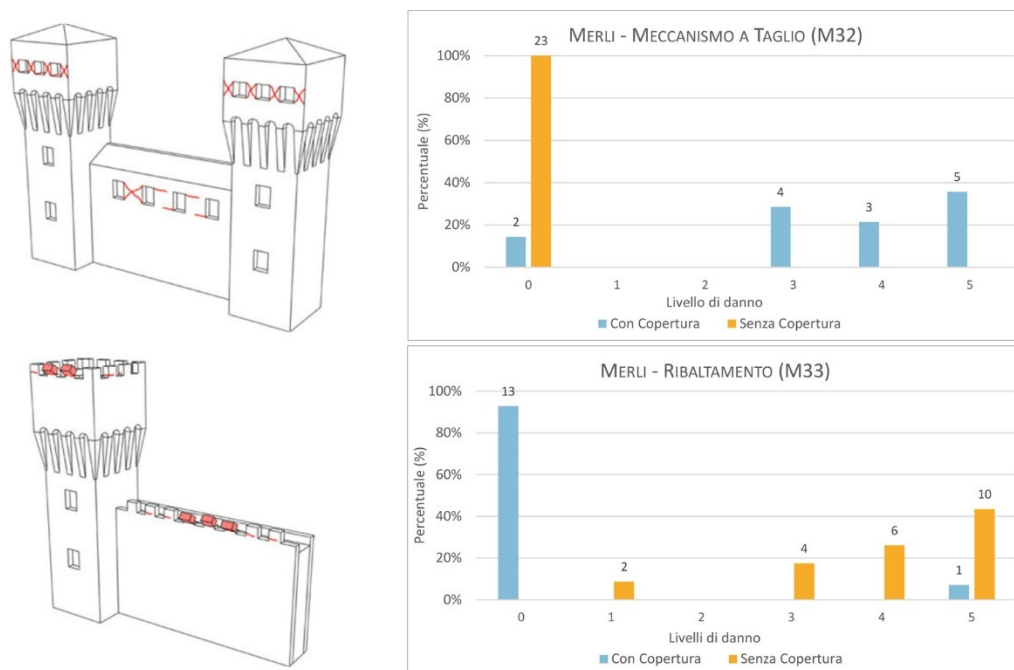


Figura 18 Merli: dal confronto emerge che i merli con copertura tendono a danneggiarsi maggiormente a taglio, mentre quelli svettanti a ribaltamento.

³³ FERRETTI D., COÏSSON E., LENTICCHIA E. 2018, pp. 117-132.

Uniche eccezioni sono il ribaltamento dei merli, con copertura, di una delle torri del castello delle Rocche di Finale Emilia e di uno dei muri di cinta di San Felice sul Panaro, probabilmente dovute a una connessione non adeguata tra l'elemento in muratura e la copertura, che quindi non ha funzionato da vincolo, oppure (soprattutto nel secondo caso) a elementi spingenti in copertura, che non solo non hanno evitato, ma anzi hanno contribuito all'attivazione del meccanismo.



Figura 19 Ribaltamento di merli con copertura: a sinistra il merlo mal collegato con la copertura della Rocca di Finale Emilia, a destra un merlo con copertura spingente della Rocca di San Felice sul Panaro.

5.6 CURVE DI FRAGILITÀ

Dalle analisi appena sopradescritte è stato possibile notare che alcune strutture sono intrinsecamente più vulnerabili di altre a determinati meccanismi di danno sismici. Tuttavia bisognerà anche tenere conto, in questa fase di analisi, anche delle azioni sismiche, a cui queste strutture sono state sottoposte. Per tale ragione, come già descritto, sono state importanti in ambiente GIS le *shakemaps* relative alle scosse del maggio-giugno 2012 con Magnitudo ≥ 5 ; nell'ottica di poter potenzialmente associare a ogni caso di studio i valori massimi di PGA, PSA e PGV. Nelle analisi che seguiranno sono stati in particolare presi in esame alcuni cinematismi ritenuti significativi e confrontati con l'accelerazione di picco al suolo, ossia con i valori di PGA. Infatti nonostante in campo scientifico si sia riscontrato che i valori di PGV approssimano meglio le previsioni dei meccanismi fuori dal piano, attualmente la normativa riporta le accelerazioni attese nelle mappe di pericolosità in termini di PGA, di conseguenza per poter verificare l'applicabilità del metodo su altre zone, non ancora terremotate, si è scelto di usare le accelerazioni in PGA, per tutti i meccanismi indagati. Per associare tali valori di PGA, desunti alle *shakemaps*, con i livelli di danno sono state definite delle curve di fragilità. Queste funzioni rappresentano graficamente il rischio sismico e sono uno strumento ormai ampiamente utilizzato in campo scientifico per la sua valutazione a scala territoriale, sia degli edifici ordinari sia dei beni architettonici. In particolare è possibile costruire empiricamente, ossia tramite analisi statistica dei dati raccolti sul campo,

delle curve di fragilità per specifiche classi tipologiche di edifici. A tal proposito noti sono gli studi di Sergio Lagomarsino³⁴ sulla tipologia chiese, che si presta in maniera particolare ad analisi di tipo statistico, in quanto molto diffusa e con caratteristiche generalmente omogenee.

Nel corso di questa ricerca, per quanto riguarda la tipologia architetture fortificate, si è scelto di procedere definendo le curve di fragilità non per l'interno bene complesso, ma solo per alcuni macro-elementi, metodologia già applicata anche per altri edifici storici in muratura³⁵.

In particolare sono state costruite le curve di fragilità per i macro-elementi *Torre* e *Merlo*, in quanto, non solo caratterizzanti per la tipologia oggetto di studio, ma anche e soprattutto perché si sono rilevati tra i più vulnerabili al sisma. In particolare si è scelto di indagare i seguenti relativi meccanismi di danno, in quanto tipici e ricorrenti: meccanismo a taglio e torsione del fusto della torre (M30), meccanismo a taglio nella parte svettante della torre (M31), meccanismo di ribaltamento fuori dal piano dei merli (M33). Proprio per via della loro ricorrenza, è stato possibile censire un maggior numero di casi e quindi avere a disposizione più dati per i suddetti cinematismi rispetto ad altri³⁶. Per ciascun meccanismo si riportano, nei seguenti grafici, i dati espressi sia secondo la frequenza numerica, ossia per ogni *range* di PGA viene riportato il numero reale di meccanismi attivatisi secondo i relativi livelli di danno, sia secondo la frequenza relativa, ossia per ogni *range* di PGA viene mostrata la percentuale dei livelli di danno.

³⁴ LAGOMARSINO S., CATTARI S., OTTONELLI D. 2021, pp. 3129–3163; LAGOMARSINO S. 2006, pp. 445–463

³⁵ DEL GAUDIO C., DE MARTINO G., DI LUDOVICO M. et al. 2019, pp. 6301–6330; MAROTTA A., LIBERATORE D., SORRENTINO L. 2021, pp. 5609-5641

³⁶ Nello specifico si contano oltre 26 beni componenti, ossia torre, palazzo e mura di cinta, in cui si è attivato il meccanismo a ribaltamento del merlo; 38 torri danneggiate a taglio e torsione del fusto e 36 a taglio nella parte svettante.

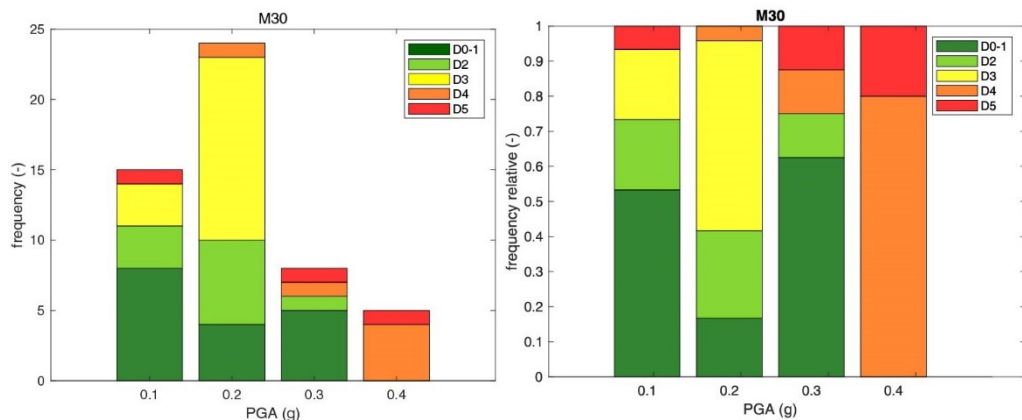


Figura 20 Meccanismo M30: a sinistra grafico con i numeri reali; a destra dati espressi in percentuale.

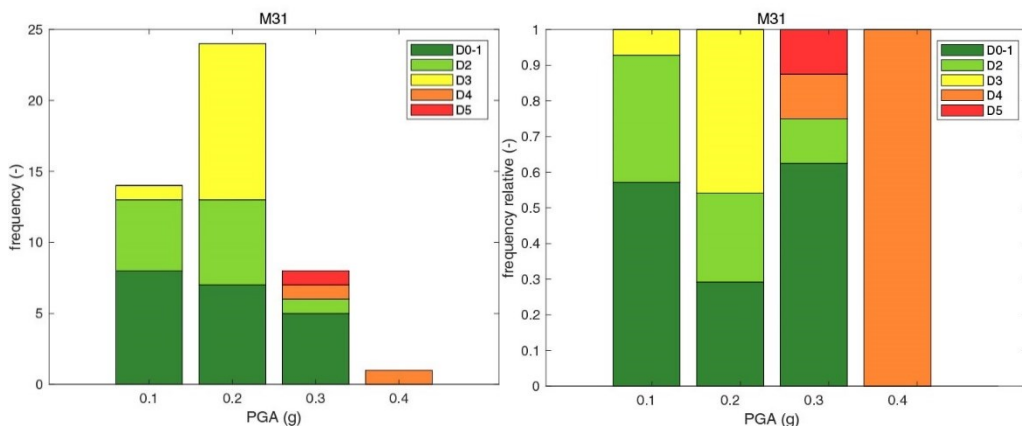


Figura 21 Meccanismo M31: a sinistra grafico con i numeri reali; a destra dati espressi in percentuale.

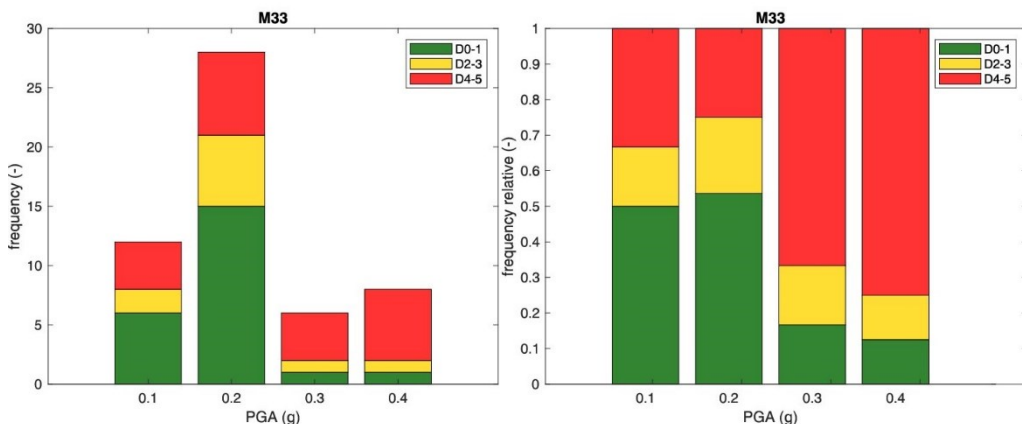


Figura 22 Meccanismo M33: a sinistra grafico con i numeri reali; a destra dati espressi in percentuale.

Dai grafici mostrati è possibile notare come all'aumentare dei valori di PGA le percentuali di livello di danno D0 e D1 (colori verdi) tendano a diminuire, mentre al contrario tendono ad aumentare quelle relative ai livelli più gravi D4 e D5 (colori rosso-arancio). Nel caso del meccanismo M33 è stato necessario accorpate più livelli di danno di modo da avere più dati per ogni classe.

Dai dati così elaborati, è stato possibile tracciare delle curve di fragilità empiriche. Nello specifico le curve di fragilità, illustrate di seguito, sono state definite secondo la funzione (a) con distribuzione log-normale, in quanto studi precedenti³⁷ hanno verificato che è quella che meglio si adatta alla rappresentazione dei dati relativi al danno osservato. Infatti la funzione log-normale descrive valori positivi, compresi tra 0 e 1, quindi appartenenti allo stesso *range* di valori della probabilità di danno³⁸. La funzione utilizzata nello specifico è la seguente:

$$P[DS \geq PGA] = \Phi \left(\frac{\ln(PGA) - \mu}{\beta} \right) \quad (a)$$

Dove Φ è la funzione di distribuzione cumulativa log-normale (CDF), μ è la media logaritmica, parametro che può corrispondere a qualsiasi numero reale e β è la deviazione standard, che deve essere un numero positivo. In particolare i parametri μ e β utilizzati, riportati in Tabella 1, sono stati definiti tramite il metodo della massima verosimiglianza (*MLE: Maximum Likelihood Estimation*), ossia massimizzando la funzione di *likelihood* (b), già studiata e pubblicata³⁹, riportata qui di seguito:

$$\text{Likelihood} = \prod_{j=1}^m \binom{N_j}{n_j} p_j^{n_j} (1 - p_j)^{N_j - n_j} \quad (b)$$

Dove p_j rappresenta la probabilità che si presenti un danno, n_j è il numero di edifici danneggiati e N_j è il numero totale di edifici. Come mostrato in Tabella 1, per ogni curva determinata è stato assunto un parametro μ diverso, mentre costante è il parametro β , onde evitare che le curve si incrocino tra loro, come riportato in Porter 2015⁴⁰.

	μ D2	μ D3	μ D4	μ D5	β
M30	-2.2129	-1.6209	-0.5140	0.1969	1.1211
M31	-1.9282	-1.2045	-0.0007	0.5249	1.0240
M33	-1.8788		-1.2315		1.3078

Tab. 1 Parametri della funzione logaritmica (a) precedentemente illustrata.

³⁷ DEL GAUDIO C., DE MARTINO G., DI LUDOVICO M. et al. 2019, pp. 6315-16

³⁸ Esistono inoltre altri metodi, ugualmente validi, che esprimono le probabilità di danno tramite funzioni esponenziali.

³⁹ BAKER J.W. 2015, pp.579–599

⁴⁰ PORTER K. 2015, pp. 235-260

Di seguito si riportano i grafici relativi alle curve di fragilità stimate per i meccanismi di danno M30, M31 e M33:

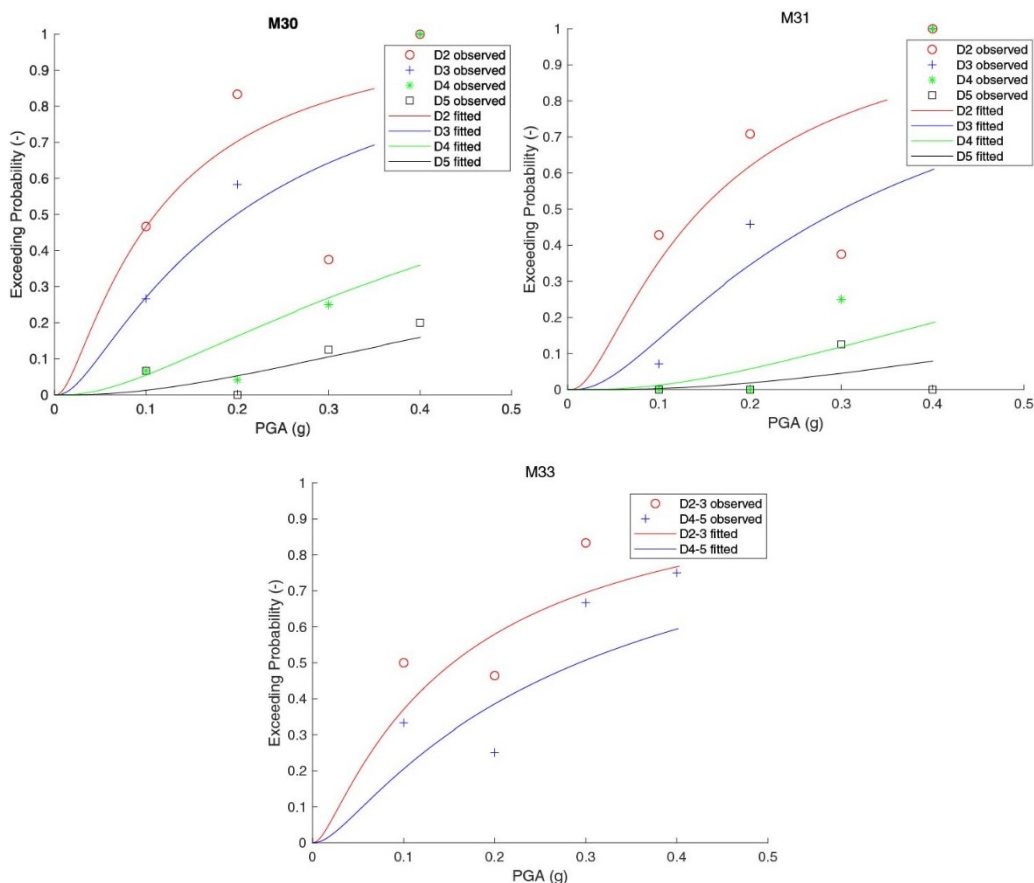


Figura 23 Curve di fragilità log-normali (linee) definite sulla base dei livelli di danno osservati (punti).

Nei grafici rappresentati, lungo l'asse delle ascisse sono riportati i valori di PGA, mentre sull'asse delle ordinate è possibile leggere la gravità del danno espressa in percentuale. Le curve di fragilità stimate, rappresentate contemporaneamente nello stesso grafico, esprimono le probabilità di raggiungimento dei livelli di danno dati, per ciascun macro-elemento, al variare dei valori di PGA, sulla base dei livelli di danno osservati (punti nel grafico). Quindi all'aumentare dei valori di accelerazione, naturalmente aumentano le probabilità che si verifichi un danno elevato. Inoltre per ogni valore di accelerazione la probabilità che si verifichi un danno di livello medio-basso 2 o 3 è sempre maggiore rispetto alla probabilità di insorgenza di un danno di livello grave 4-5. Quindi ad esempio per valori di accelerazioni di 0,1 g la percentuale di crollo delle torri è irrisoria se non nulla, mentre i merli già per tale valore manifestano la probabilità di crollo del 20%, che aumenta fino al 35% per dissesti lievi.

Naturalmente le elaborazioni sopradescritte si prestano a numerosi perfezionamenti. Innanzitutto per il futuro si configura la necessità di reperire più dati a monte, coinvolgendo altri castelli colpiti nel corso di altri eventi sismici, di modo da ampliare la casistica di macro-elementi danneggiati. Infatti maggiore è il numero di dati, migliore è l'attendibilità delle analisi e quindi delle relative previsioni. Inoltre l'accuratezza della previsione di un tipo di danno è inevitabilmente legata alla presenza o meno di elementi che possono influenzarne l'insorgenza, quali ad esempio elementi di trattenuta (catene, cerchiature), quote, caratteristiche geometriche e caratteri costruttivi, alcune dei quali descritti nei paragrafi precedenti. A tal proposito, come già illustrato, per quanto riguarda i merli la copertura costituisce un elemento di vincolo che trattiene il merlo, evitandone il ribaltamento, rendendo però più probabile l'attivazione di meccanismi di taglio nel piano. La presenza o meno di questi elementi, peggiorativi o migliorativi del quadro fessurativo, andrà in futuro inclusa nel calcolo della funzione delle curve, di modo da renderle più accurate.

5.7 APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA PREDITTIVA ALL'AREA DELLA PROVINCIA DI PARMA

Il *Codice del beni culturali* fornisce la seguente definizione di prevenzione: *“complesso delle attività idonee a limitare le situazioni di rischio connesse al bene culturale nel suo contesto”* (comma 3 dell'art. 29). A tal proposito la metodologia predittiva adottata in questa tesi si configura quindi come un insieme di strategie: da una prima fase di conoscenza del singolo manufatto (caratteri costruttivi, vulnerabilità e danni) all'analisi statistica dei dati a scala territoriale, tramite l'ausilio di software GIS, per previsione del rischio, nell'ottica di suggerire le priorità d'intervento.

Di seguito si intende quindi verificare la validità della suddetta metodologia predittiva, adottata nella presente tesi, applicandola ad un'area al di fuori del cratere del 2012, laddove il danno non si è ancora verificato. Nello specifico si intende confrontare i valori di soglia di PGA individuati nel paragrafo precedente con le accelerazioni attese riportate nelle mappe di pericolosità sismica. Infatti tali mappe, prodotte dall'INGV, stimano, per tutto il territorio della nostra penisola, i valori di accelerazioni, in termini di PGA, che potrebbero verosimilmente essere raggiunti in occasione di terremoti futuri (Fig.24). Quindi correlando i dati delle accelerazioni attese, con i dati espressi dalle curve di fragilità, ossia con la probabilità che si verifichi un cinematisimo sulla base delle accelerazioni rilevate, è possibile, tramite la metodologia predittiva applicata ai GIS, individuare i macro-elementi a rischio (in questo caso torri e merli), prima che si manifesti il danno e agire in maniera preventiva, stilando una lista di priorità degli interventi, di modo da indirizzare al meglio le risorse economiche. Altro vantaggio è legato alla possibilità di migliorare la risposta al sisma dei macro-elementi più fragili con

interventi localizzati, nel rispetto dei principi del minimo intervento e di conservazione della materia.

La scelta dell'area di studio è ricaduta sulla Provincia di Parma, da una parte perché si desiderava considerare una zona entro i confini regionali e dall'altra perché le architetture fortificate parmensi hanno caratteristiche costruttive, tipologico-planimetriche e datazioni analoghe a quelle appartenenti dell'area del cratere emiliano. Le architetture fortificate della provincia di Parma sono un totale di 47 (Fig.25), di cui però 17 sono in stato di rovina e quindi non sono idonee per l'applicazione della metodologia, in quanto risulta impossibile identificare i macro-elementi tipici. I beni considerati sono perciò un totale di 30. Relativamente ad essi è stata definita una nuova *feature class*, inserita in ambiente GIS, nella cui tabella attributi⁴¹ sono stati censiti i macro-elementi presenti o meno per ogni castello. Una volta geo-localizzati i casi studio parmensi, è stato possibile associargli i valori di accelerazione attesi, espressi in PGA, dedotti dalla mappa di pericolosità sismica.

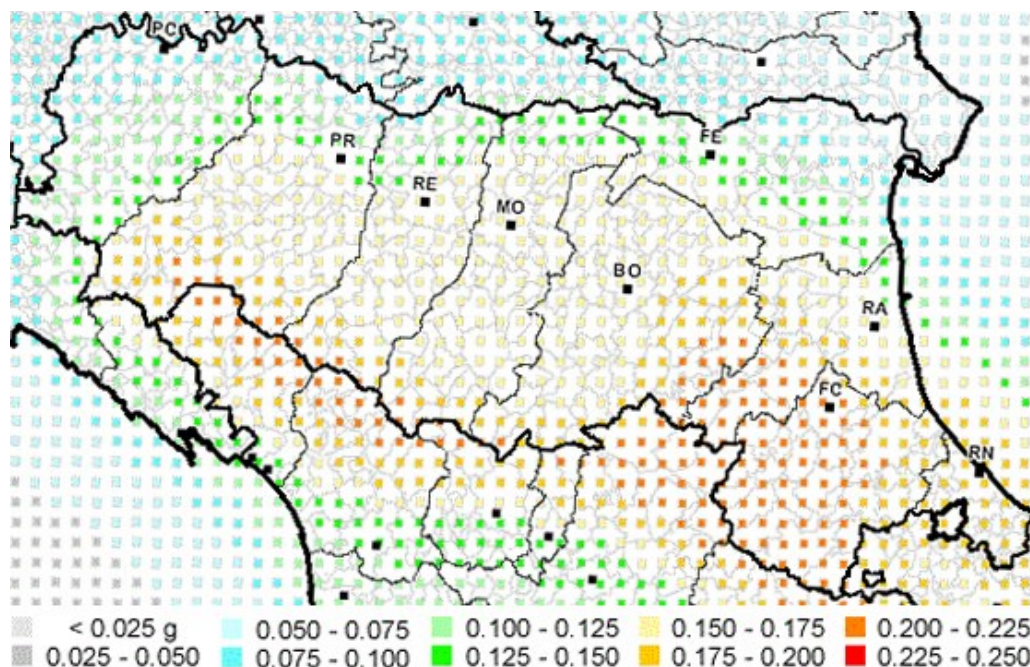


Figura 24 Mappa di pericolosità sismica, prodotta dell'INGV, con i valori espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli rigidi (Fonte: MPS04, Griglia: 0.005°).

In particolare è stata utilizzata la mappa con i valori espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli rigidi (Fig.24), a cui si fa riferimento anche nell'Ordinanza del P.C.M. del 28/04/ 2006 n°3519.

⁴¹ La tabella attributi dei castelli parmensi è consultabile in allegato alla presente tesi.

Tale mappa tematica, prodotta dall'INGV, è scaricabile dal relativo sito⁴² in formato Excel o file di testo, in cui sono contenute le informazioni relative alle coordinate della maglia di punti regolari. A ciascun punto è associato un valore di accelerazione. È quindi stato caricato in ambiente GIS i file di testo e sono stati interpolati i relativi punti della maglia, di modo da ottenere un file *raster* relativo alla distribuzione della accelerazioni sul territorio della Provincia di Parma (Fig. 25). Tale procedura ha permesso di associare a ciascun castello il valore di accelerazione atteso.

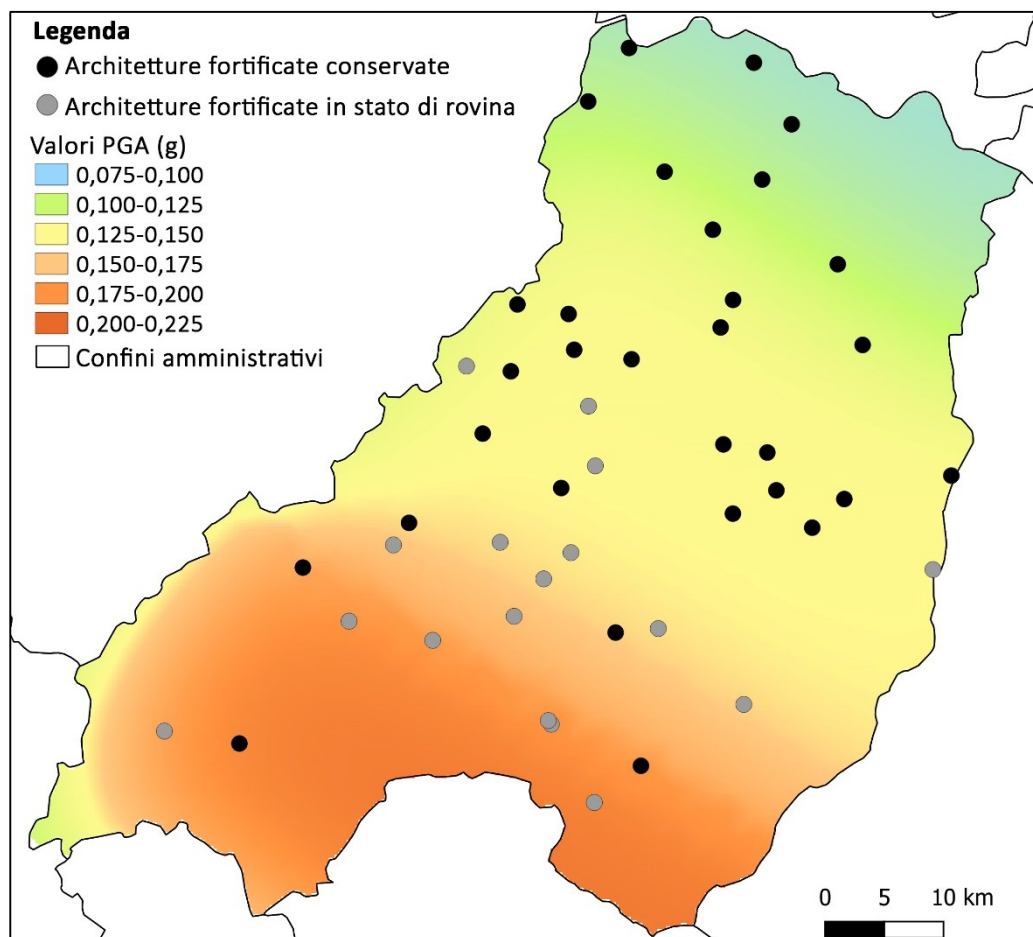


Figura 25 Mappa di pericolosità sismica della Provincia di Parma e localizzazione delle architetture fortificate. Quelle in stato di rovina non verranno prese in esame nella presente tesi.

Applicando quindi la funzione di distribuzione log-normale cumulativa, che descrive le curve di fragilità precedentemente illustrate, è stato possibile ricavare le probabilità

⁴² http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/consultazione_005.html (consultato in data 09 Dicembre 2021).

che i meccanismi M30, M31 e M33 si verifichino nella provincia di Parma (Tab. 2 e 3)⁴³. Inoltre si ricorda che determinate caratteristiche costruttive di torri e merli determinano una maggior probabilità che il cinematisimo indagato si verifichi. Ad esempio, come già illustrato, è stato possibile notare che le torre sporgenti sono più vulnerabili al meccanismo M30 rispetto alle altre, a seguire quelle ad angolo e quelle inglobate, fino a quelle isolate che risultano meno danneggiate. Mentre per il meccanismo M31, che non considera le isolate, si ricorda che le maggiormente danneggiate sono le inglobate e a seguire le angolari e sporgenti. Il meccanismo M33 si attiva invece con più frequenza nei merli sveltanti, cioè privi di copertura.

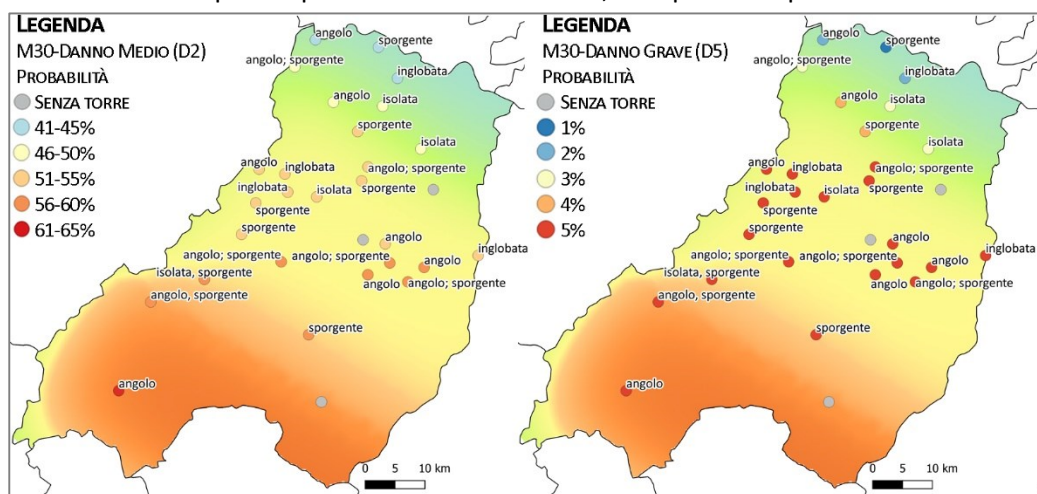


Figura 26 Mappa tematica del meccanismo M30. In scala di colori le probabilità che si verifichi un danno medio (a sinistra) o grave (a destra), secondo quanto riportato nella tabella 2a. In grigio i castelli privi di torri. Le etichette riportano la disposizione delle torri rispetto agli altri corpi di fabbrica.

codice	nome	comune	PGA (g)	N.Torri	Disposizione_torri	D2	D3	D4	D5
034030_1	Castello	ROCCABIANCA	0,0894	1	sporgente	43%	24%	4%	1%
034034_1	Rocca	SISSA TRECASALI	0,0967	1	inglobata	46%	26%	5%	1%
034029_1	Avanzi della Rocca	POLESINE ZIBELLO	0,0982	2	angolo	46%	27%	5%	1%
034007_4	Castello e Torre dell'Orologio	BUSSETO	0,1160	4	angolo; sporgente	52%	32%	7%	2%
034033_04	Rocca dei Rossi	SAN SECONDO PARMENSE	0,1163	1	isolata	52%	32%	7%	2%
034027_84	Torrione di Baganzola	PARMA	0,1268	1	isolata	55%	35%	8%	2%
034036_01	Castello Meli - Lupi	SORAGNA	0,1310	4	angolo	56%	36%	9%	2%
034015_2	Rocca Sanvitale	FONTANELLATO	0,1394	1	sporgente	59%	38%	10%	3%
034025_4	Rocca di Castelguelfo	NOCETO	0,1488	4	angolo; sporgente	61%	40%	11%	3%
034032_3	Castello di Scipione	SALSOMAGGIORE TERME	0,1507	1	angolo	61%	40%	11%	3%

⁴³ I dati relativi alle accelerazioni, che sono stati pesi in considerazione in queste analisi, non hanno tenuto conto dei parametri legati al tipo di suolo che, soprattutto nelle zone montuose, possono amplificare le accelerazioni di sito attese. Tali parametri andranno certamente contemplati in future elaborazioni.

PARTE II STRUMENTI

034025_3	Castello	NOCETO	0,1523	1	sporgente	62%	41%	11%	3%
034032_2	Castello di Bargone	SALSOMAGGIORE TERME	0,1539	1	inglobata	62%	41%	11%	3%
034032_6	Castello di Gallinella	SALSOMAGGIORE TERME	0,1542	1	sporgente	62%	41%	11%	3%
034032_4	Castello di Tabiano	SALSOMAGGIORE TERME	0,1551	1	inglobata	62%	41%	11%	3%
034023_01	Castello	MONTECHIARUGOLO	0,1553	1	inglobata	62%	41%	11%	3%
034025_1	Castello di Costamezzana	NOCETO	0,1554	1	isolata	62%	42%	11%	3%
034028_3	Castello di Careno	PELEGRINO PARMENSE	0,1560	1	sporgente	62%	42%	12%	3%
034031_5a	Rocca di S. Lorenzo	SALA BAGANZA	0,1561	1	angolo	62%	42%	12%	3%
034027_126	Rocca di Panocchia	PARMA	0,1565	2	angolo	63%	42%	12%	3%
034013_3	Castello di Felino	FELINO	0,1565	3	angolo; sporgente	63%	42%	12%	3%
034018_3	Castello di Torrechiara	LANGHIRANO	0,1568	6	angolo; sporgente	63%	42%	12%	3%
034031_10	Rocca di San Vitale Baganza	SALA BAGANZA	0,1569	1	angolo	63%	42%	12%	3%
034045_01	Castello	VARANO DE' MELEGARI	0,1577	4	angolo; sporgente	63%	42%	12%	3%
034046_01	Castello di Varsi	VARSÌ	0,1617	2	isolata, sporgente	64%	43%	12%	4%
034008_2	Castello di Ravarano	CALESTANO	0,1630	1	sporgente	64%	43%	12%	4%
034002_1	Rocca di Bardi	BARDI	0,1805	3	angolo, sporgente	67%	47%	14%	4%
034011_1	Castello di Compiano	COMPIANO	0,1967	4	angolo	70%	50%	16%	5%

Tab2a relativa alla probabilità che si verifichi il danno M30 per i castelli parmensi che presentano torri. In rosso le percentuali relative ai castelli con torri sporgenti, più vulnerabili a questo meccanismo.

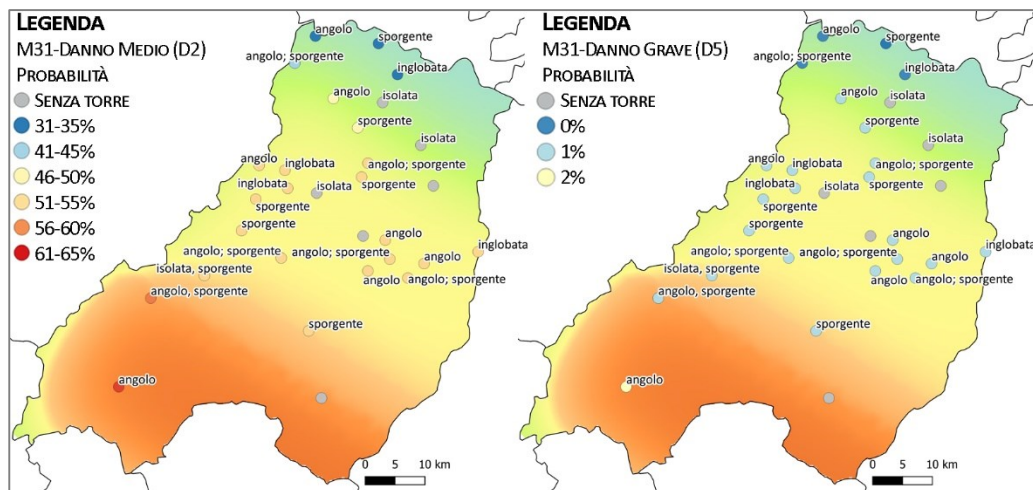


Figura 27 Mappa tematica del meccanismo M31. In scala di colori le probabilità che si verifichi un danno medio (a sinistra) o grave (a destra), secondo quanto riportato nella tabella 2b. In grigio i castelli privi di torri. Le etichette riportano la disposizione delle torri rispetto agli altri corpi di fabbrica.

UN GEODATABASE GIS PER LA PREVENZIONE DEL RISCHIO SISMICO A SCALA TERRITORIALE

codice	nome	comune	PGA (g)	N.Torri	Disposizione_torri	D2	D3	D4	D5
034030_1	Castello	ROCCABIANCA	0,0894	1	sporgente	32%	12%	1%	0%
034034_1	Rocca	SISSA TRECASALI	0,0967	1	inglobata	35%	13%	1%	0%
034029_1	Avanzi della Rocca	POLESINE ZIBELLO	0,0982	2	angolo	35%	14%	1%	0%
034007_4	Castello e Torre dell'Orologio	BUSSETO	0,1160	4	angolo; sporgente	41%	18%	2%	0%
034036_01	Castello Meli - Lupi	SORAGNA	0,1310	4	angolo	46%	21%	2%	1%
034015_2	Rocca Sanvitale	FONTANELLATO	0,1394	1	sporgente	48%	23%	3%	1%
034025_4	Rocca di Castelguelfo	NOCETO	0,1488	4	angolo; sporgente	51%	25%	3%	1%
034032_3	Castello di Scipione	SALSOMAGGIORE TERME	0,1507	1	angolo	51%	25%	3%	1%
034025_3	Castello	NOCETO	0,1523	1	sporgente	52%	25%	3%	1%
034032_2	Castello di Bargone	SALSOMAGGIORE TERME	0,1539	1	inglobata	52%	26%	3%	1%
034032_6	Castello di Gallinella	SALSOMAGGIORE TERME	0,1542	1	sporgente	52%	26%	3%	1%
034032_4	Castello di Tabiano	SALSOMAGGIORE TERME	0,1551	1	inglobata	53%	26%	3%	1%
034023_01	Castello	MONTECHIARUGOLO	0,1553	1	inglobata	53%	26%	3%	1%
034028_3	Castello di Careno	PELLEGRINO PARMENSE	0,1560	1	sporgente	53%	26%	3%	1%
034031_5a	Rocca di S. Lorenzo	SALA BAGANZA	0,1561	1	angolo	53%	26%	3%	1%
034027_126	Rocca di Panocchia	PARMA	0,1565	2	angolo	53%	26%	4%	1%
034013_3	Castello di Felino	FELINO	0,1565	3	angolo; sporgente	53%	26%	4%	1%
034018_3	Castello di Torrechiara	LANGHIRANO	0,1568	6	angolo; sporgente	53%	26%	4%	1%
034031_10	Rocca di San Vitale Baganza	SALA BAGANZA	0,1569	1	angolo	53%	26%	4%	1%
034045_01	Castello	VARANO DE' MELEGARI	0,1577	4	angolo; sporgente	53%	27%	4%	1%
034046_01	Castello di Varsi	VARSÌ	0,1617	2	isolata, sporgente	54%	27%	4%	1%
034008_2	Castello di Ravarano	CALESTANO	0,1630	1	sporgente	54%	28%	4%	1%
034002_1	Rocca di Bardi	BARDI	0,1805	3	angolo, sporgente	58%	31%	5%	1%
034011_1	Castello di Compiano	COMPIANO	0,1967	4	angolo	62%	34%	6%	2%

Tab2a relativa alla probabilità che si verifichi il danno M31 per i castelli parmensi che presentano torri. In rosso le percentuali relative ai castelli con torri inglobate, più vulnerabili a questo meccanismo.

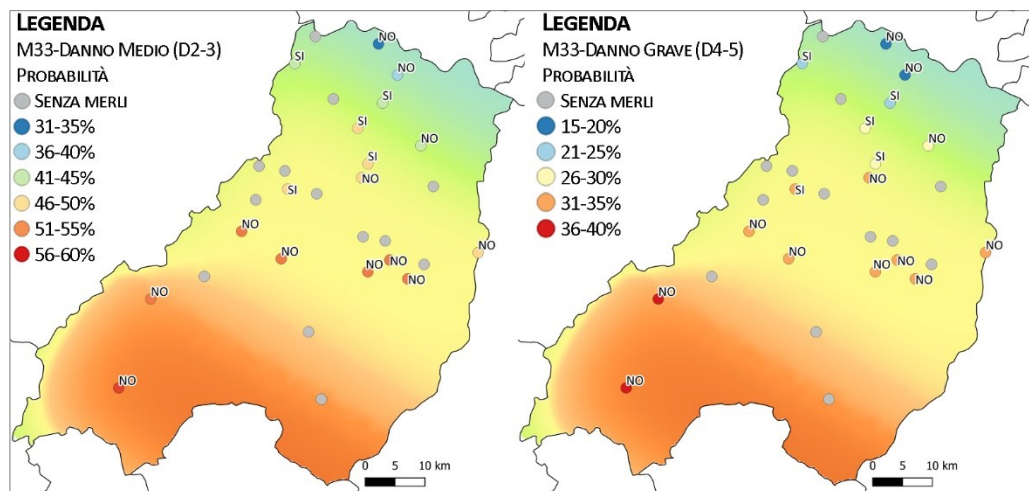


Figura 28 Mappa tematica del meccanismo M33. In scala di colori le probabilità che si verifichi un danno medio (a sinistra) o grave (a destra), secondo quanto riportato nella tabella che segue. In grigio i castelli privi di merli. Le etichette riportano se i merli sono svettanti (SI) o se vincolati da una copertura (NO).

codice	nome	comune	PGA (g)	Merli_svettanti	D2-3	D4-5
034030_1	Castello	ROCCABIANCA	0,0894	NO	34%	18%
034034_1	Rocca	SISSA TRECASALI	0,0967	NO	36%	20%
034007_4	Castello e Torre dell'Orologio	BUSSETO	0,1160	SI	42%	24%
034033_04	Rocca dei Rossi	SAN SECONDO PARMENSE	0,1163	SI	42%	24%
034027_84	Torrione di Baganzola	PARMA	0,1268	NO	44%	26%
034015_2	Rocca Sanvitale	FONTANELLATO	0,1394	SI	47%	29%
034025_4	Rocca di Castelguelfo	NOCETO	0,1488	SI	49%	30%
034025_3	Castello	NOCETO	0,1523	NO	50%	31%
034032_4	Castello di Tabiano	SALSOMAGGIORE TERME	0,1551	SI	50%	31%
034023_01	Castello	MONTECHIARUGOLO	0,1553	NO	50%	31%
034028_3	Castello di Careno	PELLEGRINO PARMENSE	0,1560	NO	51%	32%
034013_3	Castello di Felino	FELINO	0,1565	NO	51%	32%
034018_3	Castello di Torrechiara	LANGHIRANO	0,1568	NO	51%	32%
034031_10	Rocca di San Vitale Baganza	SALA BAGANZA	0,1569	NO	51%	32%
034045_01	Castello	VARANO DE' MELEGARI	0,1577	NO	51%	32%
034002_1	Rocca di Bardi	BARDI	0,1805	NO	55%	36%
034011_1	Castello di Compiano	COMPIANO	0,1967	NO	58%	38%

Tab. 3 relativa alla probabilità che si verifichi il danno M33 per i castelli parmensi che presentano merli. In rosso le percentuali relative ai merli svettanti e in giallo a quelli non svettanti.

Dai dati analizzati emergono alcune considerazioni. Come era intuibile i macroelementi a maggior rischio si collocano nei comuni della fascia appenninica (Fig. 26, 27, 28), a Sud della Provincia, dove cioè le accelerazioni attese sono maggiori. Nello

specifico, le probabilità che la porzione svettante della torre crolli (D5) o si danneggi al limite del crollo (D4), a causa di meccanismi di taglio (M31), nell'area della Provincia di Parma, sono decisamente contenute; mentre si assestano intorno al 50% per dissesti lievi, che pur comportando spese onerose, non mettono in pericolo la vita umana. In particolare, tra i beni con le stesse accelerazioni attese, sarebbe ragionevole concentrare in futuro eventuali interventi a prevenzione del rischio per le torri inglobate, più vulnerabili a questo meccanismo (evidenziate in rosso). Tra queste in particolare le torri dei castelli di Gallinella e di Scipione a Salsomaggiore Terme e di Montechiarugolo. Maggiori invece sembrano essere le probabilità che si verifichino danni gravi (D4-D5) a taglio e torsione nel fusto della torre (M30). In particolare tra i beni con stessa accelerazione attesa, sarebbe consigliabile dare priorità a quelli che presentano torri sporgenti, in quanto più vulnerabili. Decisamente alte paiono le probabilità che si attivino i cinematismi di ribaltamento dei merli. Infatti per 10 beni su 17 la probabilità che tale meccanismo si manifesti in forma moderata (D2-D3) è di circa o oltre il 50% e di oltre il 30% in forma grave (D4-D5). Tuttavia, come è stato illustrato nei paragrafi precedenti, nonostante le accelerazioni consentirebbero l'attivazione del meccanismo, è stato constatato che l'eventualità che un merlo vincolato in sommità dalla copertura ribalti è rara; di conseguenza dovrebbero avere maggiore priorità, in caso di interventi preventivi, i merli svettanti, privi di copertura. Nello specifico, in ordine di priorità, i merli di: Castello di Tabiano a Salsomaggiore Terme, Rocca di Castelguelfo a Noceto, Rocca San Vitale di Fontanellato e Rocca dei Rossi a san Secondo Parmense, il Castello di Busseto.

La metodologia predittiva illustrata si inserisce quindi nel filone della più ampia tematica della *conservazione programmata*, espressione utilizzata da Giovanni Urbani⁴⁴ e risignificata da Stefano Della Torre nel 1999⁴⁵. Infatti il concetto di conservazione programmata racchiude sia interventi su scala territoriale per la gestione e la previsione del rischio, sia a scala dell'edificio (interventi diretti) per mitigarne le vulnerabilità, traducendosi quindi in una strategia globale. In particolare la conservazione programmata pone l'accento sulla pianificazione nel lungo periodo, a scala territoriale e sul concetto di rischio. In questa tesi naturalmente il rischio preso in considerazione è quello sismico, nonostante ne esistano numerosi altri come illustrato nel paragrafo relativo alla Carta del Rischio.

In tale ottica quindi ai fini della tutela dei numerosi beni architettonici, e in questo caso in particolare delle architetture fortificate, occorre un cambio di mentalità sostituendo l'approccio episodico, e volte emergenziale, al Restauro con una logica processuale che contempi sia la programmazione degli interventi e della manutenzione dell'edificio,

⁴⁴ URBANI G. 2000; DELLA TORRE S. 2021, pp. 108-116.

⁴⁵ DELLA TORRE S. 1999, pp. 71-80.

individuando strategie preventive, sia azioni di mitigazione nel contesto. Queste ultime forse più applicabili su altri tipi di rischio, rispetto all'evento sismico. Tuttavia un'ottima strategia in questo senso sarebbe cercare di sensibilizzare l'opinione pubblica sul tema del rischio sismico. La cultura della prevenzione inoltre porta con sé numerosi vantaggi, non soltanto legati alla conservazione del bene, ma anche economici e sociali. Infatti la programmazione degli interventi, stilata sulla base di priorità fornite tramite analisi statistiche sui beni a larga scala (come nel caso del database illustrato in questa tesi), consentirebbe una migliore gestione delle risorse finanziarie. In particolare, nel caso della presente tesi, i fondi disponibili potrebbero essere indirizzati in maniera molto puntuale verso l'intervento su determinati macro-elementi, rivelatisi a rischio in caso di sisma. Senza contare che evitare il crollo di porzioni del fabbricato, in caso di terremoto, avrebbe risvolti positivi anche in termini di salvaguardia della vita umana⁴⁶

⁴⁶ DELLA TORRE S. 2010, pp. 67-76

CONCLUSIONI

5.8 RISULTATI OTTENUTI

La presente tesi ha assunto le architetture fortificate come esempio paradigmatico della vulnerabilità al sisma del patrimonio costruito in muratura, che tuttavia tende a danneggiarsi secondo dei meccanismi tipici e ricorrenti e quindi potenzialmente prevedibili e soprattutto prevenibili.

Il lavoro di ricerca si è quindi articolato secondo due polarità complementari: da una parte, data l'inevitabilità degli eventi tellurici, si è cercato di formulare una possibile proposta per strumenti da adottare per il *tempo di guerra*, ossia per una migliore gestione della fase di rilievo emergenziale ai beni culturali; dall'altra è stato progettato uno strumento predittivo per l'individuazione a scala territoriale delle vulnerabilità, di modo da operare in *tempo di pace* in un'ottica preventiva del rischio sismico sui beni culturali.

Nello specifico, per quanto riguarda il rilievo speditivo, sulla base delle difficoltà riscontrate nell'adozione della Scheda Palazzi (Modello B-DP) per la tipologia in esame, è stata definita una scheda di rilievo del danno *ad hoc* per le architetture fortificate, corredata da uno specifico abaco e da un manuale per la sua compilazione. Tuttavia si ritiene che il valore di tali strumenti non si esaurisca solo alla fase emergenziale.

L'abaco dei meccanismi ricorrenti per le architetture fortificate, definito sulla base dell'analisi dei caratteri costruttivi dei macro-elementi tipici, dello studio del materiale d'archivio e sull'esperienza empirica maturata a valle degli eventi sismici recenti dalla letteratura scientifica, può essere un valido strumento non solo per il riconoscimento in fase emergenziale dei meccanismi attivati, ma anche per la conoscenza delle vulnerabilità tipiche della tipologia studiata.

Analogamente la scheda di rilievo del danno, oltre a permettere potenzialmente un più agevole e corretto rilievo dei complessi fortificati, suddividendoli nei loro beni componenti principali, può essere utilizzata in tempo di pace (almeno per quanto riguarda la sezione anagrafica), come strumento per la catalogazione delle principali informazioni relative a queste strutture, di modo che tali dati possano essere organizzati secondo una metodologia univoca, aiutando lo studio di questa tipologia e rendendoli immediatamente disponibili in caso di evento calamitoso. Inoltre il fatto di suddividere, anche negli strumenti schedografici, il bene complesso nei tre beni componenti (Mura di cinta, Palazzo, Torre), ha permesso di graduare più efficacemente l'effettivo stato di danno del bene, definendo così indici di danno più realistici. L'elaborazione di un indice di danno il più possibile verosimile, cioè che rispecchi la reale gravità del quadro fessurativo, ha consentito di elaborare un possibile metodo di

calcolo di valutazioni economiche più realistiche, fondamentali nell'ottica di una migliore e più celere gestione delle risorse economiche.

Sulla base dei dati elaborati tramite la suddetta scheda, è stato progettato un geodatabase GIS che ha permesso l'identificazione, tramite analisi statistiche e georeferenziate, di alcune vulnerabilità tipiche a scala territoriale. Nello specifico è stato possibile far emergere alcune correlazioni tra le caratteristiche costruttive e l'insorgenza di meccanismi di dissesto. Il database GIS, progettato sulla base dei dati prodotti e raccolti a seguito del terremoto del 2012, diviene quindi un possibile strumento per l'ottimizzazione dei processi di gestione del patrimonio e per la definizione di strategie e priorità d'intervento per la mitigazione del rischio sismico.

Vera e propria chiave di svolta dalla conoscenza alla previsione è costituita dalle curve di fragilità, sviluppate sulla base dei dati precedentemente elaborati con il *software* ArcGIS. In particolare le curve di fragilità hanno premesso di correlare i livelli di danno di determinati meccanismi con valori di accelerazione in termini di PGA, ricavati dalla *shakemaps* prodotte dall'INGV. Tale metodologia predittiva ha consentito di determinare le probabilità di attivazione di alcuni meccanismi tipici, e relativa gravità, per dati valori di accelerazione. Infine tale metodologia predittiva è stata applicata all'area della Provincia di Parma, al di fuori del cratere sismico, così da individuare le vulnerabilità presenti sul territorio e suggerire quali beni, rispetto ad altri, debbano avere la priorità di intervento, in quanto maggiormente a rischio. Tale metodologia ha quindi potenzialmente il doppio vantaggio di ottimizzare la gestione delle risorse economiche, spesso limitate, e di consentire la tutela del patrimonio costituito evitando di operare nell'emergenza e puntando invece all'applicazione delle strategie della conservazione programmata.

5.9 PROSPETTIVE FUTURE

Gli strumenti schedografici proposti nella presente tesi, e il relativo abaco, si basano principalmente sull'osservazione dei meccanismi avvenuti a seguito del sisma del 2012 nella relativa area di cratere, in cui le architetture fortificate presentano caratteristiche tipologiche e morfologiche, caratteri costruttivi e materiali definiti. Per cercare quindi di definire un abaco e una scheda il più completi possibile, è stato allargato lo sguardo anche ai complessi fortificati danneggiati in Centro Italia nel 2016 e in Albania nel 2019, che presentano materiali e strutture planimetriche in parte differenti. Tuttavia, anche alla luce del fatto che la tipologia oggetto di studio tende a variare notevolmente in base all'area geografica e al periodo cronologico, per le necessità di adeguamento alle tecniche ossidionali, in futuro si potrebbe ampliare ulteriormente il campione di fortificazioni esaminato, nell'ottica di verificare l'eventuale insorgenza di cinematismi ricorrenti non ancora catalogati.

Naturalmente è doveroso precisare che la validità effettiva di tali strumenti per il rilievo speditivo andrà testata sul campo, come d'altra parte già accaduto per le schede relative alla tipologia chiese e palazzi, validate terremoto dopo terremoto.

Tra le questioni aperte è senz'altro necessario prevedere la digitalizzazione delle schede di rilievo del danno, cioè la progettazione di un'applicazione per consentirne la compilazione tramite *device*. Tale informatizzazione potrebbe avere un duplice vantaggio nell'immediato della fase emergenziale: una trasmissione in tempo reale dei dati rilevati agli uffici preposti; guidare il rilevatore nella stesura della scheda evitando errori o dimenticanze, tipici della compilazione manuale. Inoltre il passaggio dalla copia cartacea a quella digitale consentirebbe, in fase post-sisma, di attingere ai dati rilevati in maniera più rapida e quindi di utilizzarli per le analisi statiche e altri studi scientifici in futuro.

Il geo-database progettato nel corso di questa ricerca si presta a possibili implementazioni. Innanzitutto sarà in futuro opportuno e necessario cercare una modalità idonea per collegare i dati originali prodotti, già potenzialmente interoperabili con il WebGis del Patrimonio Culturale della Regione Emilia Romagna, con i principali Sistemi Informativi a scala nazionale, gestiti dal MiC. Tali strumenti infatti possono oggi contribuire a una più agile fruizione dei dati, a patto di essere interoperabili e quindi garantire informazioni coerenti. Inoltre il geo-database potrebbe essere ampliato con l'inserimento sia di ulteriori tipologie architettoniche, che presentino meccanismi di danno analoghi, quali torri isolate, torri civiche e porte e mura urbane, sia di altri eventi sismici, di modo da aumentare le casistiche esaminate e quindi ottimizzare le curve di fragilità definite. Tale implementazione dei dati risulterebbe funzionale per rendere il dato statistico sempre più attendibile, nell'ottica di poter prevedere con sempre maggior affidabilità l'insorgenza dei cinematismi e quindi intervenire preventivamente. L'obiettivo infatti è di sostituire progressivamente l'attuale approccio emergenziale al restauro con una strategia di prevenzione a larga scala. L'ambizione di questa ricerca è dunque contribuire a fornire un ulteriore tassello per la costruzione di una, si spera sempre più diffusa, cultura della prevenzione nella gestione del nostro patrimonio architettonico.

BIBLIOGRAFIA RAGIONATA

EVENTI SISMICI STORICI E RECENTI

- ARCORACI L., BERARDI M., BERNARDINI F. et al., 2012, *Rapporto macrosismico sui terremoti del 20 (MI 5.9) e del 29 maggio 2012 (MI 5.8 e 5.3) nella pianura Padano-Emiliana*, QUEST-INGV, www.ingv.it
- BARATTA M., 1901, *I terremoti d'Italia: Saggio di storia, geografia e bibliografia sismica italiana con 136 sismogrammi*, Fratelli Bocca Editori, Torino
- CIACCIO M.G., CULTRERA G., 2014, *Terremoto e rischio sismico*, Ediesse, Roma
- CINTI F.R., DE MARTINI P.M., 2014, I terremoti dell'Emilia 2012, l'effetto della liquefazione e le conoscenze sismiche pregresse, in GAUDIOSO R., 2014, *Terreferme: Emilia 2012: Il patrimonio culturale oltre il sisma*, Skira, Milano
- GALLI P., CASTENETTO S., PERONACE. E., 2012, *Rilievo macrosismico MCS speditivo, Rapporto Dipartimento della Protezione civile*, Roma
- GUIDOBONI E., BOSCHI E., 1991, I grandi terremoti medioevali in Italia, in *Le Scienze*, 59, pp. 22-34
- GUIDOBONI E., COMASTRI A., BOSCHI E., 2005, The "exceptional" earthquake of 3 January 1117 in the Verona area (northern Italy): a critical time review and detection of two lost earthquakes (lower Germany and Tuscany), in *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 110(B12), pp. 1-20
- GUIDOBONI E., 2018, I terremoti del 1117 nelle ricerche di sismologia storica. Le fonti, in CALZONA A., CANTARELLA G.M., MILANESI G., 2018, *Terremoto in Val Padana. 1117, la terra sconquassa e sprofonda*, Scripta Edizioni, Mantova, pp. 1-30
- LIGORIO P., 1571, Libro di diversi terremoti, in GUIDOBONI E. (a cura di), 2006, *Edizione Nazionale delle Opere di Pirro Ligorio*, 28, 2006, De Luca Ed., Roma
- MARCELLINI A. et al. (a cura di), 2013, *Crisi sismica del maggio-giugno 2012. Mappa di scuotimento*, Milano
- MARTELLI L., ROMANI M. (a cura di), 2012, *Microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza delle aree epicentrali dei terremoti della pianura padana del maggio-giugno 2012: relazione illustrativa*, Regione Emilia Romagna, Ordinanza n. 70
- TARANTINO A. M., 2016, Le attività del Dief nell'emergenza sismica e nella ricostruzione, in GIOVANNINI D., VEZZALI L. (a cura di), 2016, *Unimore e il terremoto del 2012 in Emilia-Romagna. Interventi e ricerche per fronteggiare l'emergenza e sostenere la ripresa*, APM, Carpi (Modena), pp. 15-22

PIEROTTI P., 2016, *Sismografia storica. Regole di carta, regole di pietra: la loro applicabilità professionale*, EPC Editore, Roma

REGIONE EMILIA ROMAGNA, 2021, *9 anni dal sisma. Resoconto sintetico dello stato della ricostruzione*, Report, Bologna

ARCHITETTURE FORTIFICATE

ACETO et al., 1995, *Cantieri medievali*, Jaca Book, Milano

AUGENTI A., CIRELLI E., FIORINI A., RAVAIOLI E., 2009, L'incastellamento in Romagna: indagini 2006-2008, in VOLPE G., FAVIA P. (a cura di), 2009, *Atti del V Congresso Nazionale di Archeologia Medievale*, Firenze, pp. 341-348

BALESTRACCI D., 1989, I materiali da costruzione nel castello medievale, in *Archeologia Medievale*, 16, All'insegna del Giglio, Firenze, pp. 227-242

BONACINI P., 2005, *Prime valutazioni sul censimento dei castelli modenesi*, in MUZZARELLI M.G. E CAMPANINI A. (a cura di), 2005, pp.41-64

BONACINI P., CERAMI D. (a cura di), 2005, *Rocche e castelli lungo il confine tra Bologna e Modena*, Edizioni Fondazione di Vignola, Vignola

BORELLA M., 1990, *Il Castello Estense di Ferrara*, Electa, Milano

BRANCA G., 1772, *Manuale dell'Architettura*, Roma

CACIAGLI G., 1979, *Il castello in Italia*, Giorgi e Gambi Editori, Firenze

CALDERAZZI A. et al., 2008, La transizione delle strutture castellane in Italia dal medioevo all'età moderna, in *Castellum*, 50, Roma, pp. 5-22

CASSI RAMELLI A., 1964, *Dalle caverne ai rifugi blindati*, Nuova Accademia Editrice, Milano

CASSI RAMELLI A., 1974, *Castelli e fortificazioni*, Touring club italiano, Milano

CHIERICI S. (a cura di), 1988, *Italia romanica. Emilia Romagna*, 6, Jaca Book, Milano

CONTI F., 1999, *Castelli e Rocche. Le fortificazioni italiane del Medioevo e del Rinascimento*, DeAgostini, Milano

DI FRANCESCO C. (a cura di), 2014, *A sei mesi dal sisma: rapporto sui beni culturali in Emilia-Romagna*, Atti di Convegno (Carpi, 20-21 novembre 2012), Minerva, Bologna

DI GIORGIO MARTINI F., 1841, *Trattato di architettura civile e militare*, Tipografia Chirio e Mina, Torino

- FERRARI L., GOLDONI G., 2014, *Dietro il segno: dentro e fuori il restauro della Rocca di San Felice sul Panaro*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura, relatrice COISSON E., Università di Parma
- GAZZOLA P., 1968, La conservazione ed il restauro dei castelli alla luce della Carta di Venezia, in *Castellum*, 8, pp. 81-96
- GIANSANTE M., 2017, voce Alfonso Rubbiani, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, 89, Treccani, online
- GRASSI LEONARDI G., 2017, *Architetture fortificate e terremoto. Influenza delle tecniche costruttive sui meccanismi di danno*, Tesi di Dottorato, relatore UGOLINI A., Università di Bologna
- MANGOLINI D., 2017, *Giovanni da Siena (1360?-1438), un "chonponitore e ingegnere" tra Bologna, Ferrara e la Romagna*, Tesi di Dottorato, relatore CECCARELLI F., Università di Bologna
- MANTOVANI S., 2005, *Fortificazioni estensi nella pianura tra Modena e Bologna all'epoca del duca Ercole I*, in BONACINI P., CERAMI D. (a cura di), 2005, pp. 175-208
- MARIOTTI C., 2017, *Il restauro dei castelli in Italia: 1964 -2014*, Tesi di Dottorato, relatore UGOLINI A., Università di Bologna
- MENDOGNI P. P., 2003, *Il Medioevo a Parma: chiese e castelli*, PPS, Parma
- MÜLLER-WIENER W., 1993, Castello, in *Enciclopedia dell'arte medievale*, Treccani, online
- MUZZARELLI M. G., CAMPANINI A. (a cura di), 2005, *Castelli medievali e neomedievali in Emilia-Romagna*, Atti della giornata di studio (Bologna, 17 marzo), CLUEB, Bologna
- LUISI R., 1996, *Scudi di pietra. I castelli e l'arte della guerra tra Medioevo e Rinascimento*, Laterza, Bari
- PALLONI D., 2005, *Terminologia castellana: spunti dalla ricerca*, in MUZZARELLI M. G., CAMPANINI A. (a cura di), 2005, pp. 183-190
- PALLONI D., 1992, La difesa piombante e le artiglierie nevroballistiche, in ANDANTI A. et al., 1992, *La sicurezza dell'esistere. Le architetture fortificate al tempo di Lorenzo*, Editrice Grafica L'Etruria, Arezzo, pp. 23-35
- PEGORETTI G., 1843, Dei mastici, in PEGORETTI G., 1843, *Manuale pratico per l'estimazione dei lavori architettonici [...]*, 1, Ed. Angelo Monti, Milano, pp. 227-240
- PEROGALLI C., 1972, *Castelli e Rocche di Emilia e Romagna*, Seregorlich, Milano
- PEROGALLI C., 1965, Simbologia cartografica castellana, in *Castellum*, 1, Roma, pp. 17-24

- PEROGALLI C., 1976, Introduzione all'architettura fortificata in Italia, in Istituto italiano dei Castelli (a cura di), 1976, *Architettura Fortificata: Atti del I congresso internazionale* (Piacenza- Bologna, 18-21 Marzo), pp. 23-35
- PEROGALLI C., ICHINO M.P., BAZZI S., 1979, *Castelli italiani: con un repertorio di oltre 4000 architetture fortificate*, Bibliografica, Monza
- RICCI C., 1995, *L'architettura romanica in Italia*, Stuttgartn Hoffman, Roma
- RIMONDINI G., PALLONI D., 2017, *Il castello e la rocca di Mondaino*, Comune di Mondaino, Rimini
- SETTIA A., 1996, *Castelli e strade del nord Italia in età comunale: sicurezza, popolamento, "strategia"*, in SERGI G. (a cura di), 1996, *Luoghi di strada nel medioevo. Fra il Po, il mare e le Alpi Occidentali*, Scriptorium, Torino, pp. 15-40
- SETTIA A., 2017, *Castelli Medievali*, Il Mulino, Bologna
- Tosco C., 2003, *Il castello, la casa, la chiesa. Architettura e società nel Medioevo*, Einaudi, Torino
- VIOLLET-LE-DUC E.E., 1854-1868, Voce Mâchicoulis, in *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle*, 6, Parigi

MURATURA E MECCANISMI DI DANNO

- BENVENUTO E., 1981, *La Scienza delle Costruzioni e il suo sviluppo storico-critico*, Sansoni, Firenze
- BLASI C., 2013, Conoscenza empirica e analisi delle strutture, in BLASI C. (a cura di), 2013, *Architettura storica e Terremoti: Protocolli operativi per la conoscenza e la tutela*, Wolters Kluwers, Milano, pp. 1-13
- COÏSSON E., OTTONI F., 2013, Tipologie edilizie e meccanismi di dissesto, in BLASI C. (a cura di) 2013, *Architettura storica e Terremoti: Protocolli operativi per la conoscenza e la tutela*, Wolters Kluwers, Milano, pp. 57-130
- CANOFENI G., 2007, *Vulnerabilità tipica e meccanismi di danno degli edifici in aggregato*, in DOGLIONI F., MAZZOTTI P. (a cura di), 2007, *Codice di pratica per gli interventi di miglioramento sismico nel restauro del patrimonio architettonico*, Regione Marche, Ancona, pp. 76-95
- CASTELLAZZI G., D'ALTRI A.M., DE MIRANDA S. et al., 2018, Numerical insights on the seismic behavior of a non-isolated historical masonry tower, in *Bull Earthquake Eng*, 16, pp. 933–961

- CATTARI S., DEGLI ABBATI S., FERRETTI D., LAGOMARSINO, S., OTTONELLI, D., TRALLI, A., 2014a, Damage assessment of fortresses after the 2012 Emilia earthquake (Italy), in *Bulletin of earthquake engineering*, 12(5), pp. 2333-2365
- CATTARI S., DEGLI ABBATI S., FERRETTI D., LAGOMARSINO, S., OTTONELLI, D., TRALLI, A., 2014b, Vulnerabilità delle rocche e dei castelli emiliani danneggiati dal sisma del maggio 2012: abaco dei principali meccanismi di danno, in *Castellum*, 55, Roma, pp. 41-52
- CIFANI G., LEMME A., PODESTÀ S., 2005, *Beni monumentali e terremoto. Dall'emergenza alla ricostruzione*, DEI, Roma
- COÏSSON E., FERRARI L., FERRETTI D., ROZZI M., 2016, Non-smooth dynamic analysis of local seismic damage mechanisms of the San Felice Fortress in Northern Italy, in *Procedia engineering*, 161, pp. 451-457
- COÏSSON E., FERRETTI D., LENTICCHIA E., 2017, Analysis of damage mechanisms suffered by Italian fortified buildings hit by earthquakes in the last 40 years, in *Bulletin of earthquake engineering*, 15(12), pp. 5139-5166
- COÏSSON E., 2019, *Riduzione del rischio sismico degli edifici storici in muratura. Una questione di priorità. Alla luce del Capitolo 8 delle NTC 2018 e della sua Circolare esplicativa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna
- D'AYALA D., 1999, Correlation of seismic vulnerability and damages between classes of buildings: churches and houses, in BERNARDINI A., 1999, *Seismic Damage to Masonry Building*, Routledge, Londra, pp. 41-58
- D'AYALA D., SPERANZA E., 1999, *Identificazione dei meccanismi di collasso per la stima della vulnerabilità sismica di edifici nei centri storici*, in Atti del IX Convegno Nazionale L'Ingegneria Sismica in Italia, ANIDIS, Torino
- DI PASQUALE S., 1996, *L'arte del costruire: tra conoscenza e tecnica*, Marsilio Editore, Venezia
- DI PASQUALE G., PAPA S., 2014, *Manuale per la compilazione della scheda per il rilievo del danno ai beni culturali, Chiese MODELLO A-DC*, approvato con il DPCM 13/03/2013
- DI TOMMASO A., CASACCI S., 2013, *Sopravvivenza di torri e campanili in ambiente sismico*, in Seminario Internazionale sull'Evoluzione nella sperimentazione per le costruzioni- CIAS, Creta, pp. 18-25
- DOGLIONI F., MORETTI A., PETRINI V., 1994, *Le chiese e il terremoto*, Edizioni LINT, Trieste
- FACCHI E., GRIMOLDI A., LANDI A. G., ZAMPERINI E., 2021, Reconstructed overhanging battlements. Executive techniques and their vulnerability in the stronghold of Arquata del Tronto (Italy), in ROCA P., PELÀ L., MOLINS C. (a cura di), 2021, *SAHC 2021-*

- 12th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions*, 1, pp. 373-384
- FERRARI L., 2020, *Messa in sicurezza di chiese e campanili. Analisi tecnico-economica degli interventi post-sisma 2012 per la definizione di linee di indirizzo*, Tesi di Dottorato, relatrice COÏSSON E., Università di Parma
- FERRETTI D., COÏSSON E., LENTICCHIA, E., 2018, Seismic damage on merlons in masonry fortified buildings: A parametric analysis for overturning mechanism, in *Engineering Structures*, 177, pp. 117-132
- FREDDI F., NOVELLI V., GENTILE R. *et al.*, 2021, Observations from the 26th November 2019 Albania earthquake: the earthquake engineering field investigation team (EEFIT) mission, in *Bull Earthquake Eng*, 19, pp. 2013-2044
- GIUFFRÈ A., 1988, *Monumenti e terremoti. Aspetti statici del restauro*, Multigrafia Editrice, Roma
- GIUFFRÈ A., 1991, *La lettura sulla meccanica delle murature storiche*, Ed. Kappa, Roma
- GRÜNTAL G., 1998, *European macroseismic scale 1998*, European Seismological Commission (ESC), Luxembourg
- LAGOMARSINO S., BRENCICH A., BUSSOLINO F., MORETTI A., PAGNINI L., PODESTA S., 1997, Una nuova metodologia per il rilievo del danno alle chiese: prime considerazioni sui meccanismi attivati dal sisma, in *Ingegneria Simica*, 3, pp. 70-82
- LAGOMARSINO S., PODESTÀ S., 2004, Seismic vulnerability of ancient churches. Part 1: damage assessment and emergency planning; Part 2: statistical analysis of surveyed data and methods for risk analysis, in *Earthquake Spectra*, 20(2), pp. 377-3412
- LAGOMARSINO S., 2009, Vulnerabilità e risposta sismica delle chiese aquilane. Interpretazione del danno e considerazioni sul miglioramento strutturale, in *Arkos: Scienza e Restauro*, 20
- LENTICCHIA E., COÏSSON E., FERRETTI D., 2018, Seismic vulnerability of merlons in ancient fortified buildings, in *Proceeding of 16th European Conference on Earthquake Engineering* (Salonicco, 18-21 giugno)
- MARIANI M., 2016, *Sisma Emilia 2012. Dall'evento alla gestione tecnica dell'emergenza*, Pendragon, Bologna
- MARINO F., 2007, *Forme di vulnerabilità specifica*, in DOGLIONI F., MAZZOTTI P. (a cura di), 2007, *Codice di pratica per gli interventi di miglioramento sismico nel restauro del patrimonio architettonico*, Regione Marche, Ancona, pp. 97-119

MODENA C., 2004, Design approaches of interventions for the safety and conservation of historic buildings, *Atti del VI International Seminar on structural Analysis of Historical Construction – SAHCO4* (Padova, 10-12 novembre), pp.75-83

MODENA C., DA PORTO F., BETTIOL G., GIARETTON M., 2012, Edilizia storica monumentale Salvaguardia degli edifici di interesse storico-artistico nell'emergenza post-sisma, in *Progettazione sismica*, 3, pp. 211-221

PETRUCCI E., LAPUCCI D., LAPUCCI N., 2020, La Rocca di Arquata del Tronto: simbolo di rinascita per il territorio marchigiano colpito dal sisma, in NAVARRO PALAZÓN J., GARCÍA-PULIDO L. J., 2020, *Defensive Architecture of the Mediterranean*, 12, Valencia, pp. 1335-1342

PODESTÀ S., 2002, Una metodologia per la valutazione della vulnerabilità degli edifici storici: la "scheda Chiese" del Gruppo Nazionale Difesa dei Terremoti, in EVA C. et al., 2002, *Mitigazione del rischio sismico dei centri storici e degli edifici di culto dell'area del Matese nella regione Molise*, Regione Molise e GNDT-INGV, Pescara, pp. 120-129

ZAMPERINI E., 2021, I vulnerabili restauri del Novecento. La rocca di Arquata del Tronto e il suo recupero, in *Territorio*, 96, Franco Angeli Edizioni, Milano, pp.40-60

GIS E STRATEGIE PER LA GESTIONE E PER LA PREVENZIONE DEL DANNO SISMICO

ACIERNO M., FIORANI D., 2019, Innovative tools for managing historical buildings: the use of geographic information system and ontologies for historical centers, in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42, pp. 21-27

ANGELETTI P. et al., 2009, Un metodo speditivo di valutazione della vulnerabilità e del rischio sismico di beni culturali. Caso di studio: Sicilia e Calabria, in *Atti del XIII convegno ANIDIS* (Bologna, 28 giugno-2 luglio)

BAKER J.W., 2015, Efficient analytical fragility function fitting using dynamic structural analysis, in *Earthquake Spectra* 5(31), pp.579-599

BARTOLOMUCCI C., 2008 I GIS per la conservazione dell'architettura storica, in *Mondo GIS*, 66/67

BARTOLOMUCCI C., CACACE C., 2009, La Carta del rischio del patrimonio culturale: normalizzazione delle tipologie degli edifici nella banca dati del Sistema informativo territoriale, in *Bollettino ICR*, 16

BARTOLOMUCCI C., TRIZIO I., 2013, From "monumental medical records" to 3D GIS for historic architecture documentation, in *Proceedings of 6th International Congress on Science and Technology for the safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin - SEZIONE E – Cultural Heritage Identity* (Atene 22- 25 ottobre)

- CACACE C., 2019, *La Carta del Rischio per il patrimonio culturale*, in FIORANI D. 2019, pp. 65-74
- CATTARI S., LAGOMARSINO S., OTTONELLI D., 2014, Fragility curves for masonry buildings from empirical and analytical models, in *Proceedings of the 2nd Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Istanbul, pp. 25-29
- CETRARO F., 2015, *GIS per la cartografia e l'analisi territoriale : come scegliere il GIS più adatto alle tue esigenze: guida pratica all'uso dei GIS più diffusi*, EPC editore, Roma
- COÏSSON E., FERRETTI D., LENTICCHIA E., 2016, Italian castles and earthquakes: A GIS for knowledge and preservation, in *Structural Analysis of Historical Constructions: Anamnesis, diagnosis, therapy, controls*, CRC Press, pp. 1489-1496
- DELLA TORRE S., 1999, "Manutenzione" o "Conservazione"? La sfida del passaggio dall'equilibrio al divenire, in *Ripensare alla manutenzione. Ricerche, progettazione, materiali, tecniche per la cura del costruito*, in BISCONTIN G., DRIUSSI G. (a cura di), 1999, *Atti del convegno di Bressanone*, Arcadia ricerche, Venezia, pp. 71-80
- DELLA TORRE S., 2010, Preventiva, integrata, programmata: le logiche coevolutive della conservazione, in BISCONTIN G., DRIUSSI G. (a cura di), 2010, *Pensare la prevenzione. Manufatti, usi, ambienti. Atti del convegno di studi Scienza e Beni Culturali*, Arcadia ricerche, Venezia, pp. 67-76
- DELLA TORRE S., BORGARINO M. P., ROSSELLA MOIOLI R., 2011, *Dal restauro alla conservazione programmata del patrimonio storico architettonico*, Report, Politecnico di Milano - Dipartimento ABC, Milano
- DELLA TORRE S., 2014, La programmazione degli interventi: qualità, modello di gestione, riconoscimento delle externalità positive, in *Materiali e strutture. problemi di conservazione. Prima e dopo il Restauro*, 5-6, pp. 107-117
- DELLA TORRE S., 2021, Italian perspective on the planned preventive conservation of architectural heritage, in *Frontiers of Architectural Research*, 10(1), pp. 108-116
- DEL GAUDIO C., DE MARTINO G., DI LUDOVICO M. et al., 2019, Empirical fragility curves for masonry buildings after the 2009 L'Aquila, Italy, earthquake, in *Bull Earthquake Eng*, 17, pp. 6301-6330
- DI COCCO I., 2014, *Dalla lista dei danni alla mappa del tesoro*, in DI FRANCESCO C. (a cura di), 2014, pp. 117-134
- DI COCCO I., MAGRINI S., INGLESE R., 2016, Dal Libro alla mappa e ritorno...: il collegamento tra Catalogo e cartografia dei beni architettonici in Emilia-Romagna come esempio, in INGLESE R. (a cura di), 2016, *Quaderni del CNBA*, 14, Roma, pp. 63-70
- DONATELLI A., 2010, *Terremoto e architettura storica: prevenire l'emergenza*, Gangemi, Roma

- FIORANI D., 2019, *Il futuro dei centri storici. Digitalizzazione e strategia conservativa*, Edizioni Quasar, Roma
- GOODCHILD M., MAGUIRE D., RHIND D., 1991, *Geographic Information Systems: Principles and Applications*, Longman, New York
- GOODCHILD M.F., 2010, Twenty years of progress: GIScience in 2010, in *Journal of Spatial Information Science*, 1, pp. 3-20
- LAGOMARSINO S., 2006, On the vulnerability assessment of monumental buildings, in *Bull Earthquake Eng*, 4, pp. 445–463
- LAGOMARSINO S., CATTARI S., OTTONELLI D., GIOVINAZZI S., 2019, Earthquake damage assessment of masonry churches: proposal for rapid and detailed forms and derivation of empirical vulnerability curves, in *Bulletin of earthquake engineering*, 17(6), pp. 3327-3364
- LAGOMARSINO S., CATTARI S., OTTONELLI D., 2021, The heuristic vulnerability model: fragility curves for masonry buildings, in *Bull Earthquake Eng*, 19, pp. 3129-3163
- LENTICCHIA E., COÏSSON E., 2017a, La fragilità delle fortezze. Nuovi strumenti per proteggere il patrimonio dell'architettura fortificata italiana dai terremoti, in *ANANKE*, Speciale GeoRes, Altralinea Edizioni, Firenze, pp. 117-122
- LENTICCHIA E., COÏSSON E., 2017b, The use of GIS for the application of the phenomenological approach to the seismic risk analysis: the case of the italian fortified architecture, in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42, pp. 39-46
- LIBRO A., COÏSSON E., 2021, Il rilievo del danno al patrimonio storico-artistico. Conoscere per gestire oggi e prevenire domani, in *RecMagazine*, 165, pp. 44-51
- LIBRO A., LETIZIA B., BORGOGNONI R., 2021, Il cantiere della conoscenza. L'indagine come presupposto necessario alla conoscenza, in *RecMagazine*, 167, pp. 62-69
- MORO L., 2011, Patrimonio culturale e rischio sismico, in LIONELLO A. (a cura di), 2011, *Tecniche costruttive, dissesti e consolidamenti dei campanili di Venezia*, Corbo e Fiore Editori, Venezia
- MAROTTA A., LIBERATORE D., SORRENTINO L., 2021, Development of parametric seismic fragility curves for historical churches, in *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19 (13), pp. 5609-5641
- MONTI A., 2005, *Il GIS dei castelli dell'Emilia Romagna: dalla georeferenziazione dei dati alla comprensione dello spazi degli uomini*; in MUZZARELLI M. G., CAMPANINI A., 2005, pp.35-39

MONTI A., 2014, La castellologia e l'istituto italiano dei castelli, in *Castellum*, 55, pp. 33-40

OTTONELLI D., CATTARI S., LAGOMARSINO S., 2015, Urban risk assessment: fragility functions for masonry buildings, in *Recent advances in mechanics, mechatronics and civil, chemical and industrial engineering. Mathematics and computers in science and engineering series*, 49, pp. 177-189

PESARESI C., 2017, *Applicazioni GIS : principi metodologici e linee di ricerca : esercitazioni ed esemplificazioni guida*, UTET, Novara

PORTER K., 2015, A beginner's guide to fragility, vulnerability, and risk, in *Encyclopedia of earthquake engineering*, pp. 235-260

SILIGARDI F., 2005, *Il Sistema Informativo Territoriale dei Castelli dell'Emilia-Romagna*, in MUZZARELLI M. G., CAMPANINI A., 2005, pp.31-34

URBANI G., 2000, *Intorno al restauro*, Skira, Milano

RIFERIMENTI NORMATIVI (in ordine cronologico)

D.L. 22/01/2004 n.42, G.U. 24/02/2004, n.45 (Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio)

D.P.C.M. 23/02/2006, G.U. 07/03/2006, n.55 (Approvazione dei modelli per il rilevamento dei danni a seguito di eventi calamitosi, ai beni appartenenti al patrimonio culturale)

D.P.C.M. 09/02/2011, G.U. 26/02/2011, n.47 - suppl. ord. n.54 (Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni D.M. 14/01/2008)

D.P.C.M. 26/02/2011, G.U. n.54 (Direttiva per la valutazione e riduzione del rischio sismico per il patrimonio culturale)

D.P.C.M. 5/05/2011 e s.m.i., G.U. 17/05/2011, n.113 (Approvazione del modello per il rilevamento dei danni, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica e del relativo manuale di compilazione)

D.M. 17/01/2018, G.U. 20/02/2018, n.42 (Norme Tecniche per le Costruzioni) e Circolare n.7 del 21/01/2019

SITOGRAFIA

CARTA DEL RISCHIO: <http://www.cartadelrischio.beniculturali.it/webgis/>

CATALOGO BENI CULTURALI: <https://www.catalogo.beniculturali.it/>

ICASTELLI.ORG TECNICA ED EVOLUZIONE DELLA FORTIFICAZIONE MEDIEVALE: <http://icastelli.org/>

INGV – ARCHIVIO SHAKEMAPS: <http://shakemap.rm.ingv.it/shake/archive/>

INGV – CATALOGO PARAMETRICO DEI TERREMOTI ITALIANI (CPTI15): <https://emidius.mi.ingv.it>

INGV – MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA: <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>

ISTAT – ARCHIVIO BASI CARTOGRAFICHE: <http://www.istat.it/it/archivio/104317#accordions>

TERREFERME EMILIA 2012: <http://terreferme.beniculturali.it/>

VINCOLI IN RETE: <http://vincoliinrete.beniculturali.it/VincoliInRete/vir/bene/listabeni>

WEBGIS – PATRIMONIO CULTURALE DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA:

<https://www.patrimonioculturale-er.it/webgis/>

FONTI ARCHIVISTICHE

(SABAP-BO Soprintendenza archeologia, belle arti e paesaggio per la città metropolitana di Bologna e le province di Modena, Reggio Emilia e Ferrara; SR-ERO Segretariato regionale del Ministero dei beni e delle attività culturali per l'Emilia Romagna)

SABAP-BO, Fondo Sisma, fasc. 035021_7 *Castello Guidotti a Fabbrico, RE*

SABAP-BO, Fondo Sisma, fasc. 035028_1 *Rocca dei Gonzaga a Novellara, RE*

SABAP-BO, Fondo Sisma, fasc. 035032_1 *Rocca di Reggiolo, RE*

SABAP-BO, Fondo Sisma, fasc. 035037_2 *Rocca estense di San Martino in Rio, RE*

SABAP-BO, Fondo Sisma, fasc. 036005_20 *Castello dei Principio Pio a Carpi, MO*

SABAP-BO, Fondo Sisma, fasc. 036012_5 *Castello delle Rocche di Finale Emilia, MO*

SABAP-BO, Fondo Sisma, fasc. 036022_12-13 *Castello Pico di Mirandola, MO*

SABAP-BO, Fondo Sisma, fasc. 036037_3 *Rocca estense di San Felice sul Panaro, MO*

SABAP-BO, Fondo Sisma, fasc. 036044_1 *Castello Campori a Soliera, MO*

SABAP-BO, Fondo Sisma, fasc. 037005_1 *Castello dei Bentivoglio a Bentivoglio, BO*

SABAP-BO, Fondo Sisma, fasc. 037038_4 *Rocca di Minerbio a Minerbio, BO*

SABAP-BO, Fondo Sisma, fasc. 037048_8 *Rocca di Pieve di Cento, BO*

SABAP-BO, Fondo Sisma, fasc. 037053_8 *Villa La Giovannina a San Giovanni in Persiceto, BO*

- SABAP-BO, Fondo Sisma, fasc. 038003_13 *Forte estense di Bondeno, FE*
- SABAP-BO, Fondo Sisma, fasc. 038004_23 *Rocca di Cento, FE*
- SABAP-BO, Fondo Sisma, fasc. 038008_313 *Castello Estense di Ferrara, FE*
- SABAP-BO, Fondo Sisma, fasc. 038018_711 *Castello Lambertini a Poggio Renatico,, FE*
- SR-ERO, Schede di Rilievo dei danni ai beni culturali, fasc.035021_7 *Castello Guidotti a Fabbrico, RE*
- SR-ERO, Schede di Rilievo dei danni ai beni culturali, fasc.035028_1 *Rocca dei Gonzaga a Novellara, RE*
- SR-ERO, Schede di Rilievo dei danni ai beni culturali, fasc.035032_1 *Rocca di Reggiolo, RE*
- SR-ERO, Schede di Rilievo dei danni ai beni culturali, fasc.035037_2 *Rocca estense di San Martino in Rio, RE*
- SR-ERO, Schede di Rilievo dei danni ai beni culturali, fasc.036005_20 *Castello dei Principio Pio a Carpi, MO*
- SR-ERO, Schede di Rilievo dei danni ai beni culturali, fasc.036012_5 *Castello delle Rocche di Finale Emilia, MO*
- SR-ERO, Schede di Rilievo dei danni ai beni culturali, fasc.036022_12-13 *Castello Pico di Mirandola, MO*
- SR-ERO, Schede di Rilievo dei danni ai beni culturali, fasc.036037_3 *Rocca estense di San Felice sul Panaro, MO*
- SR-ERO, Schede di Rilievo dei danni ai beni culturali, fasc.036044_1 *Castello Campori a Soliera, MO*
- SR-ERO, Schede di Rilievo dei danni ai beni culturali, fasc.037005_1 *Castello dei Bentivoglio a Bentivoglio, BO*
- SR-ERO, Schede di Rilievo dei danni ai beni culturali, fasc.037038_4 *Rocca di Minerbio a Minerbio, BO*
- SR-ERO, Schede di Rilievo dei danni ai beni culturali, fasc.037048_8 *Rocca di Pieve di Cento*
- SR-ERO, Schede di Rilievo dei danni ai beni culturali, fasc.037053_8 *Villa La Giovannina a San Giovanni in Persiceto, BO*

SR-ERO, Schede di Rilievo dei danni ai beni culturali, fasc.038003_13 *Forte estense di Bondeno, FE*

SR-ERO, Schede di Rilievo dei danni ai beni culturali, fasc.038004_23 *Rocca di Cento, FE*

SR-ERO, Schede di Rilievo dei danni ai beni culturali, fasc.038008_313 *Castello Estense di Ferrara, FE*

SR-ERO, Schede di Rilievo dei danni ai beni culturali, fasc.038018_711 *Castello Lambertini a Poggio Renatico, FE*

RINGRAZIAMENTI

A conclusione della presente Tesi sono doverosi i ringraziamenti nei confronti di coloro che, a vario titolo, ne hanno permesso la stesura. Alla Prof.ssa Eva Coïsson per le concise e mirate indicazioni, che hanno tracciato il percorso di ricerca in questi tre anni, e al Prof. Daniele Ferretti per le sempre gentili e appassionante spiegazioni.

Un ringraziamento particolare va inoltre all'Arch. Antonino Libro e all'Ing. Davide Parisi, per i consigli approfonditi ed esperti e per il tempo dedicato al confronto sui temi trattati nella presente Tesi.

Ringrazio l'Agenzia Regionale per la Ricostruzione - Sisma 2012 della Regione Emilia-Romagna, la Soprintendenza Archeologica Belle Arti e Paesaggio per la città metropolitana di Bologna e le province di Modena, Reggio e Ferrara e il Segretariato Regionale del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali per l'Emilia Romagna per aver messo a disposizione il materiale esaminato.

A tal proposito un sentito ringraziamento va anche ai proprietari dei Castelli, assunti a casi di studio, che hanno gentilmente concesso i permessi per la consultazione del materiale depositato presso l'Archivio della sopramenzionata Soprintendenza dove sono stata guidata con pazienza nella ricerca dalla Dott.ssa Silvana Parisi, che ringrazio per la sua disponibilità.

Si ringraziano inoltre il Prof. Andrea Ugolini per i suggerimenti forniti nell'ambito del vasto tema dell'Architettura Fortificata e la Dott.ssa Erica Lenticchia per l'aiuto e il materiale condiviso nelle fasi iniziali di lavoro, consentendomi una più agile introduzione al tema di ricerca trattato.

Infine ringrazio il gruppo di ricerca di Restauro, e non solo, dell'Università di Parma per il sostegno e le occasioni di confronto.

PARTE III ALLEGATI

Schede descrittive dei 21 castelli danneggiati dal Sisma del 2012

Schede di rilievo del danno per le Architetture Fortificate

Manuale di compilazione per le schede di rilievo del danno elaborate

Tabelle Attributi del Geo-database GIS

ALLEGATO 1


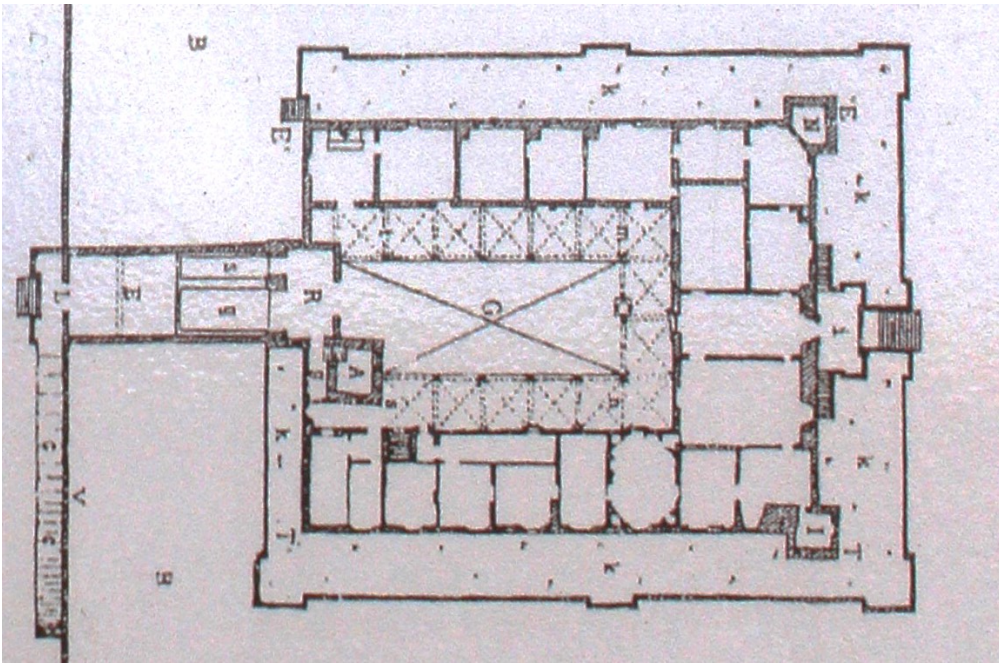
SCHEDE DESCRITTIVE DEI 21 CASTELLI DANNEGGIATI DAL SISMA DEL 2012

CASTELLO DEI BENTIVOGLIO, BENTIVOGLIO		BO
CODICE SABAP-BO: 037005_1		COORDINATE UTM: 44° 38' 4.6302" - 11° 25' 20.6734"
	CONFORMAZIONE PLANIMETRICA <p>Il complesso è costituito da un fabbricato a Nord che ospitava le scuderie, connesso tramite due ambienti voltati all'edificio principale quadrangolare a due piani in laterizio con ampia corte interna, al cui ingresso si antepone un rivellino, detto anche rocca per le sue proporzioni e le dimensioni considerevoli. Quest'ultimo è collegato al castello tramite un corridoio coperto. L'area verde del complesso è delimitata a Sud da una cinta muraria merlata. Originariamente il complesso era circondato da un ampio fossato.</p>	
	EVOLUZIONE STORICA: FASI COSTRUTTIVE, INTERVENTI <p>L'attuale assetto è frutto di una lunga serie di trasformazioni e demolizioni susseguites tra la fine del XIV e la prima metà del XX secolo, così riassumibili: costruzione della rocca con annessa torre a fine XIV a protezione del corso d'acqua e del confine tra il comune di Bologna e il ducato Estense di Ferrara; ampliamento, restauro della rocca e costruzione del castello nella seconda metà del XV (tuttavia non ebbe mai una vera funzione militare, infatti i sistemi difensivi presenti erano del tutto inadeguati per l'epoca); tra XVIII-XIX fasi alterne di abbandono e di utilizzo della rocca come conceria, frantoio, alloggi (con conseguenti superfetazioni e annessione di corpi di fabbrica addossati); nel 1889 progetto di restauro in stile di Rubbiani che comporta numerose ed estese ricostruzioni (tra cui le mura merlati ancora oggi esistenti), rifacimenti e demolizioni. Durante la Seconda Guerra Mondiale il castello è adibito a ospedale della Croce Rossa. L'esercito tedesco durante la ritirata nel 1945 mina e distrugge la torre. Oggi è sede dell'Istituto Ramazzini per la Ricerca Oncologica.</p>	
		

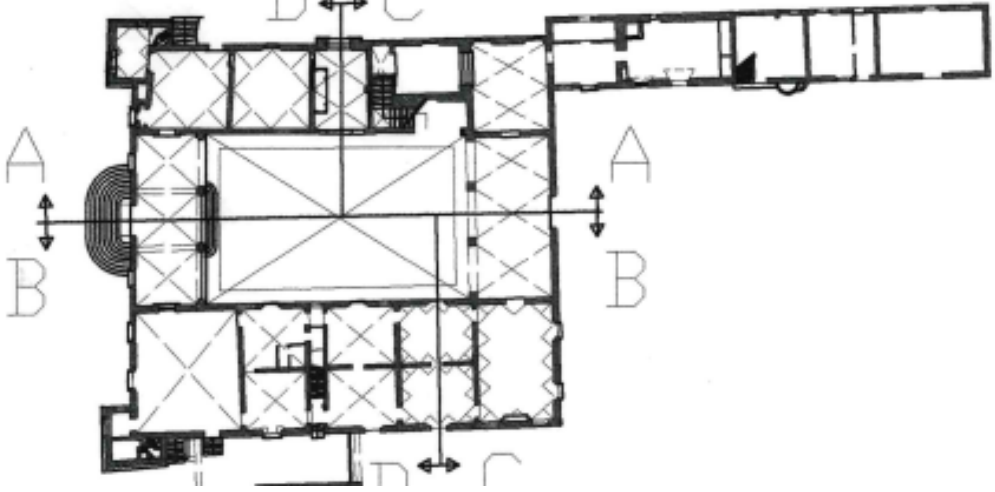
PANORAMICA DEI PRINCIPALI MECCANISMI DI DANNO	
<p>Si riportano di seguito i danni più significativi del corpo di fabbrica principale: lesioni sulle pareti murarie esterne in prossimità dei cantonali, indotte dall'azione spingente della copertura, e delle intersezioni tra pareti ortogonali, probabilmente causate da azioni di martellamento; lesioni in corrispondenza dei camini per mancato ammorsamento; lesioni in corrispondenza delle finestre nelle fasce murarie, causate da azione di taglio nel piano; delaminazione dovuta a un collegamento inadeguato tra i paramenti originari e quelli ottocenteschi, meccanismi fuori piano delle pareti esterne dovuti all'assenza di controventi adeguati, lesioni a taglio nelle volte, dovute al loro spessore molto ridotto. Inoltre si sottolinea la vulnerabilità dovuta agli impalcati collegati in maniera insufficiente alle murature e che non riescono quindi a esercitare un ruolo di vincolo per evitare il ribaltamento fuori dal piano della parete esterna, anzi generando fenomeni di martellamento sulle murature e non contribuendo a insaldare la scatola muraria. Il muro di cinta presenta lesioni verticali diffuse lungo tutto il suo sviluppo, causate da cedimenti differenziali di fondazione. Tali lesioni interessano principalmente i merli singoli e le zone basamentali. Inoltre sono presenti lesioni inclinate passanti nelle mura ortogonali Sud e Ovest che tendono a isolare lo spigolo, con conseguente possibile ribaltamento dello stesso.</p>	
PANORAMICA DEI RELATIVI INTERVENTI	
<p>Progetto non ancora approvato.</p>	
FONTI CONSULTATE	
SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO	SI
VALUTAZIONE ECONOMICA	SI
MATERIALE DEPOSITATO PRESSO SABAP-BO	
<i>Rilievo del quadro fessurativo</i>	SI
<i>Rilievo fotografico</i>	SI
<i>Progetto di messa in sicurezza</i>	SI
<i>Progetto preliminare</i>	NO
<i>Progetto definitivo e/o esecutivo</i>	NO
ALTRI RILIEVI FOTOGRAFICI	
<i>Foto Proff. D. Ferretti e E. Coïsson - 2012</i>	NO
<i>Foto di E. Zanazzi - 2020</i>	SI
ALTRE FONTI	NO

CASTELLO DI GALEAZZA PEPOLI A CREVALCORE		BO
CODICE SABAP-BO: 037024_2	COORDINATE UTM: 44° 47' 52.9718" - 11° 16' 41.2031"	
	CONFORMAZIONE ARCHITETTONICA-PLANIMETRICA	
	<p>Il complesso è composto di diversi edifici annessi tra loro, a cui l'intervento ottocentesco ha dato unitarietà visiva, ma non strutturale. L'impianto è a ferro di cavallo, dove uno dei due bracci termina con la torre Galeazza, il nucleo originario del castello. Questo assetto è completato da due corpi di fabbrica disposti in senso Nord-Ovest – Sud-Est, al centro del quale si staglia la torre d'ingresso ottocentesca.</p>	
EVOLUZIONE STORICA: FASI COSTRUTTIVE, INTERVENTI		
<p>Il nucleo originale del complesso è la torre, detta Galeazza, presumibilmente costruita nel XIV secolo su volere del condottiero Galeazzo Pepoli. Una volta venute meno le esigenze difensive, la torre assume una funzione di direzione e presidio dei possedimenti agricoli dei Pepoli, venendo presto annessa ad altri edifici rurali. Nel XVI secolo la trasformazione in villa di campagna, circondata da fossato e da nuovi edifici: abitazioni, stalle, con la torre nell'angolo Sud-Est del complesso. Nel XVII secolo vengono effettuate alcune demolizioni e nel 1846 il corpo della villa risulta interamente demolito, segno che il complesso non era più in uso. Alla fine del XIX secolo risale l'intervento di restauro in stile, su modello delle teorie del Rubbiani, che implica un'importante ricostruzione e trasformazione dell'assetto edilizio, con il ridisegno dei fabbricati esistenti in stile medievale e l'edificazione di strutture <i>ex-novo</i> a integrazione di un'ipotetica unità originaria. In particolare a questa fase risalgono: il corpo di fabbrica che collega la torre trecentesca alle stalle, funzionale ad dare assialità al complesso; la torre d'ingresso con porticato al piano terra; altri corpi di fabbrica adibiti ad abitazione e infine per dare unitarietà a tutti gli edifici viene addossata una nuova facciata con terminale a merli ghibellini e le aperture vengono uniformate. Gli interventi più recenti (ultimi anni '90 e primi anni 2000) sono di tipo manutentivo e di sostituzione delle coperture e dei solai.</p>		
		


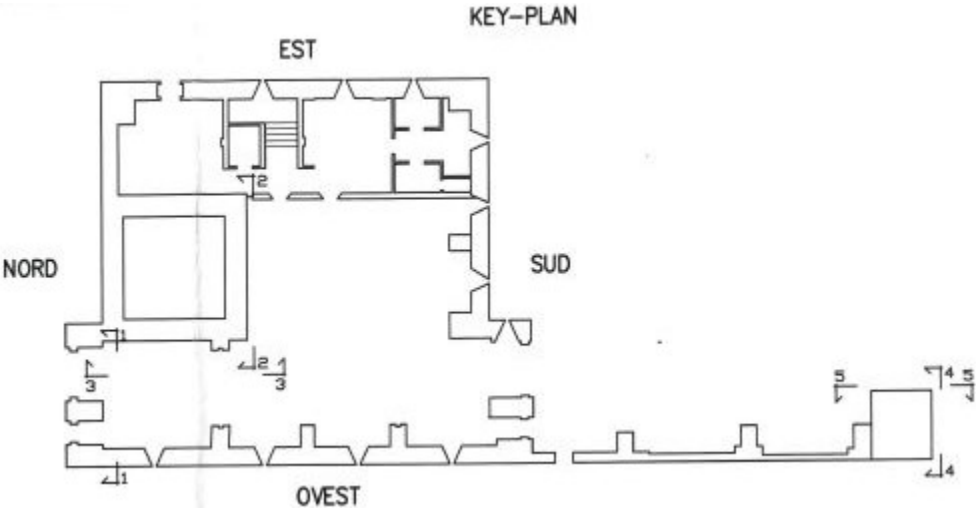
PANORAMICA DEI PRINCIPALI MECCANISMI DI DANNO	
<p>L'inadeguato ammassamento del paramento ottocentesco alla parete originaria ha causato notevoli danni al complesso: delaminazione del rivestimento; meccanismi di flessione orizzontale soprattutto in corrispondenza delle fasce del pesante cornicione; ribaltamento dei merli costruiti in stile in quanto molto esili e poggiati su un cornicione non ammassato adeguatamente. Gli interventi ottocenteschi di costruzione di nuovi edifici ammassati hanno inoltre comportato fenomeni di martellamento diffusi e gravi, ben visibili dal quadro fessurativo caratterizzato da fessurazioni sub-orizzontali, lesioni inclinate da taglio che interessano per lo più le fasce murarie, crollo di implacati e di volte costituite da spessori esigui. Si riscontrano inoltre lo sfilamento delle teste della travi e il ribaltamento del timpano di uno degli edifici rurali. Per quanto riguarda la torre Galeazza: crollo, in seguito a ribaltamento, della torretta sommitale, lesioni inclinate che fanno ipotizzare il ribaltamento del cantonale, lesioni da taglio che collegano le aperture dei vari livelli, ma che interessano solo le fasce murarie.</p>	
PANORAMICA DEI RELATIVI INTERVENTI	
<p>Progetti attualmente non depositati.</p>	
FONTI CONSULTATE	
SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO	SI
VALUTAZIONE ECONOMICA	SI
MATERIALE DEPOSITATO PRESSO SABAP-BO	NO
<i>Rilievo del quadro fessurativo</i>	
<i>Rilievo fotografico</i>	
<i>Progetto di messa in sicurezza</i>	
<i>Progetto preliminare</i>	
<i>Progetto definitivo e/o esecutivo</i>	
ALTRI RILIEVI FOTOGRAFICI	
<i>Foto Proff. D. Ferretti e E. Coisson - 2012</i>	NO
<i>Foto di E. Zanazzi - 2020</i>	NO
ALTRE FONTI	SI (AGENZIA REGIONALE)

CASTELLO DEI MANZOLI A MINERBIO		BO
CODICE SABAP-BO: 037038_1	COORDINATE UTM: 44° 36' 43.9239" - 11° 31' 22.8254"	
	CONFORMAZIONE ARCHITETTONICA-PLANIMETRICA	
	<p>L'assetto planimetrico del castello è costituito da una pianta rettangolare con corte interna, da quattro torri angolari e il mastio, tutti merlati. Il castello è circondato da un ampio fossato e l'accesso avviene tramite due ponti in laterizio.</p>	
EVOLUZIONE STORICA: FASI COSTRUTTIVE, INTERVENTI		
<p>Un primo fortilizio edificato sul sedime dell'attuale castello è databile agli inizi del XV secolo. In realtà, già dal 1514, il castello assume esclusiva funzione di residenza signorile. Per adattarsi al nuovo uso subì diversi rimaneggiamenti tra il XVI e il XVII secolo e l'apparato decorativo degli interni fu notevolmente arricchito. Tuttavia le modifiche più sostanziali risalgono al restauro in stile attuato tra il 1883 e il 1885, ad opera di Alfonso Rubbiani e Tito Azzolini. A quest'epoca risalgono probabilmente l'apparato a sporgere e le mura merlate.</p>		
		

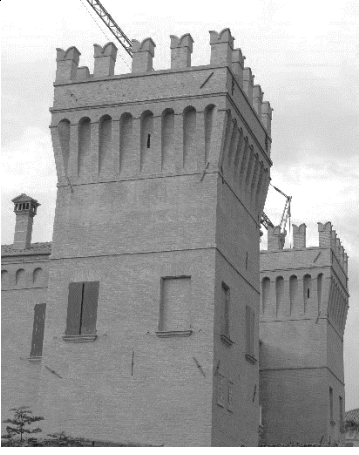

PANORAMICA DEI PRINCIPALI MECCANISMI DI DANNO	
<p>Nel complesso il quadro fessurativo risulta di modesta entità. I principali meccanismi di danno riscontrati sono lesioni da taglio nella parte svettante del mastio e lesioni orizzontali alla base dei merli che denotano l'attivazione del meccanismo di ribaltamento fuori dal piano di questi elementi svettanti. Per quanto riguarda i corpi di fabbrica che si affacciano sulla corte interna si riscontrano lievi lesioni da taglio sulle pareti murarie, lievi lesioni agli impalcati (sfilamento delle travi e lesioni agli archi) e altre lesioni modeste dovute a irregolarità nella tessitura muraria.</p>	
PANORAMICA DEI RELATIVI INTERVENTI	
<p>Non è stato possibile accedere alla documentazione relativa ai progetti di consolidamento.</p>	
FONTI CONSULTATE	
SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO	SI
VALUTAZIONE ECONOMICA	SI
MATERIALE DEPOSITATO PRESSO SABAP-BO	NO
<i>Rilievo del quadro fessurativo</i>	
<i>Rilievo fotografico</i>	
<i>Progetto di messa in sicurezza</i>	
<i>Progetto preliminare</i>	
<i>Progetto definitivo e/o esecutivo</i>	
ALTRI RILIEVI FOTOGRAFICI	
<i>Foto Proff. D. Ferretti e E. Coisson - 2012</i>	NO
<i>Foto di E. Zanazzi - 2020</i>	SI
ALTRE FONTI: Centro culturale "Giorgio la Pira", Minerbio e dintorni. <i>Immagini di ieri</i> , 1992	

ROCCA ISOLANI, MINERBIO		BO
CODICE SABAP-BO: 037038_4	COORDINATE UTM: 44° 37' 25.0377" - 11° 29' 23.264"	
	CONFORMAZIONE ARCHITETTONICA-PLANIMETRICA	
	<p>L'edificio presenta un impianto quadrangolare a corte interna ed è dotato di due torri angolari che affiancano il prospetto Nord-Ovest. La rocca non sorge isolata, ma addossata, lungo i prospetti Sud-Ovest e Sud-Est, a due corpi longitudinale di carattere agricolo.</p>	
EVOLUZIONE STORICA: FASI COSTRUTTIVE, INTERVENTI		
<p>Nel XV secolo viene avviata la costruzione della rocca sui resti di un precedente fortilizio, probabilmente risalente alla seconda metà del XIV secolo. Infatti i singoli edifici preesistenti vengono collegati da cortine murarie, di modo da costituire un unico complesso a corte centrale, nello stesso periodo viene costruito il loggiato nell'angolo Sud-Est. I prospetti esterni erano coronati da merlature, che sorreggevano una copertura lignea. In una fase successiva le preesistenze vengono collegate da un vero e proprio fabbricato, con annessa loggia. Con l'esilio degli Isolani nel 1440 molte parti del complesso verranno demolite. Con il ritorno della Famiglia nel 1524 si avvia una nuova fase di cantiere che darà alla rocca l'aspetto attuale. In particolare verranno realizzate volte a crociera dipinte e aperture più ampie sui fronti esterni, innalzate le due torri che affiancano il Prospetto Nord-Ovest, costruito il doppio loggiato a Nord-Ovest. Al XIX secolo risalgono gli interventi relativi alla costruzione della scalinata interna alla corte e quella del prospetto principale.</p>		
		

PANORAMICA DEI PRINCIPALI MECCANISMI DI DANNO	
<p>Il quadro fessurativo risulta di modesta entità. Tra i meccanismi più significativi si riscontrano: rottura a flessione orizzontale nel prospetto Nord-Ovest con lesionamento della cornice sommitale, lesioni da taglio nelle pareti interne ed esterne (fasce murarie), leggeri danni agli impalcati (sfilamento delle travi, danno alle volte per rotazione delle imposte), lesioni diffuse nei prospetti, se pur non gravi, dovute a irregolarità nella tessitura muraria, soprattutto aperture tamponate. Le torri si sono danneggiate prevalentemente nella loro parte svettante per lesioni da taglio, ma anche a seguito di meccanismi di martellamento tra il corpo di fabbrica del palazzo e il fusto della torre.</p>	
PANORAMICA DEI RELATIVI INTERVENTI	
<p>Di seguito si riportano gli interventi eseguiti: ricucitura delle lesioni nei prospetti tramite l'inserimento di barre in acciaio e biocalce ogni 3/4 corsi di malta; consolidamento trasversale delle murature di maggior spessore, delle volte in mattoni e degli architravi mediante barre in acciaio; consolidamenti delle volte con rete aramidica e biocalce per consentire la traspirabilità dei materiali, anche per via della presenza di affreschi negli intradossi, dove non era possibile questo tipo di intervento sono state messe in opera catene in acciaio con bolzoni di ancoraggio in facciata o interni; il loggiato è stato consolidato con l'inserimento di travi in acciaio rivestite in legno.</p>	
FONTI CONSULTATE	
SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO	SI
VALUTAZIONE ECONOMICA	SI
MATERIALE DEPOSITATO PRESSO SABAP-BO	
<i>Rilievo del quadro fessurativo</i>	SI
<i>Rilievo fotografico</i>	SI
<i>Progetto di messa in sicurezza</i>	SI
<i>Progetto preliminare</i>	
<i>Progetto definitivo e/o esecutivo</i>	
ALTRI RILIEVI FOTOGRAFICI	
<i>Foto Proff. D. Ferretti e E. Coisson - 2012</i>	NO
<i>Foto di E. Zanazzi - 2020</i>	SI
ALTRE FONTI	NO

ROCCA DI PIEVE DI CENTO		BO
CODICE SABAP-BO: 037048_8		COORDINATE UTM: 44° 42' 42.5534" - 11° 18' 19.3053"
	CONFORMAZIONE ARCHITETTONICA-PLANIMETRICA	
	<p>Il complesso di dimensioni ridotte descrive in pianta un quadrato, suddiviso in nove quadrati minori, nei quali si collocano ordinatamente gli elementi che compongono la fortezza: il mastio, affiancato da un corpo di fabbrica, sede del Museo delle Storie di Pieve, i portali d'ingresso della cinta muraria, che definisce il perimetro del complesso.</p>	
EVOLUZIONE STORICA: FASI COSTRUTTIVE, INTERVENTI		
<p>La piccola rocca, costruita alla fine XIV secolo su progetto di Antonio Di Vincenzo, sorgeva isolata e probabilmente circondata da fossato e costituiva un baluardo estremo di difesa per i cittadini. Una volta venute meno le sue funzioni militari, la rocca fu adibita ad abitazione e ospitò gli sfollati a seguito dei conflitti mondiali. Dagli anni '80 la rocca è stata oggetto di restauri che hanno comportato la demolizione dei vani accessori e delle superfetazioni, realizzati nel periodo in cui fu destinata a funzione residenziale, e la rifunzionalizzazione a museo.</p>		
<p style="text-align: center;">KEY-PLAN</p> 		

PANORAMICA DEI PRINCIPALI MECCANISMI DI DANNO	
<p>Nel complesso il quadro fessurativo è di entità moderata, si riportano di seguito i cinematismi più rilevanti. Significative fessurazioni a taglio alle strutture, specie nel prospetto Sud del mastio e nell'ex-cabina elettrica nell'angolo Sud-Est; cadute di laterizi, in particolare in corrispondenza della parte sommitale delle cortine murarie, aggravamento del quadro fessurativo esistente specie per quando riguarda i meccanismi di cedimento fondale, delaminazione del rivestimento murario sopra l'arcata della porta Nord.</p>	
PANORAMICA DEI RELATIVI INTERVENTI	
<p>Sono previsti i seguenti interventi di riparazione e di miglioramento sismico: risarcitura delle lesioni mediante infiltrazioni con malta di calce; messa in opera di catene per ripristinare comportamento scatolare della muratura delle cortine murarie; pulitura da vegetazione e da materiale incongruo e protezione delle parti sommitali della cinta muraria; indagini per verificare le condizioni delle fondazioni. Per il mastio si prevede la messa in opera di due ordini di catene, con posizionamento dei capichiave all'esterno, operazioni di cuci-scuci per restituire la continuità muraria. Per l'ex-cabina elettrica è stato previsto un consolidamento tramite cerchiature metalliche, al fine di adibire la stessa a edificio di servizio per il polo museale.</p>	
FONTI CONSULTATE	
SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO	SI
VALUTAZIONE ECONOMICA	SI
MATERIALE DEPOSITATO PRESSO SABAP-BO	
<i>Rilievo del quadro fessurativo</i>	SI
<i>Rilievo fotografico</i>	SI
<i>Progetto di messa in sicurezza</i>	NO
<i>Progetto preliminare</i>	
<i>Progetto definitivo e/o esecutivo</i>	
ALTRI RILIEVI FOTOGRAFICI	
<i>Foto Proff. D. Ferretti e E. Coisson - 2012</i>	NO
<i>Foto di E. Zanazzi - 2020</i>	SI
ALTRE FONTI	NO

VILLA LA GIOVANNINA, SAN GIOVANNI IN PERSICETO		BO
CODICE SABAP-BO: 037053_8		COORDINATE UTM: 44° 44' 6.372" - 11° 15' 48.4943"
		CONFORMAZIONE ARCHITETTONICA-PLANIMETRICA <p>Da sempre adibita a residenza signorile, la Villa viene anche denominata Castello per via della sue torri merlate che l'accomunano strutturalmente alla tipologia costruttiva delle architetture fortificate. L'assetto planimetrico è costituito da un edificio a pianta quadrata con quattro torri angolari. Si articola in elevato su due piani, più un piano seminterrato. In pianta entrambi i piani presentano al centro uno spazio distributivo allungato, una sorta di doppia loggia sovrapposta secondo l'uso bolognese.</p>
EVOLUZIONE STORICA: FASI COSTRUTTIVE, INTERVENTI		
<p>Il nucleo originario di Villa o Castello della Giovannina, edificato tra la fine del XV e l'inizio del XVI secolo, viene ampliato con l'aggiunta delle torri a metà XVI secolo, acquisendo la tipica struttura delle residenze di campagna cinquecentesche. L'aspetto della villa sarà poi ulteriormente modificato a seguito di restauri in stile realizzati tra il 1897 e il 1902 a opera dell'architetto Ceri: sopraelevazione delle torri di 5 metri, aggiunte in stile neo-medievale, decorazioni degli interni in stile liberty. A questa fase risalgono anche il muro di cinta che delimita il parco della villa e l'oratorio.</p>		
 <p> Rivestimento in piastrelle ceramiche d'epoca h=1.00 m Volta a botte lunettata non affrescata Volta a padiglione non affrescata Volta a botte lunettata Volta a padiglione Cornice in stucco crosta Volta a padiglione lunettata Piatto in legno h=3.18 m Rivestimento in piastrelle ceramiche h=1.00 m Volta a padiglione Volta a crociera Volta a crociera Volta a botte Volta a padiglione non affrescata Volta a scrifo Volta a scrifo Volta a padiglione non affrescata Rivestimento in linoleum h=1.00 m Volta a padiglione lunettata con trattenitori disposti a otello Pannello in cartongesso Vano con controsoffitto h=2.50 m Volta a padiglione Volta a botte lunettata </p> <p> PIANTA PIANO TERRA - Scala 1:100 (quota passaggio sezione + 2,50) </p>		

PANORAMICA DEI PRINCIPALI MECCANISMI DI DANNO	
<p>Tra i meccanismi più evidenti riguardanti le torri si annoverano: martellamento tra la struttura della torri e il corpo di fabbrica della villa, che causa lesioni sub-orizzontali che si irradiano dalla quota in cui i corpi della torre sveltano rispetto al corpo di fabbrica più basso; lesioni a taglio diagonali incrociate sia nelle fasce murarie che nei maschi murari; lesioni diagonali in corrispondenza dei cantonali che lasciano propendere per il possibile ribaltamento dello stesso; ribaltamento fuori dal piano dei merli o attivazione del meccanismo con lesioni orizzontali alla base del merlo. Corpo di fabbrica delle villa: lesioni diagonali da taglio in corrispondenza delle aperture; lesioni negli impalcati e nelle volte.</p>	
PANORAMICA DEI RELATIVI INTERVENTI	
<p>Non è stato possibile accedere alla documentazione relativa ai progetti di consolidamento.</p>	
FONTI CONSULTATE	
SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO	SI
VALUTAZIONE ECONOMICA	SI
MATERIALE DEPOSITATO PRESSO SABAP-BO	
<i>Rilievo del quadro fessurativo</i>	SI
<i>Rilievo fotografico</i>	SI
<i>Progetto di messa in sicurezza</i>	
<i>Progetto preliminare</i>	
<i>Progetto definitivo e/o esecutivo</i>	
ALTRI RILIEVI FOTOGRAFICI	
<i>Foto Proff. D. Ferretti e E. Coisson - 2012</i>	SI
<i>Foto di E. Zanazzi - 2020</i>	SI
ALTRE FONTI	

ROCCA STELLATA DI BONDENO		FE
CODICE SABAP-BO: 038003_13	COORDINATE UTM: 44° 57' 1.5753" - 11° 25' 21.9928"	
	CONFORMAZIONE ARCHITETTONICA-PLANIMETRICA	
	<p>Il rigoroso impianto planimetrico è costituito da una stella a quattro punte, inscritta in un quadrato, ai cui vertici, orientati secondo le direzioni cardinali, sono presenti guardiole a pianta circolare con cupolette emisferiche. L'intero edificio si caratterizza per le massicce murature perimetrali e per la scarpa alla base. I prospetti sono segnati strette feritoie, a livello del piano primo si aprono cinque ampie finestre di forma quadrata strombate. L'edificio, compatto e massiccio, si sviluppa su tre livelli fuori-terra tramite la sovrapposizione di 3 ampie volte: piano terra rialzato, piano primo e il "piano di guardia". È inoltre presente un piano seminterrato non accessibile per via del deposito di detriti, da imputare alle periodiche esondazioni del fiume Po.</p>	
EVOLUZIONE STORICA: FASI COSTRUTTIVE, INTERVENTI		
<p>Collocata in un punto strategico di difesa del territorio e di controllo dell'attività fluviale insieme alla rocca di Ficarolo sulla sponda opposta, la rocca venne edificata nel 1380 per volere di Niccolò d'Este e successivamente rafforzata nel 1433. Soggetta a numerosi attacchi da parte dei Veneziani, la Rocca di Stellata fu più volte oggetto di demolizioni e ricostruzioni: 1510 distrutta dai veneziani; 1157 riedificazione della rocca, distrutta nel 1587. La rocca fu poi ricostruita circondata da cinta di bastioni. Già nel XVII secolo però l'importanza strategica della Rocca venne scemando con l'evolversi delle tecniche militari e l'edificio fu riadattato prima a caserma ed in seguito a residenza, con notevoli modifiche all'assetto interno ed esterno. In particolare a questo periodo risalirebbe la messa in opera della copertura sopra i merli del piano di guardia. Ai primi anni '70 risale il progetto di restauro dell'Arch. F. Visser, che prevedeva il recupero sotto il profilo strutturale e la rifunzionalizzazione a destinazione culturale polivalente/spazio museale o congressuale della rocca. Si riconduce l'edificio alla sua ideale configurazione originaria, con la rimozione degli elementi incongrui e la ricostruzione delle parti lacunose. All'interno si ricompono l'unità spaziale demolendo i divisori. All'esterno vengono rimosse le tamponature di finestre e feritoie, ridisegnate le merlature al piano di guardia, ricostruiti i torrini d'angolo con la loro copertura emisferica. La copertura viene mantenuta e revisionata.</p>		
		

PANORAMICA DEI PRINCIPALI MECCANISMI DI DANNO



La volta che ricopre il primo piano presenta ampie fessure lungo le sue diagonali. Tali fessure in alcuni casi tendono a proseguire verticalmente lungo le pareti perimetrali. Inoltre si è manifestato un distacco centimetrico tra pareti e pavimentazione in corrispondenza degli spigoli concavi della muratura, mentre il distacco tende ad annullarsi in corrispondenza degli spigoli dei raggi. Si può quindi concludere che le pareti hanno manifestato segni di apertura e divaricazione, più significativi in corrispondenza delle concavità, dove per effetto del ridursi della luce, tendono a concentrarsi le spinte della volta. Poi, per effetto dello spostamento delle imposte, la volta ha manifestato le classiche lesioni intradossali che sono comparse in chiave degli archi di scarico, dove le pareti sono divaricate. In aggiunta il pilastro, collocato in falso al centro della suddetta volta e che sorregge la copertura, costituisce un carico concentrato che contribuisce a mettere in crisi la staticità della volta stessa. Si riscontrano inoltre fessurazioni nei maschi murari: fessure inclinate di 30 o 60 gradi dovute a distacchi di porzioni di muratura per punzonamento-strappo, dovuto alle spinte della struttura lignea; fessurazioni sotto le travi lignee per effetto delle trazioni dovute all'oscillazione sismica; fessure inclinate, caratteristiche della rottura a flessione e taglio. Concausa di tale quadro fessurativo è la mancanza di un sistema di incatenamenti in grado di assorbire le spinte delle grandi volte dell'impalcato.

PANORAMICA DEI RELATIVI INTERVENTI


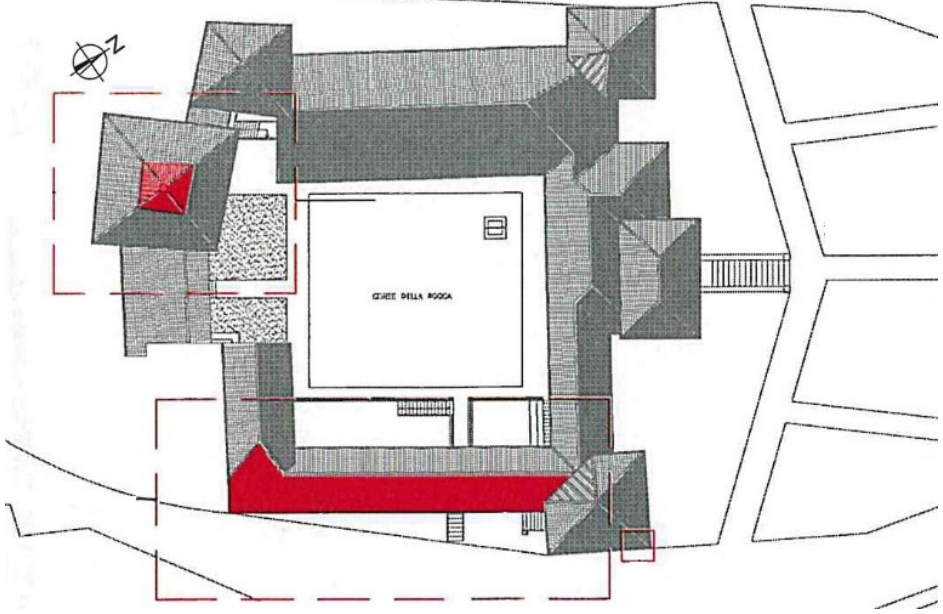
Opere provvisoriali. Puntellamento tramite coppia di capriate metalliche della zona centrale della volta superiore per compensare il carico concentrato trasmesso; in prossimità della chiave, dal pilastro sovrastante; sistema di catene per assorbire le spinte della volta; sbatacchiatura lignea delle aperture; cerchiatura esterna tramite funi metalliche, previa messa in opera di elementi lignei in aderenza alla muratura per evitarne il danneggiamento.

Progetto. Copertura: Consolidamento delle capriate lignee attraverso l'inserimento di connettori che consolidino il nodo strutturale catena lignea-muratura. Muratura: cuci-scuci (specialmente nei maschi murari del sottotetto e nei maschi che presentano lesione a flessione e a taglio al piano primo); realizzazione di ammorsamenti mancanti. Volte: sistema di incatenamento per assorbirne la spinta, ricucitura delle zone fessurate mediante l'inserimento di strisce in fibra di vetro, rese aderenti alla struttura con stucco e resina epossidica. Per quanto riguarda la volta che copre il piano primo si è reso necessario lo studio di un sistema che mettesse d'accordo le esigenze strutturali con quelle di fruibilità dello spazio. La struttura, disposta all'intradosso e ideata dallo studio Serafini, prende il nome di *ragno* ed è costituita da otto travi reticolari che contribuiscono a sorreggere e distribuire il peso del carico concentrato sovrastante, permettendo allo stesso tempo di fruire il vano al primo piano e quello del piano di guardia. Merlature: le murature dei merli appaiono gravemente lesionate, in particolare nei punti di appoggio dell'orditura del tetto. Saranno quindi cautamente smontate e rimontate, riutilizzando i laterizi originali, allettati con malta di calce eco-pozzolonica a ritiro compensato. La malta sarà colorata in pasta per la riconoscibilità dell'intervento. Torrini: completa rimozione degli intonaci, a base di malta cementizia, risalenti agli anni '70. Le lesioni saranno risarcite secondo la gravità del danno: stuccatura con malta strutturale a base di calce eco-pozzolonica e cunei di rovere, oppure cuci-scuci.

FONTI CONSULTATE	
SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO	SI
VALUTAZIONE ECONOMICA	SI
MATERIALE DEPOSITATO PRESSO SABAP-BO	
<i>Rilievo del quadro fessurativo</i>	SI
<i>Rilievo fotografico</i>	SI
<i>Progetto di messa in sicurezza</i>	SI
<i>Progetto preliminare</i>	SI
<i>Progetto definitivo e/o esecutivo</i>	SI
ALTRI RILIEVI FOTOGRAFICI	
<i>Foto Proff. D. Ferretti e E. Coisson - 2012</i>	NO
<i>Foto di E. Zanazzi - 2020</i>	NO
ALTRE FONTI	NO

CASTELLO DI SANTA BIANCA DI BONDENO		FE
CODICE SABAP-BO: 038003_883	COORDINATE UTM: 44° 51' 55.8881" - 11° 23' 28.8066"	
	CONFORMAZIONE ARCHITETTONICA-PLANIMETRICA	
	<p>Il complesso è costituito da due corpi di fabbrica, a due piani, a forma di ferro di cavallo disposti specularmente, ai quattro angoli i bastioni. L'accesso alla corte interna avviene dai due ingressi disposti rispettivamente al centro del Prospetto Nord e del Prospetto Sud.</p>	
EVOLUZIONE STORICA: FASI COSTRUTTIVE, INTERVENTI		
<p>Il complesso è datato intorno al XIX secolo.</p>		
		

PANORAMICA DEI PRINCIPALI MECCANISMI DI DANNO	
<p>I danni al fabbricato sono per lo più di modesta entità. In particolare si riscontrano: lesioni da taglio nelle pareti esterne e interne; danni agli impalcati (sfilamento delle travi o collassi localizzati). Inoltre si riscontrano danni per irregolarità di forma dovuti alla presenza di corpi costruiti addossati tra loro ma non adeguatamente ammortati, generando fenomeni di martellamento. Si riscontrano infine meccanismi a flessione e torsionali in uno dei bastioni del complesso.</p>	
PANORAMICA DEI RELATIVI INTERVENTI	
<p>Non è stato possibile accedere alla documentazione relativa ai progetti di consolidamento.</p>	
FONTI CONSULTATE	
SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO	SI
VALUTAZIONE ECONOMICA	SI
MATERIALE DEPOSITATO PRESSO SABAP-BO	NO
<i>Rilievo del quadro fessurativo</i>	
<i>Rilievo fotografico</i>	
<i>Progetto di messa in sicurezza</i>	
<i>Progetto preliminare</i>	
<i>Progetto definitivo e/o esecutivo</i>	
ALTRI RILIEVI FOTOGRAFICI	
<i>Foto Proff. D. Ferretti e E. Coisson - 2012</i>	NO
<i>Foto di E. Zanazzi - 2020</i>	NO
ALTRE FONTI	NO

ROCCA ESTENSE DI CENTO		FE
CODICE SABAP-BO: 038004_23	COORDINATE UTM: 44° 43' 29.1526" - 11° 17' 12.6657"	
	CONFORMAZIONE ARCHITETTONICA-PLANIMETRICA	
	<p>L'impianto della rocca si struttura attorno a una corte centrale, su cui si affacciano i quattro corpi di fabbrica organizzati su due livelli fuori terra e uno interrato. Il complesso consta anche di tre torri angolari, una torre portaia e, sul lato opposto ad essa, l'alto mastio.</p>	
EVOLUZIONE STORICA: FASI COSTRUTTIVE, INTERVENTI		
<p>La rocca, voluta dal vescovo di Bologna e costruita <i>ex-novo</i> a partire dal 1378, venne completata nel giro di pochi anni ed era circondata da un fossato. Dopo due assedi (1359-1443), la rocca venne adeguata militarmente nel 1483, per poi essere ampliata nel 1510 dal cardinale Giuliano della Rovere (in seguito Papa Giulio II). A metà XIX secolo fu adibita prima a caserma e poi a carceri, funzione che permase fino al 1969. Per adattarsi a tale funzione il fortilizio subì numerose modifiche, tra cui il tamponamento dello spazio inter-merlo. Successivamente la rocca venne restaurata e oggi ospita mostre e attività culturali.</p>		
		

PANORAMICA DEI PRINCIPALI MECCANISMI DI DANNO	
I danni riscontrati sono principalmente imputabili al sisma. Si rilevano: lesioni a taglio ai merli e alle strutture metalliche di sostegno alle coperture delle torri Nord-Est e Nord-Ovest, con rischio di scorrimento della copertura; lesioni al torrino del mastio con espulsione del cantonale; scivolamento del manto di copertura sul lato Est prospiciente la pubblica via.	
PANORAMICA DEI RELATIVI INTERVENTI	
Consolidamento murario dei merli delle torri Nord-Est e Nord-Ovest tramite intervento di scuci-cuci con malta di calce e pozzolana. Consolidamento del cantonale del torrino della torre Sud tramite scuci-cuci con l'utilizzo di laterizi originali e cerchiatura del torrino con tirati metallici; smontaggio e rimontaggio del manto di copertura con l'integrazione dei coppi mancanti e inserimento di opportuni ancoraggi metallici per evitare il rischio di scivolamento in futuro.	
FONTI CONSULTATE	
SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO	SI
VALUTAZIONE ECONOMICA	SI
MATERIALE DEPOSITATO PRESSO SABAP-BO	
<i>Rilievo del quadro fessurativo</i>	SI
<i>Rilievo fotografico</i>	SI
<i>Progetto di messa in sicurezza</i>	SI
<i>Progetto preliminare</i>	NO
<i>Progetto definitivo e/o esecutivo</i>	NO
ALTRI RILIEVI FOTOGRAFICI	
<i>Foto Proff. D. Ferretti e E. Coisson - 2012</i>	NO
<i>Foto di E. Zanazzi - 2020</i>	SI
ALTRE FONTI	NO

CASTELLO ESTENSE DI FERRARA		FE
CODICE SABAP-BO: 038008_313		COORDINATE UTM: 44° 50' 17.21" - 11° 37' 10.7285"
	CONFORMAZIONE ARCHITETTONICA-PLANIMETRICA	
	L'impianto è a corte centrale, attorno a questa si affacciano quattro corpi di fabbrica a tre livelli. Il complesso presenta inoltre quattro torri angolari sormontate da una lanterna, dei rivellini che presidiano gli ingressi e un ampio fossato allagato. L'aspetto della fortificazione è ingentilito dalle modifiche cinquecentesche: balconate e terrazzi con balaustre bianche al posto delle merlature.	
EVOLUZIONE STORICA: FASI COSTRUTTIVE, INTERVENTI		
<p>Il primo nucleo è individuabile nella Torre dei Leoni, si tratta di una torre di avvistamento precedente al XIII secolo. Nel 1264 gli Estensi costruirono, addossata all'originario nucleo, una rocca merlata. Per proteggersi dalle rivolte popolari, nel 1385 Nicolò II d'Este decise di commissionare a Bartolino da Novara il progetto di una grandiosa fortificazione. Il nuovo progetto prevedeva altre tre torri angolari, di uguale altezza con apparato a sporgere e copertura a falde, corpi di fabbrica di collegamento, anch'essi merlati, a chiusura del cortile, rivellini in corrispondenza degli ingressi del castello, un ampio fossato, un camminamento sopraelevato di collegamento al Palazzo Ducale. Fino al 1450 ebbe funzione militare, per poi divenire residenza signorile. Per adattarsi alla nuova funzione vi furono diversi interventi: sopraelevazione di un piano della Via Coperta, raddoppio dell'ala Est per realizzare lo scalone elicoidale, costruzione del porticato sul cortile. Sotto il dominio di Ercole II (1534-1559) con l'intervento di Girolamo da Carpi, il castello perse la sua immagine di fortilizio militare: altane, terrazzi e balconi sostituiscono gli originari camminamenti di ronda, balaustre in pietra bianca al posto delle merlature, ampie bifore invece delle feritoie, i corpi di fabbrica vengono elevati di un piano e costruiti fastosi scaloni. Nel 1570 un rovinoso terremoto danneggiò il castello. Con il dominio della Chiesa, dal 1598 al 1859, l'edificio non mutò sostanzialmente d'aspetto, tuttavia dovendo soddisfare funzioni d'ufficio furono messi in opera muri divisorii e soppalchi. Dall'Ottocento ad oggi sono state effettuate opere manutentive e di restauro, concentrate sui saloni di rappresentanza. Alla prima metà del XX secolo risalgono le demolizioni degli intonaci del cortile e l'abbattimento del rivellino Nord.</p>		
		

PANORAMICA DEI PRINCIPALI MECCANISMI DI DANNO

-4 torri: concentrazione dei danni nei volumi svettanti, per effetto di fenomeni di martellamento con i corpi attigui, e nelle lanterne, con crolli parziali delle lanterne della torre Santa Caterina e dei Leoni, per rotazione o slittamento dei piedritti. -4 corpi di collegamento: l'assetto strutturale è dato da lunghi setti murari che collegano le torri, di modesto spessore al secondo piano (aggiunta cinquecentesca) e dalla quasi assenza di setti trasversali. Tale configurazione ha dato luogo a lesioni da taglio nei setti trasversali e all'attivazione di meccanismi di ribaltamento fuori dal piano per il setti perimetrali. -Via Coperta: danni in adiacenza alla zona di collegamento con i corpi del Castello e del Palazzo Ducale, per effetto di fenomeni di martellamento. Oltre ai suddetti meccanismi globali sono presenti anche danni localizzati: diffuse lesioni sui prospetti esterni, crolli locali di camini, scorrimento dei manti di copertura e danni alle balaustre delle balconate.

PANORAMICA DEI RELATIVI INTERVENTI

Messa in sicurezza. La lanterna della torre dei Leoni è stata messa in sicurezza tramite un'intelaiatura metallica interna per evitarne il ribaltamento. Il paramento murario è stato consolidato con spritz beton e rete in fibra di vetro applicato sull'intera superficie della lanterna.

Progetto. Torri: consolidamenti locali delle strutture lignee di copertura danneggiate; inserimento di reticolari metalliche di piano in prossimità della quota di falda per la stabilizzazione e il consolidamento delle torri (opere specifiche sono previste per la copertura della torre Marchesana a causa di particolari criticità); realizzazione di intelaiature metalliche di stabilizzazione e rinforzo strutturale delle lanterne della torre Marchesana e della torre di San Paolo. Corpi di fabbrica: smontaggio delle coperture di tutti i corpi di collegamento. L'intervento di irrigidimento previsto in copertura è necessario per la stabilizzazione dei corpi di collegamento ed avviene mediante la realizzazione di un doppio tavolato chiodato ed incrociato collegato alle strutture di copertura (capriate) a formare un elemento irrigidente spaziale. Per fare ciò si prevede il ricorso sia a fissaggi con viti sia alla realizzazione di cordoli perimetrali in muratura rinforzata (inserimento fra i corsi di malta tessuto FRP in microtrefoli d'acciaio su matrice in fibra di vetro), paralleli alle gronde, e trasversali in legno in corrispondenza delle capriate. Oltre all'irrigidimento di falda sono previsti presidi in grado di contrastare la spinta delle pareti perimetrali. Al piano secondo si prevede la realizzazione di un diaframma in grado di costituire il vincolo per le pareti di prospetto mediante la messa in opera di un doppio tavolato, chiodato ed incrociato, connesso perimetralmente mediante piatti metallici inghisati nella muratura. L'obiettivo complessivo è quello di migliorare il collegamento tra i vari corpi evitando i fenomeni distorsivi che hanno dato origine al quadro riscontrato. Via Coperta: gli interventi da eseguirsi al piano sottotetto sono finalizzati al miglioramento della collaborazione tra pareti in muratura e gli orizzontamenti: consolidamento soletta esistente con rete estradossale in fibra di basalto e fili d'acciaio fissata per incollaggio alla soletta attraverso fiocchi perimetrali; irrigidimento del solaio esistente composto di tavole in legno mediante la posa di un ulteriore piano di legno connesso perimetralmente alla muratura mediante un angolare in acciaio zincato con inghisaggi ed alle travi esistenti mediante viti. Interventi alle balaustre: opere di ripristino delle grappe e delle zanche in piombo esistenti; installazione di stabilizzazioni in acciaio costituite da tubolari in acciaio zincato connesse mediante inghisaggi alla balaustra ed al piano in marmo della balconata, nel caso l'elemento non sia recuperabile è stata prevista la sua ricostruzione.

FONTI CONSULTATE	
SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO	SI
VALUTAZIONE ECONOMICA	SI
MATERIALE DEPOSITATO PRESSO SABAP-BO	
<i>Rilievo del quadro fessurativo</i>	SI
<i>Rilievo fotografico</i>	SI
<i>Progetto di messa in sicurezza</i>	SI
<i>Progetto preliminare</i>	SI
<i>Progetto definitivo e/o esecutivo</i>	SI (I e II stralcio)
ALTRI RILIEVI FOTOGRAFICI	
<i>Foto Proff. D. Ferretti e E. Coisson - 2012</i>	SI
<i>Foto di E. Zanazzi - 2020</i>	SI
ALTRE FONTI	SI (Materiale fornito da Provincia di Ferrara)

CASTELLO LAMBERTINI, POGGIO RENATICO		FE
CODICE SABAP-BO: 038018_711	COORDINATE UTM: 44° 45' 52.7477" - 11° 29' 6.9036"	
	CONFORMAZIONE ARCHITETTONICA-PLANIMETRICA	
	<p>Il complesso è caratterizzato da un impianto quadrilatero a corte interna, attorno alla quale si affacciano la torre e i quattro corpi, tutti a due livelli. È presente un livello interrato oggi solo parzialmente agibile in quanto, a seguito di un'alluvione degli anni '50, i vani sono stati interclusi da detriti. Le strutture di elevazione sono in muratura, con orizzontamenti voltati in fondazione, prevalentemente lignei in elevato, con l'eccezione di alcuni impalcati latero-cementizi, presumibilmente realizzati dove le esigenze funzionali hanno richiesto la modifica dell'originale configurazione strutturale e l'incremento della portata (es. archivi). La torre, crollata a seguito dell'evento sismico del 2012, si innestava nel corpo Ovest e costituiva l'ingresso principale alla corte interna. La torre a base quadrata si elevava per oltre 23 metri fuori terra.</p>	
EVOLUZIONE STORICA: FASI COSTRUTTIVE, INTERVENTI		
<p>Nel periodo medievale viene edificato il primo nucleo del castello: la torre gentilizia. A metà del XIV secolo Poggio Renatico diventa feudo dei Lamberti, ed è nel 1377 che si ha la prima testimonianza certa dell'avvio di un cantiere in prossimità un già esistente fortilizio. Nel 1475 il complesso viene fortemente rimaneggiato per farne residenza di caccia. Risale invece al 1660 il rifacimento pressoché integrale del castello. Verosimilmente potrebbe ascriversi a questa fase costruttiva la fisionomia attuale della corte. Nella seconda metà del XVII secolo il fossato viene interrato, la torre dell'orologio viene conclusa da una merlatura ghibellina e rimossa la copertura a quattro falde. Tra il 1897 e 1901 il complesso viene sottoposto a ulteriori ricostruzioni e ampliamenti su progetto dell'Ing. Carini: restauro in stile delle facciate, modifiche nella distribuzione interna, variazione delle quote degli impalcati. Al 1971 risalgono la demolizione delle volte e la costruzione di solai in latero cemento (ala Est). Nell'ultimo decennio nel XX secolo vengono eseguite opere di manutenzione.</p>		
		

PANORAMICA DEI PRINCIPALI MECCANISMI DI DANNO

I danni riportati sono gravi e diffusi in tutto il fabbricato. *La torre*: l'elemento strutturale maggiormente danneggiato. Collassata a seguito dell'evento sismico, provocando grave danneggiamento dei volumi adiacenti del corpo Ovest. Tale fenomeno è stato favorito dalla totale assenza di piani rigidi atti a conferire la scatolarità e a contrastare eventuali azioni dinamiche localizzate provenienti dall'interazioni con edifici ed elementi strutturali adiacenti; dalla scarsa qualità della muratura, assai prossima a un paramento a sacco conformata da muratura in mattoni pieni e malta di calce all'esterno o da pietrame incoerente e comunque non ammorsato a costruirne il nucleo; all'intrinseca debolezza della tessitura muraria, sono tutt'ora visibili gli impianti, le tubazioni e le forometrie (finestre) che, poste proprio in prossimità degli attacchi con gli edifici adiacenti, riducevano in maniera grave il livello di connessione ed ammorsamento dei setti in muratura. *Vano scala principale*: ribaltamento fuori dal piano della parete Nord che delimita il grande scalone sul lato che si affaccia sulla corte interna. Il fuori piombo massimo rilevato è 11 cm. Le cause di attivazione del meccanismo sono attribuibili al volume delle scalone privo di controventi e di adeguate ammorsature e alla copertura spingente in latero-cemento ad estradosso del soffitto voltato in arella. *Pilastri del portico*: presentano un quadro distorsivo significativo. Particolarmente critica appare la condizione dei pilastri, caratterizzati da lesioni verticali, tipiche di una crisi per compressione o pressoflessione, che difficilmente possono essere state indotte dai soli carichi verticali, peraltro modesti, ma sono da attribuire ad azioni non centrate o fuori dal piano. *Murature*: danno estremamente diffuso con crolli localizzati e distribuiti su diversi punti del fabbricato. Gli elementi più danneggiati sono rappresentati dalle tramezze interne, in buona parte collassate, ed il quadro fessurativo è da attribuire direttamente a due fattori: assenza di setti trasversali e mancanza di piani sufficientemente rigidi (che conferiscono comportamento scatolare). *Orizzontamenti*: presenza di strutture di copertura pesanti e spingenti che possono aver influenzato il danneggiamento dei setti murari, sia portanti che divisorii, che insieme alla torre costituiscono le aree maggiormente colpite dal sisma. Nello specifico si fa riferimento alle coperture a doppia falda latero-cementizie (tipo SAP) del tutto prive di catene o di elementi in grado di assorbire la spinta fuori dal piano.

PANORAMICA DEI RELATIVI INTERVENTI

Lesioni di diversi millimetri di apertura: cuci-scuci da realizzarsi con mattoni di recupero o aventi caratteristiche geometriche e meccaniche simili a quelle esistenti; interventi di iniezione con miscele a base di calce idraulica naturale. *Lesione di lieve entità*: interventi di rimozione dell'intonaco in corrispondenza della lesione e successivo ripristino con stesura di una rete in fibra di vetro e malta cementizia fibro-rinforzata ad elevata duttilità. Per i pilastri del portico, è stata effettuata la riparazione del danno mediante iniezioni, oltre alla messa in opera di cerchiatura con FRCC (fasce di tessuto unidirezionale in microtrefoli di acciaio galvanizzato su matrice a base di calce idraulica naturale) per il miglioramento delle resistenze del pilastro. Per la torre invece si è optato per un intervento di ricostruzione mantenendo lo stesso profilo e dimensioni, ma con un linguaggio contemporaneo: il rivestimento esterno è in pannelli corten, montati su una struttura metallica a sua volta connessa con quella portante in acciaio. La torre verrà interamente giuntata col corpo dell'edificio, dato il differente comportamento dinamico che la caratterizza. I montanti in acciaio, opportunamente controventati, saranno collegati attraverso gli impalcati rigidi in lamiera grecata con soletta collaborante. Verrà conservata la volta in muratura dell'ingresso, che sarà tuttavia giuntata dalla nuova struttura metallica in quanto la forometria da

realizzare attorno alle quattro colonne che lo attraversano, sarà dimensionata tenendo conto delle deformazioni della struttura.

FONTI CONSULTATE	
SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO	SI
VALUTAZIONE ECONOMICA	SI
MATERIALE DEPOSITATO PRESSO SABAP-BO	
<i>Rilievo del quadro fessurativo</i>	SI
<i>Rilievo fotografico</i>	SI
<i>Progetto di messa in sicurezza</i>	SI
<i>Progetto preliminare</i>	SI
<i>Progetto definitivo e/o esecutivo</i>	SI
ALTRI RILIEVI FOTOGRAFICI	
<i>Foto Proff. D. Ferretti e E. Coisson - 2012</i>	SI
<i>Foto di E. Zanazzi - 2020</i>	NO
ALTRE FONTI	NO

CASTELLO DEI PRINCIPI PIO, CARPI		MO
CODICE SABAP-BO: 036005_20	COORDINATE UTM: 44° 47' 0.3207" - 10° 53' 8.5011"	
	CONFORMAZIONE ARCHITETTONICA-PLANIMETRICA	
	L'ampio complesso monumentale si compone di vari corpi di fabbrica annessi in fasi successive, che disegnano tre corti interne. Il castello si caratterizza inoltre per la presenza di quattro torri: il torrione degli Spagnoli, la torre dell'orologio, la torre del Passerino-Bonaccolsi e la torre Uccelliera.	
EVOLUZIONE STORICA: FASI COSTRUTTIVE, INTERVENTI		
<p>Il nucleo originario del complesso è costituito dalla Torre del Passerino, attorno alla quale viene costruito, nella seconda metà del XIV secolo, un edificio fortificato. Probabilmente in questa fase viene edificata anche una torre in corrispondenza dell'attuale torrione degli Spagnoli. Tra il 1430 e il 1480, vengono avviati i lavori che daranno al castello l'aspetto attuale, più residenziale e meno militare. Tali ampliamenti e modifiche dell'esistente si concluderanno con Alberto III Pio nel primo ventennio del XVI secolo. In particolare vengono creati corridoi di collegamento tra le varie aree, costruite due torrette cilindriche angolari, di cui si conserva soltanto la cosiddetta Uccelliera, edificato nella forma attuale il Torrione degli Spagnoli e realizzati decorazioni e affreschi negli appartamenti nobili. Con l'avvento del dominio estense, dal 1527, il castello vivrà periodi di degrado e abbandono, alternati alle funzioni più disparate: ricovero truppe, carceri, allevamenti di bachi da seta, teatro, silos, deposito paglia, scuderie ducali, macello pubblico, uffici. Le modifiche più rilevanti realizzate sotto il dominio estense sono: ampliamento del corpo Nord, costruzione della torre dell'orologio, del teatro Gaspare Vigarani (1642) e delle stanze del vescovo (1779). Nel 1863 il Comune di Carpi acquista il Castello dei Pio, ad eccezione della Torre degli Spagnoli (ancora oggi di proprietà del Demanio). Dal 1914 è sede del Museo di Storia e Arte. Dal 1973, dopo importanti interventi di restauro effettuati negli anni '60, ospita il Museo del Deportato. È stato oggetto di interventi di consolidamento a seguito dei sismi del 1987 e del 1996.</p>		
		

PANORAMICA DEI PRINCIPALI MECCANISMI DI DANNO

Corpi di fabbrica. In facciata distacco dei paramenti murari tra loro, non adeguatamente ammorsati e risalenti a epoche diverse. Nel complesso i dissesti, fundamentalmente assenti al piano terreno, diventano più diffusi e più gravi man mano che si sale di quota (lesioni diffuse per scuotimento, sfilamento di elementi strutturali, martellamenti tra strutture mal ammorsate o con rigidzze diverse, fessurazioni su elementi spingenti). Non si riscontra l'attivazione di meccanismi fuori dal piano, mentre meccanismi a taglio nel piano sono presenti, ma di modesta entità.

Torrione degli Spagnoli. Dichiarato parzialmente inagibile dopo il terremoto, presenta lesioni da taglio nelle fasce murarie e nelle volte e parziale crollo di due merli, di cui uno d'angolo.

Torre dell'orologio. La cella campanara presenta lo scorrimento di oltre 5 cm, lungo un piano orizzontale, dei pilastri. Si riscontrano inoltre lesioni sulle volte e il distacco tra i paramenti murari di epoche successive.

Torre del Passerino. Caduta di un merlo a causa del cedimento della muratura sottostante, in cui erano inserite, tra due fodere murarie accostate e non ammorsate, le barre d'ancoraggio del merlo. Le fessure dell'ultimo livello evidenziano il distacco dei due angoli occidentali, contrastato dalla catena inserita dopo il sisma del 1996. Inoltre sono presenti numerose lesioni da taglio sulle pareti in corrispondenza del piano terzo e del sottotetto.

PANORAMICA DEI RELATIVI INTERVENTI

Corpi di fabbrica. Nel complesso il progetto ha previsto la rimozione di solai rigidi in laterocemento realizzati negli anni '60, con l'inserimento di solai più leggeri, il collegamento dei solai in legno con le pareti portanti, opere di cuci-scuci per le lesioni di maggior entità rilevate nelle pareti verticali, il consolidamento delle volte mediante rimozione dei pavimenti e dei sottofondi, riempimento con argilla espansa, con superiore soletta armata, connessa alle murature con spinottature e ferri continui ai bordi di incatenamento.

Torrione degli Spagnoli (messa in sicurezza). Creazione di un sistema di controvento di piano mediante inserimento di catene, per contenere il possibile fenomeno di ribaltamento della parete Est.


Torre dell'orologio. Il progetto prevede il consolidamento con centinatura metallica del sistema di archi che reggono la cella campanaria e l'irrigidimento dei pilastri della cella stessa, con introduzione di una tralicciatura metallica. Inoltre la muratura esterna e la cupola verranno consolidate con sistema scuci-cuci.

Torre del Passerino. Fasciatura in sommità con tiranti in acciaio per evitare il ribaltamento dei cantonali e centinatura delle aperture. Il progetto strutturale ha previsto: ripristino a scuci-cuci dei muri lesionati e incremento di rigidzza del tetto ligneo, collegandone tutti i nodi con barre inserite a resina, la ricostruzione del merlo crollato, inglobando due HEA fissati alla muratura con connettori a L e il ricollocamento di quello rimosso inserendovi due ferri piatti da saldare alle barre già presenti e fissate in profondità nella muratura. Dopo l'intervento strutturale potranno essere rimosse le opere provvisorie post-sisma, ripristinando gli archi delle finestre, rifinendo a faccia-vista le riprese del muro esterno, compresa la nuova muratura dei merli. Mentre il muro interno rifatto a scuci-cuci sarà intonacato a calce come in precedenza.


FONTI CONSULTATE	
SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO	SI
VALUTAZIONE ECONOMICA	SI
MATERIALE DEPOSITATO PRESSO SABAP-BO	
<i>Rilievo del quadro fessurativo</i>	SI
<i>Rilievo fotografico</i>	SI
<i>Progetto di messa in sicurezza</i>	SI
<i>Progetto preliminare</i>	SI
<i>Progetto definitivo e/o esecutivo</i>	SI (I e II stralcio)
ALTRI RILIEVI FOTOGRAFICI	
<i>Foto Proff. D. Ferretti e E. Coisson - 2012</i>	NO
<i>Foto di E. Zanazzi - 2020</i>	SI
ALTRE FONTI	NO

CASTELLO DI CARROBBIO, MASSA FINALESE, FINALE E.		MO
CODICE SABAP-BO: 036012_13		COORDINATE UTM: 44° 51' 25.3258" - 11° 12' 16.8212"
	CONFORMAZIONE ARCHITETTONICA-PLANIMETRICA	
	<p>L'ampio complesso è costituito da due corti interne, perimetrata da due corpi di fabbrica a ferro di cavallo disposti specularmente e collegate tra da un corpo centrale, avente quattro torri angolari ottagonali e un massiccio avancorpo d'ingresso. Anche i due corpi di fabbrica laterali presentano torri angolari. Tutto il complesso presenta caratteri formali neo-gotici: finestre ogivali, coronamenti merlati. I motivi decorativi e i cornicioni sono realizzati in pietra, cotto e cemento.</p>	
EVOLUZIONE STORICA: FASI COSTRUTTIVE, INTERVENTI		
<p>Il castello venne realizzato tra il 1898 e il 1900 in stile neogotico per volere del Conte di Carrobbio ed è ispirato al castello di Tovačov, di proprietà della moglie del Conte. A questa prima fase costruttiva risalgono il corpo centrale, la cinta muraria e i portali d'accesso. Tra il 1911 e il 1914 vengono aggiunti i corpi laterali, su progetto dell'Ing. Ettore Tosatti. In stato di abbandono per buona parte della seconda metà del XX secolo, l'edificio fu restaurato negli anni '90. Oggi non è utilizzato.</p>		
		

PANORAMICA DEI PRINCIPALI MECCANISMI DI DANNO	
<p>I principali meccanismi di danno riscontrati nelle torri sono: cedimenti di fondazione, meccanismo a flessione e ribaltamento del fusto della torre e ribaltamento delle merlature. Per quanto riguarda i corpi di fabbrica invece si segnala la presenza di rottura a flessione orizzontale delle pareti e collassi per irregolarità costruttive nell'apparecchiatura muraria per irregolarità di forma (fenomeni di martellamento tra strutture).</p>	
PANORAMICA DEI RELATIVI INTERVENTI	
<p>Non è stato possibile accedere alla documentazione relativa ai progetti di consolidamento.</p>	
FONTI CONSULTATE	
SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO	SI
VALUTAZIONE ECONOMICA	SI
MATERIALE DEPOSITATO PRESSO SABAP-BO	NO
<i>Rilievo del quadro fessurativo</i>	
<i>Rilievo fotografico</i>	
<i>Progetto di messa in sicurezza</i>	
<i>Progetto preliminare</i>	
<i>Progetto definitivo e/o esecutivo</i>	
ALTRI RILIEVI FOTOGRAFICI	
<i>Foto Proff. D. Ferretti e E. Coisson - 2012</i>	NO
<i>Foto di E. Zanazzi - 2020</i>	NO
ALTRE FONTI	NO

CASTELLO DELLE ROCCHES		MO
CODICE SABAP-BO: 036012_5		COORDINATE UTM: 44° 49' 59.7199" - 11° 17' 49.211"
		CONFORMAZIONE ARCHITETTONICA-PLANIMETRICA Attualmente l'impianto del castello di compone di un corpo di fabbrica ad L e tre torri angolari, più una torre portaia di dimensioni più ridotte sul fronte Sud. Lungo il fronte Nord corre un loggiato che originariamente si affacciava sul fiume Panaro, insieme al mastio, crollato integralmente a seguito dell'evento sismico del 29 maggio 2012.
EVOLUZIONE STORICA: FASI COSTRUTTIVE, INTERVENTI		
<p>La costruzione risale al 1213 e fu ulteriormente ampliata nel 1402, sotto il dominio di Niccolò III d'Este, su disegno di Bartolino Pioti da Novara. L'impianto era costituito da un corpo quadrilatero, con torri angolari e un mastio isolato, su un lato del quale scorreva il fiume Panaro, che alimentava il fossato. Nel 1425 vengono abbattute le mura di cinta, gli interni del castello si arricchiscono di affreschi e viene creato un altro ingresso a Est. Alla fine del XV secolo diviene residenza della famiglia estense e rimarrà tale fino alla fine del XVIII. Nel 1890, a seguito della deviazione del corso del fiume Panaro il fossato si prosciuga. A metà del XIX secolo il castello diviene di proprietà comunale. A lungo il piano terra sarà adibito a Magazzino del Sale, con conseguente grave erosione della muratura. Dal 1896 vennero eseguiti una serie di interventi di consolidamento e di restauro. Nei primi del '900 venne scavato il cortile per portare alla luce un piano sommerso dai detriti derivanti dalle periodiche inondazioni, intervento che provocò cedimenti fondali nel mastio. Il castello rimase in parte sede carceraria per tutta la prima metà del '900 e in parte occupato da botteghe. Solo negli anni '80 si avviarono i progetti per adibirlo a funzioni pubbliche.</p>		
		

PANORAMICA DEI PRINCIPALI MECCANISMI DI DANNO	
<p>Il castello delle rocche è stato interessato dal crollo totale del mastio a seguito della scossa del 29 giugno, precedentemente gravemente danneggiato da quella del 20 maggio. Per quanto riguarda la Torre Nord si denota un parziale crollo della copertura, causato dal ribaltamento della maggior parte dei merli (lati Nord, Ovest ed Est). Inoltre i cordoli rigidi in C.A. hanno contribuito al peggioramento del quadro fessurativo. I merli di questa torre presentano dei rientri nella parte centrale che possono aver inciso negativamente nella riposta sismica rispetto ai merli delle altre torri. Sempre nella suddetta torre si manifesta l'attivazione del meccanismo di ribaltamento fuori dal piano della parete Nord, che ha dato luogo a un quadro fessurativo composto da lesioni inclinate di circa 30 gradi sui prospetti Est e Ovest. Aperture nella parete Ovest e nicchie verticali di notevole estensione in quella a lato Est favoriscono l'attivazione del meccanismo. La lesione presente sui muri verticali prosegue anche sugli orizzontamenti della volta. Per quanto riguarda le altre due torri si denota un grave quadro fessurativo dell'apparato a sporgere (merli, beccatelli) e l'attivazione del meccanismo di ribaltamento del cantonale. Mentre nel lato Nord del corpo di fabbrica principale si sono verificati ribaltamenti fuori dal piano dei piedritti della loggia, con conseguenti crolli della copertura.</p>	
PANORAMICA DEI RELATIVI INTERVENTI	
<p><i>Messa in sicurezza</i> Le opere provvisorie che hanno riguardato le tre torri sono: rimozione del materiale crollato; cerchiatura esterna tramite ordini di tiranti disposti a quote diverse; costruzione di strutture in tubi e giunti interni al vano di sommità della torre, per il trattenimento dei merli per evitarne il ribaltamento fuori dal piano; realizzazione di una struttura interna in sommità con croci di controvento; sbatacchiatura in legno degli spazi vuoti tra i merli; ricostruzione delle porzioni di muratura di merli cadute mediante inserimento mattoni e malta di calce e infine chiusura delle principali lesioni sui merli con malta di calce speciale per il consolidamento di strutture storiche. Per la torre Nord sono stati inoltre effettuati la demolizione della porzione di copertura non crollata e il taglio e la posa a terra dei merli non crollati. Si fa notare che nella torre Nord non sono presenti i due ordini di incatenamenti metallici eseguiti recentemente nelle altre due torri.</p>	
FONTI CONSULTATE	
SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO	SI
VALUTAZIONE ECONOMICA	SI
MATERIALE DEPOSITATO PRESSO SABAP-BO	
<i>Rilievo del quadro fessurativo</i>	SI
<i>Rilievo fotografico</i>	SI
<i>Progetto di messa in sicurezza</i>	SI
<i>Progetto preliminare</i>	NO
<i>Progetto definitivo e/o esecutivo</i>	NO
ALTRI RILIEVI FOTOGRAFICI	
<i>Foto Proff. D. Ferretti e E. Coisson - 2012</i>	SI
<i>Foto di E. Zanazzi - 2020</i>	SI
ALTRE FONTI	NO

CASTELLO PICO, MIRANDOLA		MO
CODICE SABAP-BO: 036022_12-13	COORDINATE UTM: 44° 53' 20.8417" - 11° 3' 53.128"	
	CONFORMAZIONE ARCHITETTONICA-PLANIMETRICA	
	<p>Il grande complesso si sviluppa in pianta su di un'area di circa 2700 mq ed in elevazione su quattro piani, con un'altezza media pari a circa 4.50 m. Il complesso si compone un corpo principale adibito ad uso uffici, aula magna e museo ed un'altra, in cui sono presenti appartamenti privati e locali ad uso pubblico, riadattati e oggetto di interventi in periodi recenti.</p>	
EVOLUZIONE STORICA: FASI COSTRUTTIVE, INTERVENTI		
<p>Tra il XI e il XII avviene l'edificazione di un primo edificio con funzioni difensive, a pianta quadrilatera. A metà del '400 vengono effettuati ampliamenti e aggregazioni di edifici contigui alla fortificazione, secondo un impianto rinascimentale, convertendo il complesso da struttura medioevale difensiva a corte residenziale. Ma le maggiori trasformazioni dell'impianto originale risalgono al Seicento con la costruzione dell'Ala Nord-Est, durante il dominio di Alessandro I. Nei primi decenni del '700, a causa delle guerre di successione, il complesso monumentale subì numerose demolizioni e spogli, per poi essere abbandonato dal 1738 al 1750, quando fu adibito a caserma. Tra il 1783 e 1786 vennero eseguite ulteriori demolizioni, in particolare andarono distrutte le torri che circondavano il castello, ad esclusione della torre dell'Orologio. Prima di trovare l'attuale destinazione subì ulteriori modifiche dovute a cambi di destinazione d'uso.</p>		
		

PANORAMICA DEI PRINCIPALI MECCANISMI DI DANNO	
<p>Tra i principali meccanismi individuati annoveriamo: 1. Ribaltamento con spanciamento verso l'esterno del Prospetto Sud: le volte al piano terra presentano fessure da distacco della facciata ampie circa 10mm; al piano superiore, i solai, realizzati con voltini in laterizio su travetti in acciaio, si sono sfilati dalla parete di facciata di circa 50mm. 2. Lato Ovest: disgregazione della muratura per gravi lesioni da taglio, che lasci intravedere la stratigrafia muraria (paramenti esterni ordinati con malta di buona qualità e nucleo a sacco disordinato con malta scadente; attivazione del meccanismo di ribaltamento del cantonale. 3. In copertura il timpano presenta fenomeni di disgregazione, dovuti al martellamento delle travi stesse.</p>	
PANORAMICA DEI RELATIVI INTERVENTI	
<p><i>Messa in sicurezza.</i> Per evitare il ribaltamento dei fronti Nord, Ovest e Sud, è stato messo in opera un cerchiaggio esterno con funi, mentre per i fronti Sud ed Est è stata prevista una struttura di sostegno standard. Inoltre è stata effettuata la messa in opera di puntellature dei solai e delle travi e di centine e puntelli per sostegno delle volte e degli archi. Infine è stata eseguita la puntellatura-sbadacchiatura delle aperture nelle facciate.</p> <p><i>Progetto di consolidamento.</i> Il progetto di consolidamento ha previsto i seguenti interventi principali: scuci-cuci tradizionale o armato per le lesioni delle pareti verticali di maggior entità; riparazione delle lesioni di minore gravità tramite iniezioni di malta; per il ripristino della scatolarità e per il consolidamento della compattezza muraria sono stati previsti i seguenti interventi: ristilatura profonda di muratura, con e senza armatura di rinforzo; ristilatura armata d'angolo tra pareti ortogonali; rinforzo di pareti murarie con intonaco e rete bidirezionale in fibra di vetro; rinforzi metallici delle aperture; catene metalliche, collegamenti travi lignee-muratura, cordolo in copertura con piatto metallico.</p>	
FONTI CONSULTATE	
SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO	SI
VALUTAZIONE ECONOMICA	SI
MATERIALE DEPOSITATO PRESSO SABAP-BO	
<i>Rilievo del quadro fessurativo</i>	SI
<i>Rilievo fotografico</i>	SI
<i>Progetto di messa in sicurezza</i>	SI
<i>Progetto preliminare</i>	SI
<i>Progetto definitivo e/o esecutivo</i>	NO
ALTRI RILIEVI FOTOGRAFICI	
<i>Foto Proff. D. Ferretti e E. Coïsson - 2012</i>	SI
<i>Foto di E. Zanazzi - 2020</i>	SI
ALTRE FONTI	NO

ROCCA ESTENSE DI SAN FELICE SUL PANARO		MO
CODICE SABAP-BO: 036037_3		COORDINATE UTM: 44° 50' 20.1591" - 11° 8' 28.3746"
	CONFORMAZIONE ARCHITETTONICA-PLANIMETRICA	
	<p>Il complesso, caratterizzato da un impianto quadrangolare a corte interna, è costituito da quattro torri angolari merlate, di cui quella a Sud-Est è l'imponente mastio, e da una torre d'ingresso sul lato Nord. Le torri sono connesse tra loro da spesse cortine murarie, alle quali si addossano a Nord la casamatta e a Ovest l'ampio corpo di fabbrica su tre livelli.</p>	
EVOLUZIONE STORICA: FASI COSTRUTTIVE, INTERVENTI		
<p>Le prime fonti relative al castello risalgono al 927 D.C. Nel 1340 il duca Obizzo III d'Este fece erigere il nucleo originario della Rocca. Il complesso, a pianta quadrangolare, si componeva del mastio e di una cinta muraria bassa e merlata, con annessa torre portaia. All'inizio del XV secolo l'impianto difensivo della rocca viene arricchito con tre torri angolari, queste e le strutture già esistenti vengono coronate da apparato a sporgere (architetti, beccateli e merli), e poi coperte alla metà dello stesso secolo. Alla fine del XV secolo viene annesso il corpo di fabbrica a Ovest, che occupa una porzione del cortile interno. Nel corso del XVII secolo a causa dell'assenza di manutenzione la rocca versava in uno stato di degrado e abbandono, alla fine dello stesso secolo risalirebbe la costruzione della casamatta. Tra il 1830-31 vengono effettuati lavori di restauro, che probabilmente interessarono principalmente le coperture. A partire dal 1860, i piani alti della rocca vengono adibiti ad abitazione, ospitando nove famiglie. Nel corso del XX secolo il complesso subisce notevoli interventi: nel 1910 viene sopraelevato di un piano il corpo di fabbrica a Ovest, negli anni '20 viene inserito un serbatoio idrico nel mastio, negli anni '60-'70 vengono inseriti cordoli in C.A. per consolidare le coperture delle torri (ad eccezione del mastio). Intervento che si rivelerà fatale a seguito del sisma del 2012. Infine negli anni '80 fu restaurato il mastio, con rimozione del serbatoio.</p>		
		

PANORAMICA DEI PRINCIPALI MECCANISMI DI DANNO

Il corpo di fabbrica principale, a Ovest, è stato interessato da cedimenti fondazionali a seguito delle scosse sismiche, ma i danni di maggiore entità si rilevano sulle torri. Il mastio ha riportato evidenti lesioni a taglio diagonali e incrociate nel fusto. Inoltre l'attivazione dei meccanismi a flessione hanno comportato la formazione di un'ampia lesione alla base del mastio. Nel complesso queste lesioni mettono in evidenza la tendenza a ribaltamento fuori dal piano della struttura. L'attivazione di tali meccanismi ha comportato seri danni alle volte. Altri meccanismi rilevati nel mastio sono lesioni a taglio (diagonali e incrociate) delle merlature. Per quanto riguarda le altre torri, gli eventi sismici ne hanno causato lo scorrimento della copertura, con conseguente crollo e perdita dell'originario apparato a sporgere (merli e beccatelli). La causa di tale meccanismo è da ricercare nei cordoli in C.A. rigidi, inseriti nel corso dei restauri degli anni '60 e '70, materiale non compatibile con la muratura. Analoga causa ha generato l'espulsione all'angolo della torre portaia a Nord. Inoltre si sono riscontrati fenomeni di martellamento tra la struttura della torri e quella delle cortine murarie, con conseguenza tendenza al ribaltamento delle torri, evidentemente mal collegate alle altre strutture adiacenti. Anche in questo caso tali cinematismi hanno comportato conseguenti danni anche alle volte che suddividono i piani delle torri. La cortina muraria orientale presenta un fuori piombo di 16 cm, che induce a pensare all'attivazione di un meccanismo di ribaltamento fuori dal piano. Inoltre si è verificato il ribaltamento di uno dei merli della cortina e gli altri presentano lesioni orizzontali alla base, che fanno presupporre l'attivazione del medesimo meccanismo. La casamatta costruita addossata alla suddetta cortina presenta meccanismi di sfilamento delle travi.

PANORAMICA DEI RELATIVI INTERVENTI

Messa in sicurezza. Nel complesso, le operazioni effettuate includono: iniezioni, inserimento di tiranti e posizionamento di reti metalliche. Altre lesioni sono state sigillate con poliuretano espanso, e quindi con malta a base di calce. Dove possibile, tramite l'ausilio di cannule per l'iniezione in profondità, le lesioni sono state riempite con malta di calce e pozzolana, idonea per interventi di restauro. Nella porzione sommitale del mastio, sono state disposte delle reti metalliche, agganciate alla struttura tramite staffe in acciaio, per evitare la caduta a terra di laterizi o coppi. Lungo il fusto sono state inserite quattro catene in acciaio (una per lato). Inoltre è stato eseguito il tamponamento di una finestra collocata in corrispondenza dell'angolo maggiormente lesionato. Per quanto riguarda le altre torri si è cercato di ripristinare la compattezza muraria posizionando cavi d'acciaio longitudinalmente lungo il paramento murario, messi in opera praticando fori con carotatrici, poi riempiti con iniezioni di calce pozzolanica.

Progetto. Mastio: restauro della volta con la ricostruzione della porzioni mancanti, consolidamento all'estradosso e pulitura e integrazione degli intonaci. Ricostruzione dei merli con l'inserimento di strisce di rete di fibra di vetro a.r. per migliorare la connessione tra i muri, inoltre i merli saranno rinforzati con connettori verticali (microtrefoli in acciaio sigillati con malta di calce) collegati ai cordoli perimetrali. Torre Nord-Est: rimozione del telo a protezione della parte crollata e delle parti pericolanti, risarcitura delle lesioni e delle principali lacune, ricostruzione delle murature e della copertura. La porzione crollata è stata ricostruita con geometrie e materiali simili quelli originali, per cromia e rugosità, ma con filari di mattoni, disposti ogni 3 / 4 corsi, leggermente sporgenti, al fine di garantire la riconoscibilità delle porzioni ricostruite. I merli saranno ricostruiti con la stessa tecnica e con l'aggiunta dei presidi già menzionati per il mastio. Per migliorare la resistenza a trazione in estradosso dei beccatelli sono state poste in opera strisce di fibra di vetro disposte

orizzontalmente ai giunti della muratura e staffe in acciaio inossidabile internamente alla muratura. Il fusto della torre viene consolidato con inserimento di nuove catene. Torre portaia: le pozioni crollate verranno ricostruite in modo mimetico, come per la torre Nord-Est. La porzione ricostruita sarà collegata a quella originale mediante ristilature armate con lamine fibra di carbonio per evitare che si formino lesioni in corrispondenza del collegamento tra le due murature. Il fusto sarà consolidato con funi in acciaio zincato e capichave a paletto. Analoghi interventi sono stati effettuati sulle altre torri. Muro di cinta Nord: ricostruzione del merlo crollato con interventi di scuci-cuci e inserimento di connettori verticali; rifacimento delle coperture di modo che forniscano un adeguato ritegno orizzontale; cordoli lignei di collegamento tra merlo e copertura; ricostruzione della muratura crollata in corrispondenza della torre Nord-Est; tiranti di collegamento con la scala Nord, con la casamatta e le sue strutture lignee, con la torre Nord-Est e Nord-Ovest.

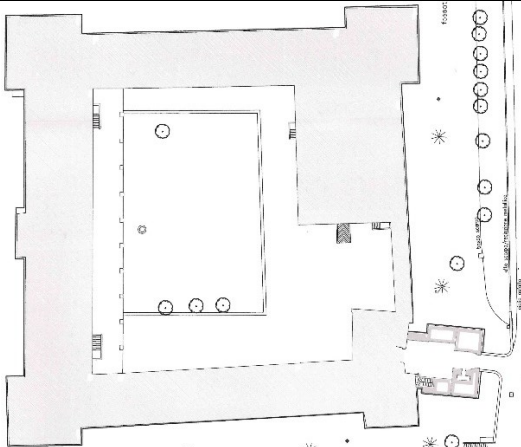
FONTI CONSULTATE	
SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO	SI
VALUTAZIONE ECONOMICA	SI
MATERIALE DEPOSITATO PRESSO SABAP-BO	
<i>Rilievo del quadro fessurativo</i>	SI
<i>Rilievo fotografico</i>	SI
<i>Progetto di messa in sicurezza</i>	SI
<i>Progetto preliminare</i>	SI
<i>Progetto definitivo e/o esecutivo</i>	SI
ALTRI RILIEVI FOTOGRAFICI	
<i>Foto Proff. D. Ferretti e E. Coisson - 2012</i>	SI
<i>Foto di E. Zanazzi - 2020</i>	SI (visita al cantiere - luglio 2020)
ALTRE FONTI	SI (Ferrari L., Goldoni G., Tesi di laurea)

CASTELLO CAMPORI, SOLIERA		MO
CODICE SABAP-BO: 036044_1		COORDINATE UTM: 44° 44' 17.7362" - 10° 55' 29.7542"
	CONFORMAZIONE ARCHITETTONICA-PLANIMETRICA	
	<p>L'impianto del complesso è strutturato secondo un impianto originario a corte quadrangolare, di cui si conservano tre corpi di fabbrica, quello a Sud si presenta decisamente più allungato a seguito di ampliamenti nel XVIII secolo. Su questo assetto si innesta un quarto corpo di epoca decisamente più recente. L'edificio consta anche di una torre portaia, detta dell'orologio, e di un'altra torre angolare, detta acetaia.</p>	
EVOLUZIONE STORICA: FASI COSTRUTTIVE, INTERVENTI		
<p>Le prime fonti documentarie in merito a un edificio militare a Soliera risalgono al 1106. Tuttavia l'originale impianto del castello risalirebbe al 1370, fatto erigere dagli Estensi. A metà del XV, la struttura viene arricchita di apparati difensivi dalla famiglia Pio, che, alla fine del XV secolo, trasformerà il fortilizio in un vero e proprio borgo fortificato. Con l'occupazione spagnola, nella prima metà del XVI secolo, la rocca cadde in stato di abbandono e di degrado. Nel 1600 il castello torna in mano agli Estensi e assume una configurazione vicina quella attuale: una corte interna, delimitata da due corpi di fabbrica e da due cortine murarie, attorno un largo fossato. Nel 1636 il castello diviene proprietà della famiglia Campori che opera degli interventi di manutenzione. Risalirebbe al XVIII secolo l'ampliamento del corpo longitudinale a Sud, oltre il ponte levatoio, e l'abbattimento delle cortine murarie, interventi finalizzati a dare al complesso fortificato un aspetto più residenziale. A metà dell'800 il complesso ha già raggiunto la configurazione attuale, sparisce il ponte levatoio per lasciare posto a uno permanente in pietra.</p>		
		

PANORAMICA DEI PRINCIPALI MECCANISMI DI DANNO	
<p>Gravi lesioni e crolli parziali (concentrati soprattutto in corrispondenza dei rinfianchi rigidi) delle volte in foglio del terzo orizzontamento, a causa del loro esiguo spessore; lesioni nelle murature al primo livello per mancanza di controventi adeguati e di collegamenti tra le pareti con conseguente deformazione delle volte e per via delle coperture spingenti; lesioni da taglio sulle pareti delle torri, soprattutto nella parte svettante.</p>	
PANORAMICA DEI RELATIVI INTERVENTI	
<p>Consolidamento delle volte in foglio: ricostruzione delle porzioni crollate, posa in opera di un cordolo con profilo a L, consolidamento dell'estradosso con betoncino e fibre, applicazione di fasce di fibra di carbonio. Sostituzione della copertura spingente. Torre acetaia: cerchiatura esterna con profili in acciaio, all'interno collocata maglia in fibra di carbonio collegata alla muratura tramite tassellature, consolidamento del torrino sommitale tramite due cerchiature con profili in acciaio. Torre dell'orologio si prevedono due ordini di tiranti interni per ciascun lato della torre, con capochiave esterni, consolidamento della copertura con nuovo tavolato, ritesatura delle catene esistenti, chiodatura e staffatura degli elementi lignei esistenti, dove necessario, cucì-scuci a risarcitura delle lesioni più significative, cerchiatura interna del torrino per evitarne il ribaltamento.</p>	
FONTI CONSULTATE	
SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO	SI
VALUTAZIONE ECONOMICA	SI
MATERIALE DEPOSITATO PRESSO SABAP-BO	
<i>Rilievo del quadro fessurativo</i>	SI
<i>Rilievo fotografico</i>	SI
<i>Progetto di messa in sicurezza</i>	SI
<i>Progetto preliminare</i>	SI
<i>Progetto definitivo e/o esecutivo</i>	SI
ALTRI RILIEVI FOTOGRAFICI	
<i>Foto Proff. D. Ferretti e E. Coisson -</i>	NO
<i>Foto di E. Zanazzi - 2020</i>	SI
ALTRE FONTI	NO

CASTELLO GUIDOTTI, FABBRICO		RE
CODICE SABAP-BO: 035021_7	COORDINATE UTM: 44° 52' 18.4417" - 10° 48' 28.649"	
	CONFORMAZIONE ARCHITETTONICA-PLANIMETRICA	
	<p>La pianta del castello è quadrangolare e organizzata attorno a una corte centrale con loggiato, a cui si accede tramite una porta morta. L'ala Ovest è il corpo di fabbrica più alto ed è composto da 3 piani fuori terra. Nell'angolo Nord-Est è ancora visibile una porzione dell'originario muro di cinta.</p>	
EVOLUZIONE STORICA: FASI COSTRUTTIVE, INTERVENTI		
<p>Il sedime, su cui oggi sorge il castello Guidotti, presentava già una struttura fortificata a fine X secolo. Nella seconda metà del XV secolo vengono edificate le mura di cinta, quattro torrioni angolari e una struttura interna adibita a residenza in caso d'assedio. Il complesso era dotato di due ingressi. Tuttavia il castello quattrocentesco venne distrutto a seguito delle guerre asburgiche, per essere poi ricostruito a partire dal 1559, realizzando un quadrilatero fortificato secondo il modello del fronte bastionato all'italiana, che tuttavia venne distrutto circa 10 anni dopo per lasciare spazio, alla fine del XVI secolo, alla costruzione di un nuovo palazzo ad uso prevalentemente residenziale. Tale struttura sarà poi in parte demolita e ricostruita dai Guidotti nel corso del Seicento, che la utilizzeranno sia come abitazione, ma anche come magazzini di sale e filanda. A cavallo tra Settecento e Ottocento i Guidotti arricchiscono l'apparato decorativo del castello. A metà Ottocento un nuovo ampio restauro trasforma radicalmente il castello in elegante villa signorile, impianto fino ad oggi rimasto immutato.</p>		
		

PANORAMICA DEI PRINCIPALI MECCANISMI DI DANNO	
I danni sono di entità moderata e così riassumibili: fessurazioni nei maschi murari e nelle fasce di piano dei prospetti Sud, Ovest ed Est; distacco tra la struttura della scala e la parete Est.	
PANORAMICA DEI RELATIVI INTERVENTI	
<i>Progetto.</i> Le lesioni nei maschi e nelle fasce murarie sono stati riparati mediante risarciture con miscela costituita da malta di calce e sabbia. Le carenze di collegamenti tra setti murari sono state ridotte mediante la posa in opera di catene metalliche con capochiave a paletto all'esterno o piastra all'interno per evitare interferenze con le modanature. La struttura della scala è stata ancorata alla parete tramite la posa di fasce di tessuto in fibra di carbonio bidirezionale. Infine sono state poste in opera catene in acciaio in corrispondenza degli archi d'ingresso a Nord.	
FONTI CONSULTATE	
SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO	SI
VALUTAZIONE ECONOMICA	SI
MATERIALE DEPOSITATO PRESSO SABAP-BO	
<i>Rilievo del quadro fessurativo</i>	SI
<i>Rilievo fotografico</i>	SI
<i>Progetto di messa in sicurezza</i>	
<i>Progetto preliminare</i>	
<i>Progetto definitivo e/o esecutivo</i>	
ALTRI RILIEVI FOTOGRAFICI	
<i>Foto Proff. D. Ferretti e E. Coisson - 2012</i>	NO
<i>Foto di E. Zanazzi - 2020</i>	SI
ALTRE FONTI	NO

ROCCA DEI GONZAGA, NOVELLARA		RE
CODICE SABAP-BO: 035028_1		COORDINATE UTM: 44° 50' 40.9661" - 10° 43' 52.8065"
	CONFORMAZIONE ARCHITETTONICA-PLANIMETRICA	
	<p>Il complesso risulta isolato, privo quindi di interazioni con le altre costruzioni. La Rocca presenta un impianto quadrangolare a corte interna, su cui si affacciano i quattro corpi di fabbrica, collegati da quattro torrioni angolari. Il quadrilatero presenta lati di circa 90 metri, mentre lo spessore delle quattro ali varia tra gli 11 e 16 metri circa. L'ala Sud si distingue dalle altre in quanto molto più stretta in pianta, circa 3 m, componendosi della sola cortina muraria, a cui è addossato il Teatro nell'angolo Sud Est, di pianta rettangolare di 19mx29m circa. Mentre sul lato opposto della corte, nell'ala Nord, è presente un loggiato. All'esterno del quadrilatero, nell'angolo Sud-Ovest, si colloca il Rivellino, posto a protezione dell'ingresso della Rocca. Questa torre presenta un basamento (i primi quattro livelli) con pianta rettangolare di 5m x14m. Mentre i quattro torrioni angolari hanno pianta quadrata di lato pari a 15 m circa e sporgono dal filo esterno del quadrilatero di 3.50 m circa.</p>	
EVOLUZIONE STORICA: FASI COSTRUTTIVE, INTERVENTI		
<p>Sulle preesistenze di una fortificazione probabilmente risalente al XII secolo, viene avviata dai Gonzaga, tra il 1452 e il 1464, l'edificazione della rocca, che acquisirà le fattezze compiute solo a metà Cinquecento. Nella seconda metà del Cinquecento la rocca viene innalzata di un piano. Negli anni '70 del XVII secolo viene costruita la torre. Con l'estinzione della famiglia dei Gonzaga (1729), la rocca attraversa un periodo di abbandono, con conseguenti spoliazioni e demolizioni. Nei secoli XIX-XX la rocca subisce interventi per adattamento ad uso uffici: suddivisione degli ambienti, imbiancatura delle pareti. Tra gli anni '80 e '90 del XX secolo vennero eseguiti lavori di ristrutturazione, in particolare delle ali Nord, Est e Ovest e del Teatro.</p>		
		

PANORAMICA DEI PRINCIPALI MECCANISMI DI DANNO	
<p>Nel complesso il quadro fessurativo è di entità moderata. Si riscontrano in particolare lievi cedimenti fondali; instabilità verticale delle pareti perimetrali, prive di adeguati muri di controvento, con elevate altezze interpiano e mal collegate ai solai (impalcati in legno o volte spingenti); lesioni in corrispondenza della zona di connessione tra corpo Ovest e Torrione d'angolo Nord-Ovest; tendenza al ribaltamento fuori dal piano dei pilastri esili del loggiato, anche a causa della copertura spingente. Nel corpo Ovest si riscontrano il collasso di alcune capriate lignee; lesioni alle volte per carichi concentrati (uso ad archivio, muri in falso). Per quanto concerne il Rivellino non si riscontrano lesioni gravi, ad eccezione di alcuni fenomeni di ribaltamento localizzati. Inoltre l'edificio presenta alcune vulnerabilità intrinseche: assenza di connessione degli elementi lignei degli orizzontamenti tra loro e con la muratura portante, di adeguati sistemi di cerchiatura per il mantenimento di un comportamento scatolare, presenza di volte spingenti.</p>	
PANORAMICA DEI RELATIVI INTERVENTI	
<p>Messa in opera di tiranti metallici per smorzare l'azione spingente delle volte in laterizio sulle pareti portanti e per dare maggiore stabilità a quest'ultime, ripristinando la scatolarità del fabbricato. Le lesioni già presenti nelle murature portanti sanno riparate attraverso tecnica scuci-cuci. I pilastri del loggiato: verranno sostituiti gli elementi in laterizio danneggiati e non più recuperabili e messe in opera cerchiature metalliche. Per il consolidamento delle volte si prevede, previa rimozione pavimento e svuotamento del rinfianco, la messa in opera di soletta collaborante connesse ai muri perimetrali con cuciture armate, riempimento con rinfianco alleggerito. Per quanto riguarda il Rivellino, è stata messa in opera una cerchiatura metallica esterna, al di sopra del cornicione, posta alla quota di 14,24 m.</p>	
FONTI CONSULTATE	
SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO	SI
VALUTAZIONE ECONOMICA	SI
MATERIALE DEPOSITATO PRESSO SABAP-BO	
<i>Rilievo del quadro fessurativo</i>	SI
<i>Rilievo fotografico</i>	SI
<i>Progetto di messa in sicurezza</i>	SI
<i>Progetto preliminare</i>	SI
<i>Progetto definitivo e/o esecutivo</i>	SI
ALTRI RILIEVI FOTOGRAFICI	
<i>Foto Proff. D. Ferretti e E. Coisson - 2012</i>	NO
<i>Foto di E. Zanazzi - 2020</i>	SI
ALTRE FONTI	NO

ROCCA DI REGGIOLO		RE
CODICE SABAP-BO: 035032_1	COORDINATE UTM: 44° 55' 4.4177" - 10° 48' 9.6963"	
	CONFORMAZIONE ARCHITETTONICA-PLANIMETRICA	
	<p>Il complesso fortificato è costituito da un mastio centrale, circondato da un muro di cinta contraffortato composto da quattro cortine murarie, ai cui angoli di connessione sono disposte torri aperte verso l'interno. È inoltre presente una piccola torre a protezione dell'ingresso principale. Lungo i lati interni di due delle cortine murarie sono inoltre presenti dei corpi di fabbrica ad un solo piano addossati alle stesse. Il mastio centrale, modificato all'inizio del 1400, è ora alto circa 36 metri e ha una muratura portante perimetrale che passa dai 2,30 m alla base a 1,80 m in sommità con 5 piani all'interno tra loro collegati da una scala in muratura.</p>	
EVOLUZIONE STORICA: FASI COSTRUTTIVE, INTERVENTI		
<p>Le prime opere di edificazione delle mura perimetrali della Rocca e di assetto del terreno circostante risalgono al secolo XIII per opera del Comune di Reggiolo, come difesa dai mantovani. Gli interventi nei secoli successivi hanno poi cancellato molte delle tracce degli elementi storici tipici delle architetture fortificate: le merlature originali, i beccatelli, le aperture di difesa, il barbancane, il fossato, le passerelle lignee in quota che connettevano le cortine murarie. In particolare la Rocca fu fortemente modificata dai Gonzaga a partire dal 1370: le merlature guelfe (piatte) del periodo reggiano diventano ghibelline (a coda di rondine); le mura passano da 8 m di altezza a 14 m; il mastio centrale da circa 16 m a 20 m. Al XVIII secolo risalgono parziali demolizioni di parte delle mura e delle torri; mentre l'interramento del fossato circostante sarebbe stato effettuato all'inizio del XX secolo. Tra il 1976 e il 1978 vengono effettuati interventi di consolidamento del mastio, tra il 1980 e il 1983 seguono interventi di consolidamento delle mura e delle corpi di fabbrica ad esse annesse. Negli anni '90 vengono realizzati interventi di riparazioni dei danni causati dal sisma del 1985.</p>		
		

PANORAMICA DEI PRINCIPALI MECCANISMI DI DANNO	
<p>I danni principali riguardano le merlature, oggetto di ribaltamenti fuori dal piano; l'innesto tra le mura perimetrali e le torri d'angolo: fenomeni di martellamento tra le due strutture e ribaltamenti fuori dal piano; i corpi di fabbrica addossati alle cortine murarie, che a seguito degli spostamenti fuori dal piano di quest'ultime, hanno manifestato scivolamento delle travi di copertura con conseguenti crolli. Altri danni delle coperture sono dovuti al crollo di altre strutture murarie su di esse. Meno danneggiato il mastio centrale alto e compatto, che per la sua omogeneità, forma e consistenza interna, ha subito danni gravi solo alle merlature.</p>	
PANORAMICA DEI RELATIVI INTERVENTI	
<p><i>Opere provvisoriale.</i> Smontaggio, previo rilievo di dettaglio, degli elementi non mantenibili per la garanzia della pubblica incolumità. In particolare si interverrà sui merli e sulla parte sommitale della muratura perimetrale. La messa in sicurezza della cinta muraria prevede il consolidamento dei due accessi ubicati a Nord e Sud mediante sbadacchiature; consolidamento tramite cerchiature delle parti di muratura che manifestano fuori piombo. Per quanto riguarda le torri: disposizione delle sbadacchiature nelle aperture, messa in opera di telai a scheletro metallico da inserire nel vuoto dei bastioni, non visibili dall'esterno. Quindi rimozione controllata delle macerie presenti nei cortili interni e messa in opera di coperture temporanee per i vani interessati dai crolli.</p> <p><i>Progetto preliminare.</i> Gli interventi progettuali e di consolidamento interessano il mastio, le mura perimetrali con torri annesse, e i due fabbricati (Est e Sud). I principali interventi di consolidamento sono mirati alla ricostruzione delle parti di mura e merli crollate nel 2012, tramite la posa in opera di laterizi pieni e malta di calce, secondo la tecnica tradizionale; ricostruzione delle geometrie dei merli originarie tramite strutture a secco in acciaio; restituzione del comportamento scatolare della fabbrica tramite l'inserimento di una passerella in acciaio alla stessa quota del camminamento di ronda originario, avente sia funzione di cordolo di collegamento trasversale tra le murature in sommità, sia di sistema percorribile per far comprendere ai visitatori l'originario uso degli spazi (passerella in quota). Per il consolidamento del mastio è stato previsto l'inserimento di piatti metallici all'intradosso della scala in muratura, sia come sostegno agli elementi a sbalzo sia per evitare deformazioni a taglio nel piano della muratura.</p>	
FONTI CONSULTATE	
SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO	SI
VALUTAZIONE ECONOMICA	SI
MATERIALE DEPOSITATO PRESSO SABAP-BO	
<i>Rilievo del quadro fessurativo</i>	SI
<i>Rilievo fotografico</i>	SI
<i>Progetto di messa in sicurezza</i>	SI
<i>Progetto preliminare</i>	SI
<i>Progetto definitivo e/o esecutivo</i>	NO
ALTRI RILIEVI FOTOGRAFICI	
<i>Foto Proff. D. Ferretti e E. Coisson - 2012</i>	SI
<i>Foto di E. Zanazzi - 2020</i>	SI
ALTRE FONTI	SI (progetto reperito sul sito del Comune di Reggiolo)

ROCCA ESTENSE DI SAN MARTINO IN RIO		RE
CODICE SABAP-BO: 035037_2	COORDINATE UTM: 44° 43' 56.7754" - 10° 47' 4.8045"	
	CONFORMAZIONE ARCHITETTONICA-PLANIMETRICA	
	<p>Il complesso si compone di un corpo di fabbrica con impianto quadrangolare a corte interna, che ospita un Museo la Biblioteca comunale, con un loggiato sul fronte interno Est. L'impianto consta inoltre di un Torrione disposto nell'angolo Nord-Est, mentre nell'angolo opposto è presente la Cappella di San Giovanni. Un corpo di fabbrica longitudinale, disposto in senso Nord-Sud, collega il suddetto complesso a un altro edificio a pianta quadrangolare, ospitante gli uffici comunali.</p>	
EVOLUZIONE STORICA: FASI COSTRUTTIVE, INTERVENTI		
<p>L'impianto attuale risalirebbe agli inizi del XIV secolo ed era originariamente costituito da un recinto fortificato di forma rettangolare, circondato da ampio fossato, e da quattro bastioni, tra cui quello a Nord Est è l'attuale torrazzo. Nel 1395 viene edificata la cappella facente parte del complesso. Nel XVI secolo, sotto il dominio di Filippo D'Este, la rocca viene riadattata a residenza e ampliata. Nella seconda metà del XIX secolo vengono demolite le mura della rocca. Nel corso del XIX secolo e fino agli inizi del XX secolo la rocca ospita funzioni di volta in volta differenti (abitazioni, uffici, granaio, sede scolastica), con conseguenti rimaneggiamenti. Nel 1977 viene restaurata ad opera del Comune. Già danneggiata dal sisma del 1996, subisce diversi interventi di consolidamento concentrati soprattutto nell'Ala Sud e Ovest: incatenamenti, scuci-cuci in corrispondenza delle lesioni, consolidamenti di volte e solai, rifacimenti dei manti di copertura. Probabilmente in questa fase avviene l'inserimento dei trefoli nella muratura dei merli del torrazzo per evitarne il ribaltamento. In generale il Torrazzo, nel corso del tempo, è stato soggetto a rimaneggiamenti che ne hanno indebolito la resistenza strutturale: annessione con edificio attiguo, eliminazione dei solai, demolizione della copertura soprastante i merli, che legava la struttura in sommità. La rocca è attualmente sede degli uffici comunali, della Biblioteca e del Museo dell'Agricoltura.</p>		
		

PANORAMICA DEI PRINCIPALI MECCANISMI DI DANNO	
<p>I principali danni hanno riguardato le parti dell'edificio non direttamente interessate dai consolidamenti eseguiti a seguito del sisma del 1996. Nei corpi di fabbrica il quadro fessurativo consta di lesioni diffuse, per lo più non passanti, in corrispondenza di aperture, tamponamenti e canne fumarie. Molte delle lesioni manifestatesi sono dovute alla natura estremamente composita delle murature, frutto di numerose fasi costruttive. Per quanto riguarda le coperture si rileva lo scivolamento dei coppi, con conseguente infiltrazione delle acque meteoriche. Nel loggiato della corte interna si riscontrano inoltre lesioni verticali, probabilmente da compressione, in corrispondenza di un capitello, tuttavia presumibilmente si tratta di un problema localizzato. Il torrazzo oltre a presentare danni lievi, quali caduta di calcinacci, lesioni agli architravi delle finestre, lesioni in corrispondenza della canna fumaria e allargamento delle lesioni esistenti; mostra un quadro fessurativo più preoccupante in corrispondenza delle merlature, in particolare cavillature orizzontali, tali da far pensare al rischio di caduta in caso di ulteriori scosse.</p>	
PANORAMICA DEI RELATIVI INTERVENTI	
<p>Le lesioni presenti nelle pareti murarie sono state riparate tramite scuci-cuci armato. Le piattabande in muratura danneggiate sono state consolidate mediante l'inserimento di armature di rinforzo. La lesione nel capitello della colonna del loggiato, oggi sottoposta a monitoraggio, è stata risarcita tramite l'iniezione di resina e con l'ausilio di perni. Per quanto riguarda il consolidamento dei merli, al fine di vincolarli alla muratura sottostante, in prima battuta era stato ipotizzato l'inserimento di due cuciture verticali all'interno delle murature per ciascun merlo, realizzate con barre dywidag 18 e sigillate tramite malta fluida (M15), più un ulteriore rinforzo tramite placcatura in fibre d'acciaio. Tuttavia a causa della presenza di trefoli all'interno dei merli del torrazzo, non precedentemente segnalati negli elaborati progettuali, forse risalenti a interventi post-sisma 1996, non è stato possibile effettuare il suddetto intervento. Quindi si è optato per la messa in opera di una rete di fibra d'acciaio, una fasciatura più ampia destinata a dare compattezza alle parti in laterizio scollegate o in cattivo stato di conservazione.</p>	
FONTI CONSULTATE	
SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO	SI
VALUTAZIONE ECONOMICA	SI
MATERIALE DEPOSITATO PRESSO SABAP-BO	
<i>Rilievo del quadro fessurativo</i>	SI
<i>Rilievo fotografico</i>	SI
<i>Progetto di messa in sicurezza</i>	SI
<i>Progetto preliminare</i>	SI
<i>Progetto definitivo e/o esecutivo</i>	SI
ALTRI RILIEVI FOTOGRAFICI	
<i>Foto Proff. D. Ferretti e E. Coisson - 2012</i>	NO
<i>Foto di E. Zanazzi - 2020</i>	SI
ALTRE FONTI	NO

ALLEGATO 2

PROPOSTA DI SCHEDA DI RILIEVO DEL DANNO PER LE ARCHITETTURE FORTIFICATE



SISMA

EMERGENZA POST-SISMA

**SCHEDA ANAGRAFICA
ARCHITETTURE FORTIFICATE - BENE COMPLESSO**

C₁ - RIFERIMENTO VERTICALE

Bene complesso <input type="radio"/>	Bene individuo <input type="radio"/>
Numero schede beni componenti totali <input type="text"/>	Codice livello superiore <input type="text"/>
Tipologia <input type="checkbox"/> chiesa <input type="checkbox"/> mura di cinta <input type="checkbox"/> palazzo <input type="checkbox"/> torre <input type="checkbox"/> teatro <input type="checkbox"/> bene archeologico <input type="checkbox"/> altro	
Pianta <input type="radio"/> regolare <input type="radio"/> a corte <input type="radio"/> ad ali aperte <input type="radio"/> lineare <input type="radio"/> altro <input type="text"/>	

C₂ - LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICO AMMINISTRATIVA

Regione <input type="text"/>	Codice Istat comune <input type="text"/>	<i>Indirizzo</i> 1 <input type="radio"/> via <input type="text"/> 2 <input type="radio"/> corso <input type="text"/> 3 <input type="radio"/> vicolo <input type="text"/> 4 <input type="radio"/> piazza <input type="text"/> 5 <input type="radio"/> località <input type="text"/> num.civico <input type="text"/>	
Provincia <input type="text"/>	<input type="text"/>		
Comune <input type="text"/>	<input type="text"/>		
Località <input type="text"/>	<input type="text"/>		
Sezione censuaria <input type="text"/>	N° complesso o aggregato <input type="text"/>		N° edificio <input type="text"/>
Foglio <input type="text"/>	Data <input type="text"/>	Particelle <input type="text"/>	Sub. <input type="text"/>

C₃ - COORDINATE UTM

Quadrante <input type="text"/>	Longitudine Est (x) <input type="text"/> ° <input type="text"/> '	Latitudine Nord(y) <input type="text"/> ° <input type="text"/> '	<input type="radio"/> Lettura GPS
--------------------------------	---	--	-----------------------------------

C₄ - OGGETTO

Denominazione bene: <input type="text"/>
Denominazione storica: <input type="text"/>
Datazione: anno <input type="text"/> secolo <input type="text"/> epoca <input type="text"/> Ultima trasformazione <input type="text"/>
Proprietà: <input type="text"/>
Utilizzatore: <input type="text"/>

C₅ - CARATTERISTICHE DEL SITO

In piano <input type="radio"/>	Su rilievo / su cresta / su vetta <input type="radio"/>	Su riporto <input type="radio"/>	In pendio / su versante <input type="radio"/>	Avvallamento <input type="radio"/>
--------------------------------	---	----------------------------------	---	------------------------------------

C₆ - CONTESTO URBANO E POSIZIONE

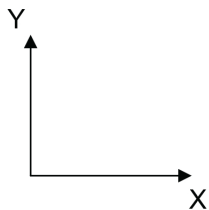
Centro urbano <input type="radio"/>	Periferia urbana <input type="radio"/>	Area industriale - commerciale <input type="radio"/>	Area agricola <input type="radio"/>	Centro storico <input type="radio"/>
Isolato <input type="radio"/>	Connesso con altri edifici <input type="radio"/>	su <input type="text"/> lati	Altro <input type="text"/>	

C₁₂ – EIDOTIPO E SUDDIVISIONE IN ELEMENTI

SCHEMATIZZAZIONE DELLA PLANIMETRIA E DELLA SEZIONE

(E' possibile utilizzare anche fotocopie di planimetrie, sezioni e prospetti, Indicando, comunque, la numerazione dei diversi elementi della costruzione)

ORIENTAMENTO



C_{M11} – RILIEVO DEL DANNO AGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI

I	COMIGNOLI	II	CORNICIONI	III	STATUE O AGGETTI	IV	RIVESTIMENTI O CONTROSOFFITTI RECENTI
V	RETE IDRICA , FOGNARIA O TERMOIDRAULICA	VI	RETE ELETTRICA O DEL GAS	VII	ALTRO.....	VIII	ALTRO.....

LIVELLO DI DANNO

0 - □□□□□ assenza di danno 1 - ■□□□□ danno lieve 2 - ■■□□□ danno moderato
 3 - ■■■□□□ danno grave 4 - ■■■■□□ danno molto grave 5 - ■■■■■□□ crollo

IDENTIFICAZIONE DEL DANNO

A - danno sismico
 B - danno pregresso
 C - aggravamento

ELEMENTI DANNEGGIATI	Livello di danno	p	LOCALIZZAZIONE	PROVVEDIMENTI DI P.I. SUGGERITI			
				PUNTELLAMENTI	RIPARAZIONE	TRANSENNATURE	ALTRO
	□ □ □ □ □	┘		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	□ □ □ □ □	┘		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	□ □ □ □ □	┘		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	□ □ □ □ □	┘		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	□ □ □ □ □	┘		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

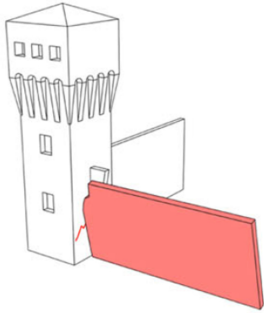
 NOTE.....

C_{M12}– MECCANISMI DI COLLASSO STRUTTURALI - MURA DI CINTA

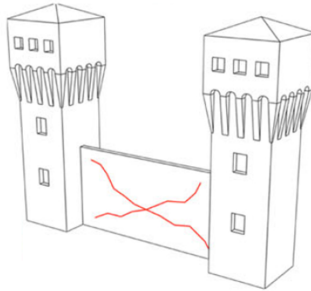
MACROELEMENTO	n	CODICE	MECCANISMO	
CORTINA MURARIA	┘┘	M26	<input type="checkbox"/>	RIBALTAMENTO DELLE PARETI
		M27	<input type="checkbox"/>	INSTABILITÀ VERTICALE DELLE PARETI
		M28	<input type="checkbox"/>	ROTTURA A FLESSIONE DELLE PARETI
ORIZZONTAMENTI	┘┘	M10	<input type="checkbox"/>	SFILAMENTO TESTA TRAVI E/O MARTELLAMENTO
		M11	<input type="checkbox"/>	COLLASSI LOCALI IMPALCATO O VOLTA
SCALE	┘┘	M14	<input type="checkbox"/>	DANNO ALLE SCALE
COPERTURE	┘┘	M15	<input type="checkbox"/>	DANNO AGLI ELEMENTI DI COPERTURA
		M16	<input type="checkbox"/>	DANNO AL MANTO DI COPERTURA
CORPI ANNESSI	┘┘	M21	<input type="checkbox"/>	DANNO NEI CORPI ANNESSI (CASAMATTA)
FONDAZIONI	■	M22	<input type="checkbox"/>	CEDIMENTO FONDAZIONI LOCALIZZATO
		M23	<input type="checkbox"/>	CEDIMENTO TERRAPIENO
IRREGOLARITÀ COSTRUTTIVE	□	M19	<input type="checkbox"/>	COLLASSI LOCALI PER IRREGOLARITÀ COSTRUTTIVE E DEL MATERIALE
DISCONTINUITÀ MATERICHE	□	M24	<input type="checkbox"/>	DISGREGAZIONE
		M25	<input type="checkbox"/>	DELAMINAZIONE
ELEMENTI AGGETTANTI/SVETTANTI	□	M18	<input type="checkbox"/>	DANNO AGLI ELEMENTI DI AGGETTANTI /SVETTANTI (GARITTE/TORRETTE)
MERLI	□	M32	<input type="checkbox"/>	MERLI: MECCANISMO A TAGLIO NEL PIANO
		M33	<input type="checkbox"/>	MERLI: MECCANISMO A RIBALTAMENTO FUORI DAL PIANO
BECCATELLI	□	M34	<input type="checkbox"/>	BECCATELLI: TRAZIONE ALL'INNESTO CON LA MURATURA PORTANTE
	□	M35	<input type="checkbox"/>	BECCATELLI: CEDIMENTO DELL'ARCO PER ALLONTANAMENTO DEI PIEDRITTI
ALTRO	□	M38	<input type="checkbox"/>
	□	M39	<input type="checkbox"/>

CORTINA MURARIA

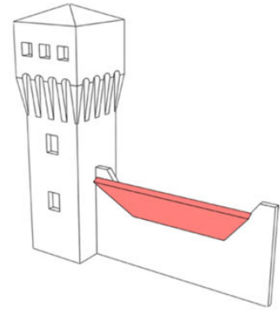
M26- RIBALTAMENTO



M27- MECCANISMO DI TAGLIO

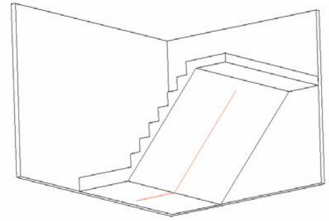
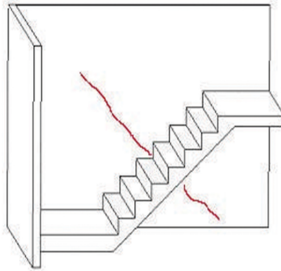
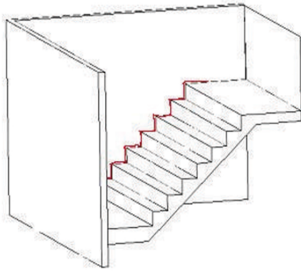


M28 - FLESSIONE ORIZZONTALE

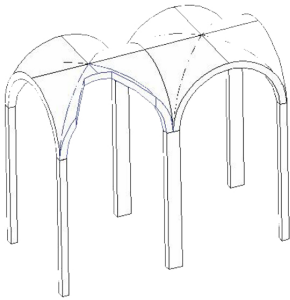


SCALE

M14- DANNO ALLE SCALE

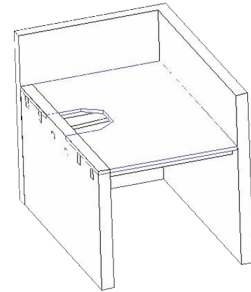
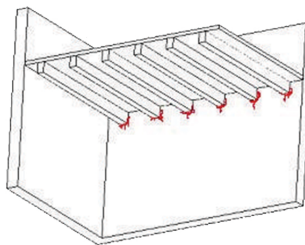


M11- COLLASSI ARCHI O VOLTE



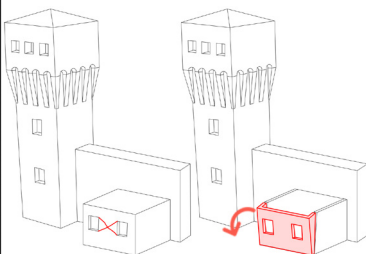
ORIZZONTAMENTI

M10- SFILAMENTO TRAVI DI TESTA/ COLLASSO IMPALCATI



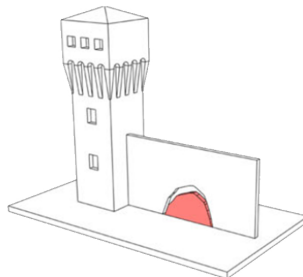
CORPI ANNESSI (CASAMATTA)

M21- DANNO NEI CORPI ANNESSI

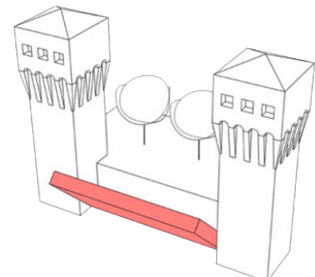


FONDAZIONI

M22- CEDIMENTO LOCALE



M23- CEDIMENTO TERRAPIENO

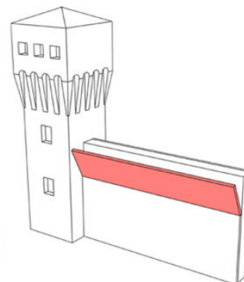
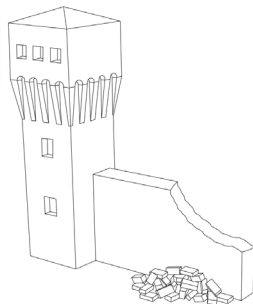
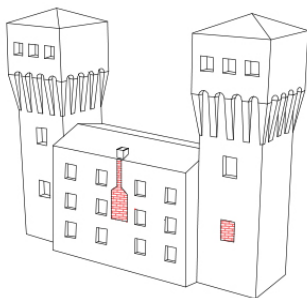


DISCONTINUITÀ MATERICHE

M19- IRREGOLARITÀ COSTRUTTIVE

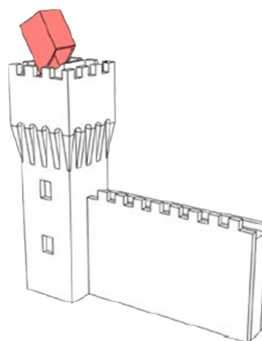
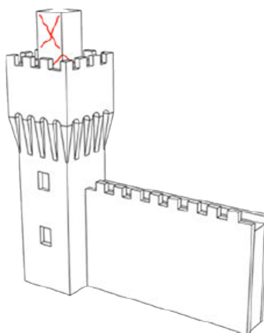
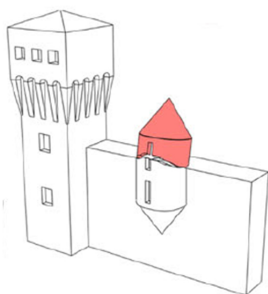
M24- DISGREGIAZIONE

M25- DELAMINAZIONE



ELEMENTI AGGETTANTI / SVETTANTI

M18- DANNO ELEMENTI AGGETTANTI (GARITTE, TORRETTE)

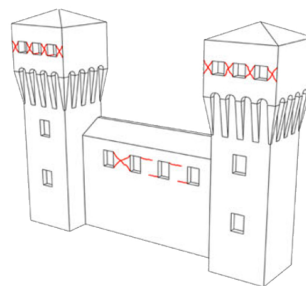
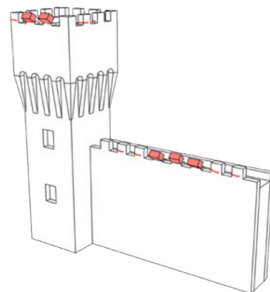
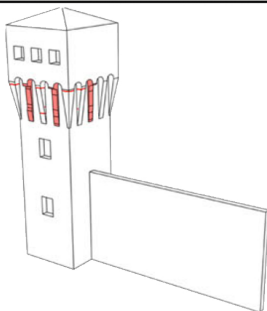


BECCATELLI

M34-35- DANNO AI BECCATELLI

MERLI

M33- RIBALTAMENTO FUORI DAL PIANO M32- TAGLIO NEL PIANO





SISMA

EMERGENZA POST-SISMA

**SCHEDA PER IL RILIEVO DEL DANNO AI BENI CULTURALI
BENE COMPONENTE - PALAZZO**

Prima Sezione

C_{P1}

Data	__ __	__ __	__ __ __ __	N° progressivo	__ __ __	N° Scheda	__ __ __ __ __
<i>(a cura dell'ufficio)</i>							

C_{P2} – OGGETTO

Denominazione bene individuo: _____

C_{P3} – CODICE SCHEDA BENE COMPONENTE

Numero progressivo: P __ __ __

C_{P4} – DESTINAZIONE D'USO ATTUALE

Uso	N° unità d'uso	Utilizzazione spaziale [%]				Utilizzazione temporale			Esposizione	
		>65	30÷65	< 30	0	Continuo	Saltuario	Non utilizzato	N° occupanti	Affollamento
Abitazione	<input type="checkbox"/>	__ __ __	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	__ __ __ __	<input type="checkbox"/>
Commerciale	<input type="checkbox"/>	__ __ __	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	__ __ __ __	<input type="checkbox"/>
Museo	<input type="checkbox"/>	__ __ __	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	__ __ __ __	<input type="checkbox"/>
Uffici	<input type="checkbox"/>	__ __ __	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	__ __ __ __	<input type="checkbox"/>
Servizi	<input type="checkbox"/>	__ __ __	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	__ __ __ __	<input type="checkbox"/>
Strategico	<input type="checkbox"/>	__ __ __	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	__ __ __ __	<input type="checkbox"/>
Altro	<input type="checkbox"/>	__ __ __	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	__ __ __ __	<input type="checkbox"/>

C_{P5} – TIPOLOGIA DEI BENI ARTISTICI PRESENTI

TIPOLOGIA		Num.	superficie	TIPOLOGIA		Num.	superficie
Affreschi	<input type="checkbox"/>	__ __	__ __ __	Dipinti mobili su vario supporto	<input type="checkbox"/>	__ __	__ __ __
Mosaici	<input type="checkbox"/>	__ __	__ __ __	Arredi (soffitti, amboni, pulpito, stalli corali)	<input type="checkbox"/>	__ __	__ __ __
Stucchi	<input type="checkbox"/>	__ __	__ __ __	Decorazioni plastiche mobili	<input type="checkbox"/>	__ __	__ __ __
Arazzi	<input type="checkbox"/>	__ __	__ __ __	Manufatti in carta e pergamena	<input type="checkbox"/>	__ __	__ __ __
Altari / statue	<input type="checkbox"/>	__ __	__ __ __	Reperti archeologici	<input type="checkbox"/>	__ __	__ __ __
Libri / Stampe	<input type="checkbox"/>	__ __	__ __ __	Altri	<input type="checkbox"/>	__ __	__ __ __

C_{P6} – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA – Realizzata da

SI <input type="radio"/>	NO <input type="radio"/>
--------------------------	--------------------------

C_{P7} – REGOLARITA', FORMA PLANIMETRICA E DATI DIMENSIONALI

	Regolare	Non regolare	FORMA IN PIANTA			
Pianta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/> rettangolare	<input type="radio"/> rett. allungata	<input type="radio"/> a L	
Elevazione	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/> a C	<input type="radio"/> a corti	<input type="radio"/> altro	
Disposizione muri interni	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Presenza di <input type="checkbox"/> porticati	<input type="checkbox"/> logge	<input type="checkbox"/> cavedii	<input type="checkbox"/> atrio
Disposizione aperture	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Discontinuità costruttive e del materiale <input type="checkbox"/>			
			DISPOSIZIONE PLANIMETRICA		<input type="radio"/> Isolato	<input type="radio"/> Addossato
					<input type="radio"/> Angolare	<input type="radio"/> Inglobato

DATI DIMENSIONALI	Stimati <input type="radio"/>	Rilevati <input type="radio"/>				
Larghezza media	Lunghezza media	Superficie media in pianta	Altezza media in gronda	Piani fuori terra		
m. ┆┆┆┆	m. ┆┆┆┆	m ² . ┆┆┆┆	m. ┆┆┆┆	┆┆┆┆		
				Piani interrati		
				┆┆┆┆		

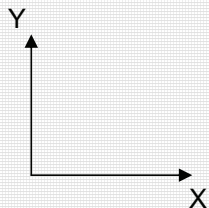
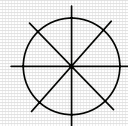
C_{P8} – EIDOTIPO E SUDDIVISIONE IN ELEMENTI

SUDDIVISIONE IN AREE					INDIVIDUAZIONE CORPI SCALA E CORPI ANNESSI					INDIVIDUAZIONE COPERTURE					
Area	┆┆	┆┆	┆┆	┆┆	N° totale corpi scala:	┆┆┆					Copertura	┆┆	┆┆	┆┆	┆┆
Sup.[m ²]	┆┆┆	┆┆┆	┆┆┆	┆┆┆	N° totale corpi annessi:	┆┆┆					Sup.[m ²]	┆┆┆	┆┆┆	┆┆┆	┆┆┆
N° piani	┆┆	┆┆	┆┆	┆┆											

SCHEMATIZZAZIONE DELLA PLANIMETRIA E DELLA SEZIONE

(E' possibile utilizzare anche fotocopie di planimetrie, sezioni e prospetti, Indicando, comunque, la numerazione dei diversi elementi della costruzione)

ORIENTAMENTO

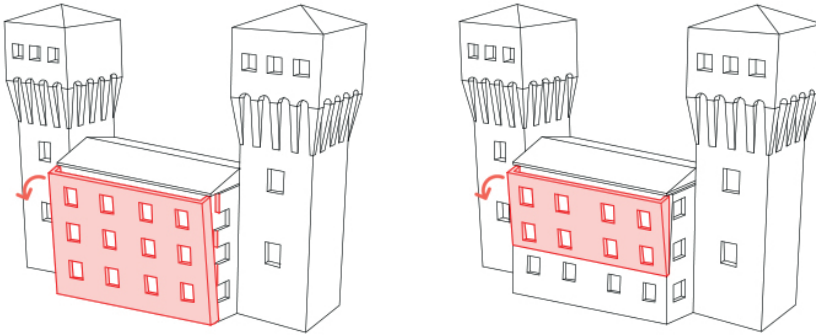


C_{P13} – MECCANISMI DI COLLASSO - PALAZZO

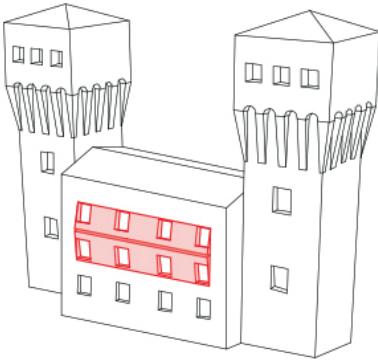
MACROELEMENTO	n	CODICE	MECCANISMO	
PARETI PERIMETRALI	┌┐	M1	<input type="checkbox"/>	RIBALTAMENTO DELLE PARETI
		M2	<input type="checkbox"/>	INSTABILITÀ VERTICALE DELLE PARETI
		M3	<input type="checkbox"/>	ROTTURA A FLESSIONE DELLE PARETI
		M5	<input type="checkbox"/>	TAGLIO NELLE PARETI ESTERNE: MASCHI
		M6	<input type="checkbox"/>	TAGLIO NELLE PARETI ESTERNE: ARCHITRAVI E MURATURA SOPRASTANTE
PARETI INTERNE	2x ┌┐	M7	<input type="checkbox"/>	TAGLIO PARETI INTERNE
GLOBALE	■	M8	<input type="checkbox"/>	SCORRIMENTO DI PIANO
PORTICATI/ LOGGE	<input type="checkbox"/>	M9	<input type="checkbox"/>	DANNO LOGGE/PORTICATI
ORIZZONTAMENTI	┌┐	M10	<input type="checkbox"/>	SFILAMENTO TESTA TRAVI E/O MARTELLAMENTO
		M11	<input type="checkbox"/>	COLLASSI LOCALI IMPALCATO O VOLTA
		M12	<input type="checkbox"/>	DANNO ALLE VOLTE PER ROTAZIONE DELLE IMPOSTE
		M13	<input type="checkbox"/>	DANNO ALLE VOLTE PER DEFORMAZIONI DI PIANO
SCALE	┌┐	M14	<input type="checkbox"/>	DANNO ALLE SCALE
COPERTURE	┌┐	M15	<input type="checkbox"/>	DANNO AGLI ELEMENTI DI COPERTURA
		M16	<input type="checkbox"/>	DANNO AL MANTO DI COPERTURA
		M17	<input type="checkbox"/>	RIBALTAMENTO FASCE SOTTOTETTO E TIMPANO
		M4	<input type="checkbox"/>	RIBALTAMENTO DEL CANTONALE
INTERAZIONI	<input type="checkbox"/>	M20	<input type="checkbox"/>	DANNO PER IRREGOLARITÀ DI FORMA
	┌┐	M21	<input type="checkbox"/>	DANNO NEI CORPI ANNESSI (CASAMATTA)
FONDAZIONI	■	M22	<input type="checkbox"/>	CEDIMENTO FONDAZIONI LOCALIZZATO
IRREGOLARITÀ COSTRUTTIVE	<input type="checkbox"/>	M19	<input type="checkbox"/>	COLLASSI LOCALI PER IRREGOLARITÀ COSTRUTTIVE E DEL MATERIALE
DISCONTINUITÀ MATERICHE	<input type="checkbox"/>	M24	<input type="checkbox"/>	DISGREGAZIONE
		M25	<input type="checkbox"/>	DELAMINAZIONE
ELEMENTI AGGETTANTI/SVETTANTI	<input type="checkbox"/>	M18	<input type="checkbox"/>	DANNO AGLI ELEMENTI DI AGGETTANTI /SVETTANTI (GARITTE/TORRETTE)
MERLI	<input type="checkbox"/>	M32	<input type="checkbox"/>	MERLI: MECCANISMO A TAGLIO NEL PIANO
		M33	<input type="checkbox"/>	MERLI: MECCANISMO A RIBALTAMENTO FUORI DAL PIANO
BECCATELLI	<input type="checkbox"/>	M34	<input type="checkbox"/>	BECCATELLI: TRAZIONE ALL'INNESTO CON LA MURATURA PORTANTE
	<input type="checkbox"/>	M35	<input type="checkbox"/>	BECCATELLI: CEDIMENTO DELL'ARCO PER ALLONTANAMENTO DEI PIEDRITTI
ALTRO	<input type="checkbox"/>	M38	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	M39	<input type="checkbox"/>

ABACO DEI MECCANISMI DI COLLASSO DEI PALAZZI

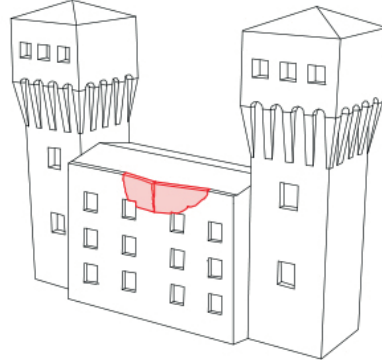
M1. RIBALTAMENTO DELLE PARETI



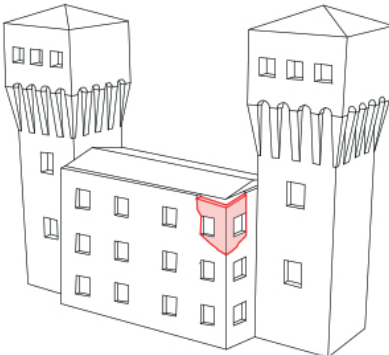
M2. INSTABILITA' VERTICALE DELLE PARETI



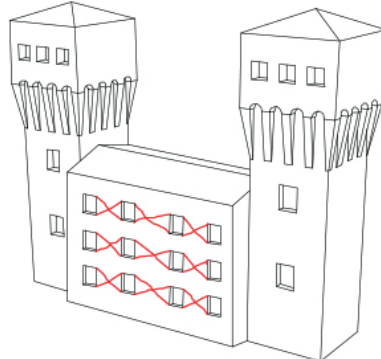
M3. ROTTURA A FLESSIONE DELLE PARETI



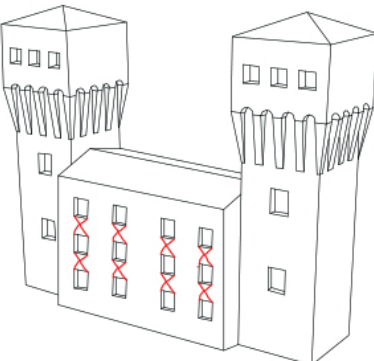
M4. RIBALTAMENTO DEL CANTONALE



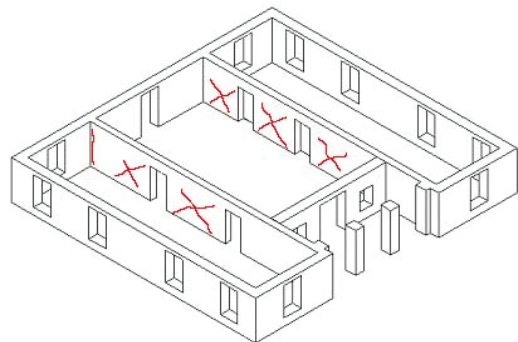
M5. TAGLIO NELLE PARETI ESTERNE: MASCHI



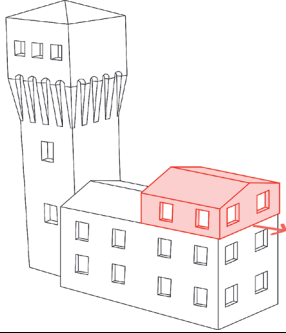
M6. TAGLIO NELLE PARETI ESTERNE: FASCE



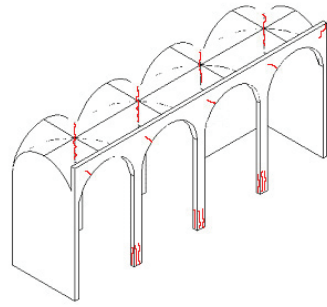
M7. TAGLIO NELLE PARETI INTERNE



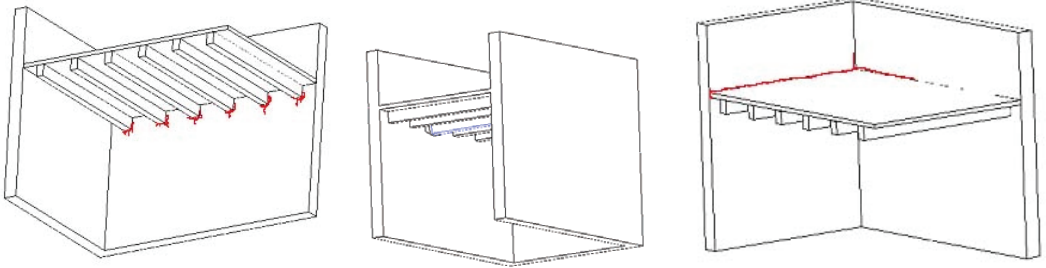
M8. SCORRIMENTO DI PIANO



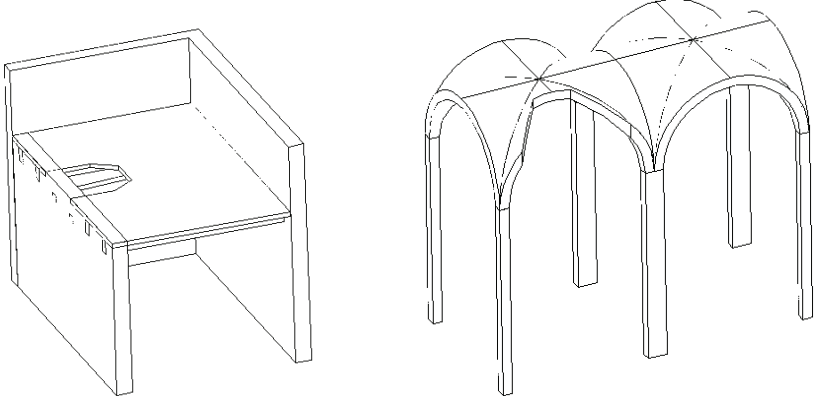
M9. DANNO AI PORTICATI/ LOGGE



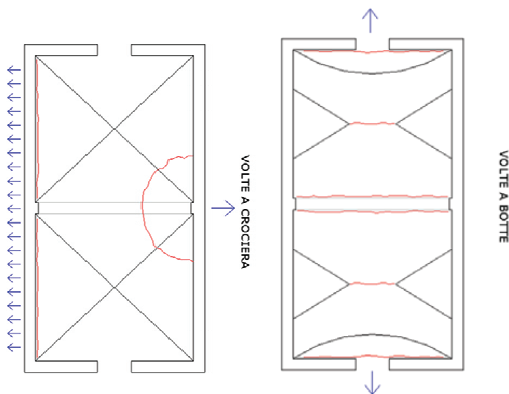
M10. SFILAMENTO TESTA DELLE TRAVI E/O MARTELLAMENTO



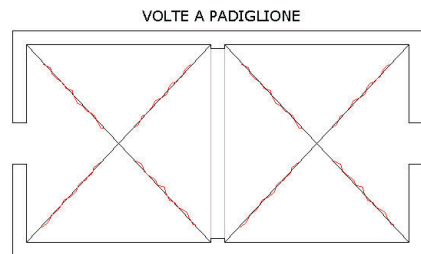
M11. COLLASSI LOCALI DELL'IMPALCATO O DELLA VOLTA



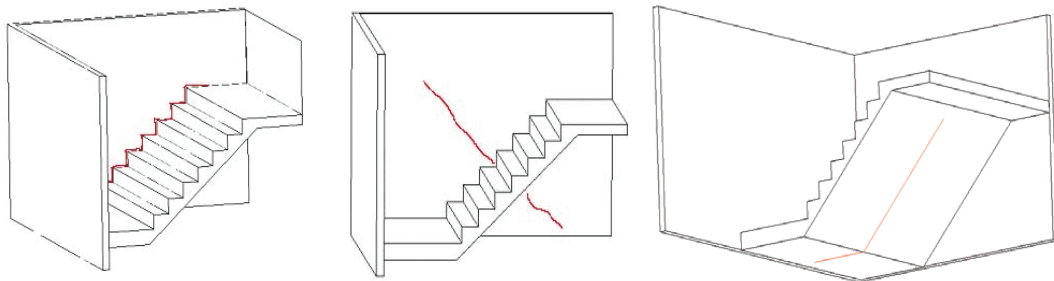
M12. DANNO ALLE VOLTE PER ROTAZIONE DELLE IMPOSTE



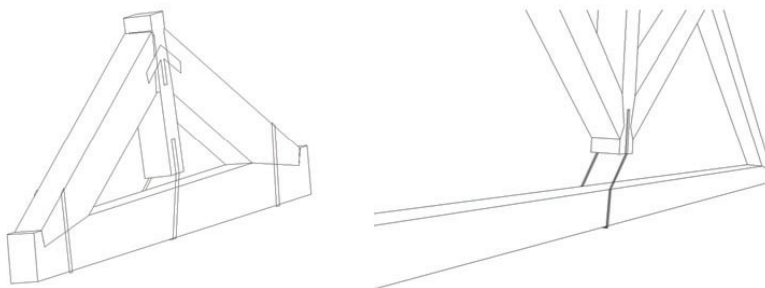
M13. DANNO ALLE VOLTE PER DEFORMAZIONE DI PIANO



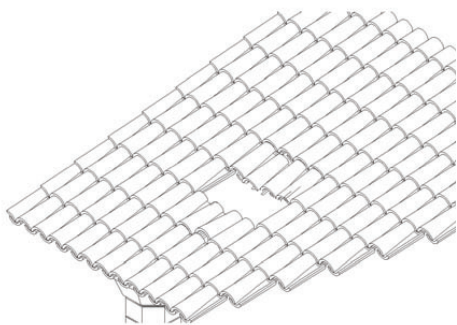
M14. DANNO ALLE SCALE



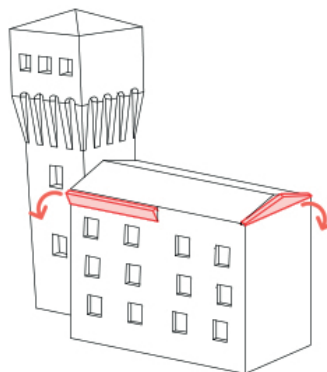
M15. DANNO NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA



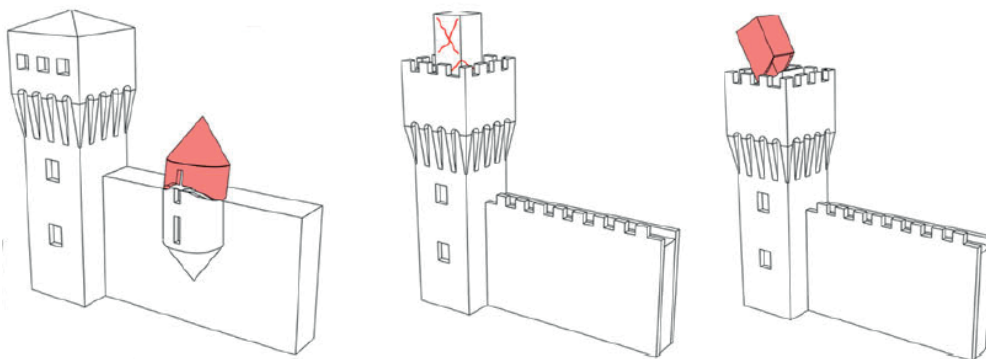
M16. DANNO AL MANTO DI COPERTURA



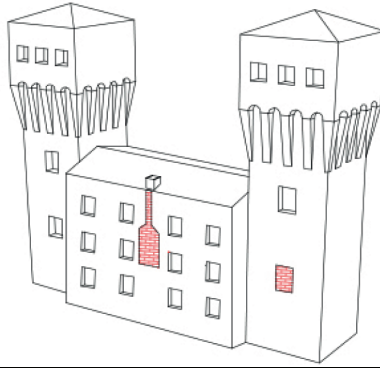
M17. RIBALTAMENTO DELLE FASCE SOTTOTETTO E DEL TIMPANO



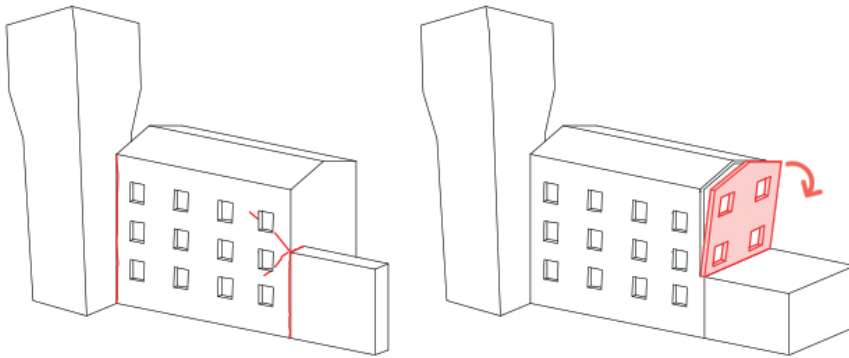
M18. DANNO AGLI ELEMENTI AGGETTANTI/SVETTANTI



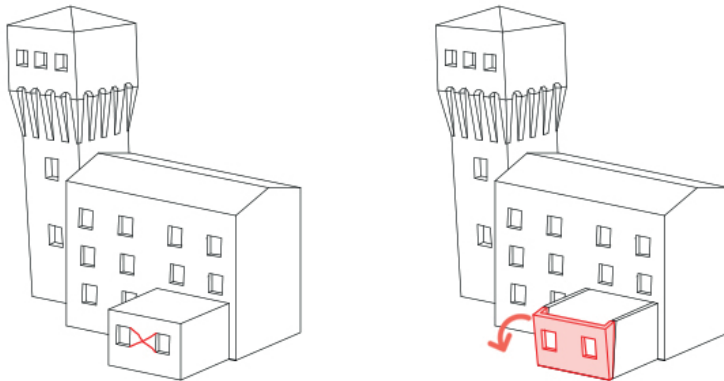
M19. COLLASSI LOCALI PER IRREGOLARITA' COSTRUTTIVE E DEL MATERIALE



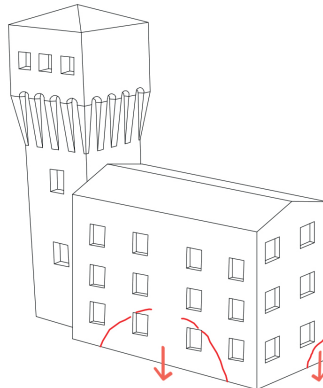
M20. DANNO PER IRREGOLARITA' DI FORMA



M21. DANNO NEI CORPI ANNESSI (CASAMATTA)



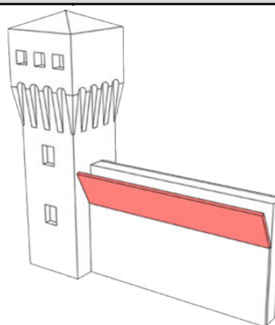
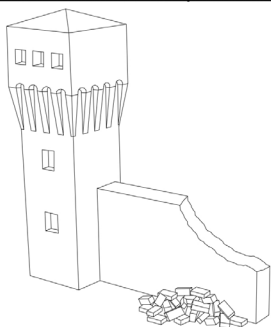
M22. CEDIMENTO DI FONDAZIONI



DISCONTINUITÀ MATERICHE

M24- DISGREGAZIONE

M25- DELAMINAZIONE



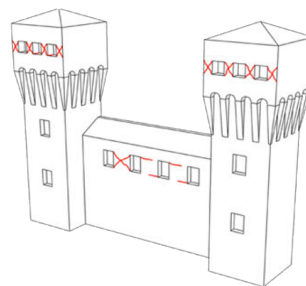
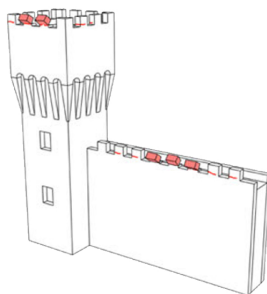
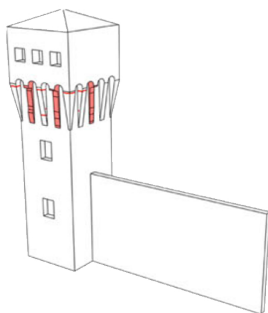
BECCATELLI

M34-35- DANNO AI BECCATELLI

MERLI

M33- RIBALTAMENTO FUORI DAL PIANO

M32- TAGLIO NEL PIANO





SISMA

EMERGENZA POST-SISMA

**SCHEDA PER IL RILIEVO DEL DANNO AI BENI CULTURALI
ARCHITETTURE FORTIFICATE - BENE COMPONENTE - TORRE**

C_{T1}

Prima Sezione

Data	__ __ / __ __ / __ __ __ __	N° progressivo	__ __ __	N° Scheda	__ __ __ __ __ __
<i>(a cura dell'ufficio)</i>					

C_{T2} – OGGETTO

Denominazione bene individuo: _____

C_{T3} – CODICE SCHEDA BENE COMPONENTE

Numero progressivo: T __ __ __

C_{T4} – DESTINAZIONE D'USO ATTUALE

Uso	N° unità d'uso	Utilizzazione spaziale [%]				Utilizzazione temporale			Esposizione	
		>65	30÷65	< 30	0	Continuo	Saltuario	Non utilizzato	N° occupanti	Affollamento
Abitazione <input type="checkbox"/>	__ __ __								__ __ __	<input type="checkbox"/>
Commerciale <input type="checkbox"/>	__ __ __								__ __ __	<input type="checkbox"/>
Museo <input type="checkbox"/>	__ __ __								__ __ __	<input type="checkbox"/>
Uffici <input type="checkbox"/>	__ __ __								__ __ __	<input type="checkbox"/>
Servizi <input type="checkbox"/>	__ __ __								__ __ __	<input type="checkbox"/>
Strategico <input type="checkbox"/>	__ __ __								__ __ __	<input type="checkbox"/>
Albergo <input type="checkbox"/>	__ __ __								__ __ __	<input type="checkbox"/>
Altro <input type="checkbox"/>	__ __ __								__ __ __	<input type="checkbox"/>


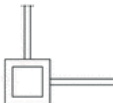


C_{T5} – TIPOLOGIA DEI BENI ARTISTICI PRESENTI

TIPOLOGIA	Num.	superficie	TIPOLOGIA	Num.	superficie
Affreschi <input type="checkbox"/>	__ __	__ __ __	Dipinti mobili su vario supporto	<input type="checkbox"/>	__ __ / __ __ __
Mosaici <input type="checkbox"/>	__ __	__ __ __	Arredi (soffitti, amboni, pulpito, stalli corali)	<input type="checkbox"/>	__ __ / __ __ __
Stucchi <input type="checkbox"/>	__ __	__ __ __	Decorazioni plastiche mobili	<input type="checkbox"/>	__ __ / __ __ __
Arazzi <input type="checkbox"/>	__ __	__ __ __	Manufatti in carta e pergamena	<input type="checkbox"/>	__ __ / __ __ __
Altari / statue <input type="checkbox"/>	__ __	__ __ __	Reperti archeologici	<input type="checkbox"/>	__ __ / __ __ __
Libri / Stampe <input type="checkbox"/>	__ __	__ __ __	Altri	<input type="checkbox"/>	__ __ / __ __ __

C_{T6} - DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA - Realizzata da

SI NO

C_{T7} - DATI DIMENSIONALI (stimati rilevati)

Torre	Larghezza mt. _ _ _	Lunghezza mt. _ _ _	Altezza mt. _ _ _	Voume mc. _ _ _ _
	Circolare <input type="radio"/> Quadrangolare <input type="radio"/> Poligonale <input type="radio"/> A pianta aperta <input type="radio"/> Altro <input type="radio"/>			
	Torre portaia SI <input type="radio"/> NO <input type="radio"/>			
	Isolata <input type="radio"/> D'angolo <input type="radio"/> Inglobata <input type="radio"/> Sporgente <input type="radio"/>			
				

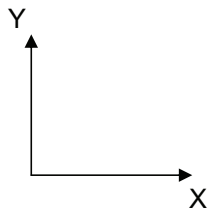
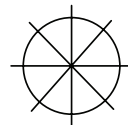
C_{T8} - EIDOTIPO E SUDDIVISIONE IN ELEMENTI

SUDDIVISIONE IN AREE					INDIVIDUAZIONE CORPI SCALA E CORPI ANNESSI		INDIVIDUAZIONE COPERTURE					
Area					N° totale corpi scala: _ _ _	N° totale corpi annessi: _ _ _	Copertura					
Sup.[m ²]	_ _ _	_ _ _	_ _ _	_ _ _				Sup.[m ²]	_ _ _	_ _ _	_ _ _	_ _ _
N° piani	_ _	_ _	_ _	_ _								

SCHEMATIZZAZIONE DELLA PLANIMETRIA E DELLA SEZIONE

(E' possibile utilizzare anche fotocopie di planimetrie, sezioni e prospetti, Indicando, comunque, la numerazione dei diversi elementi della costruzione)

ORIENTAMENTO



C_{T9} – STATO DI MANUTENZIONE GENERALE

	Buono	Discreto	Scadente	Pessimo	Lavori in corso
Strutture verticali	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Strutture orizzontali	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Copertura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>

C_{T10} – STATO DI MANUTENZIONE GENERALE

Eventuali precedenti lesioni esistenti	NO <input type="radio"/>	SI <input type="radio"/>	Limitate <input type="radio"/>	Estese <input type="radio"/>	Gravi <input type="radio"/>
--	--------------------------	--------------------------	--------------------------------	------------------------------	-----------------------------

C_{T11} – RILIEVO DEL DANNO AGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI

I	COMIGNOLI	II	CORNICIONI	III	STATUE O AGGETTI	IV	RIVESTIMENTI O CONTROSOFFITTI RECENTI
V	RETE IDRICA , FOGNARIA O TERMOIDRAULICA	VI	RETE ELETTRICA O DEL GAS	VII	ALTRO.....	VIII	ALTRO.....

LIVELLO DI DANNO

0 - □□□□ assenza di danno 1 - ■□□□ danno lieve 2 - ■■□□ danno moderato
 3 - ■■■□□ danno grave 4 - ■■■■□ danno molto grave 5 - ■■■■■ crollo

IDENTIFICAZIONE DEL DANNO

A - danno sismico
 B - danno progressivo
 C - aggravamento

ELEMENTI DANNEGGIATI	Livello di danno	p	LOCALIZZAZIONE	PROVVEDIMENTI DI P.I. SUGGERITI			
				PUNTELLAMENTI	RIPARAZIONE	TRANSENNATURE	ALTRO
	□ □ □ □ □	┘		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	□ □ □ □ □	┘		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	□ □ □ □ □	┘		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	□ □ □ □ □	┘		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	□ □ □ □ □	┘		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

NOTE.....

C_{T12} – RILIEVO DEL DANNO AGLI ELEMENTI STRUTTURALI

TIPOLOGIA MURARIA	DESCRIZIONE
A	PIETRA SQUADRATA
B	PIETRA SBOZZATA
C	PIETRA A SPACCO
D	MATTONI
E	IRREGOLARE, CIOTTOLI, MISTA
F	ALTRO

C_{T13.1} - DANNO SISMICO (Abaco dei meccanismi di collasso delle torri)

LIVELLO DI DANNO

0 - □□□□ assenza di danno 1 - ■□□□ danno lieve 2 - ■■□□ danno moderato
 3 - ■■■□ danno grave 4 - ■■■■□ danno molto grave 5 - ■■■■■ crollo

IDENTIFICAZIONE DEL DANNO

danno sismico
 danno pregresso
 aggravamento

CODICE	MACROELEMENTO E RELATIVI MECCANISMI	
	ORIZZONTAMENTI	<input type="checkbox"/>
M10	SFILAMENTO TESTA TRAVI E/O MARTELLAMENTO	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
M11	COLLASSI LOCALI IMPALCATO O VOLTA	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
M12	DANNO ALLE VOLTE PER ROTAZIONE DELLE IMPOSTE O	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
M13	DANNO ALLE VOLTE PER DEFORMAZIONI DI PIANO	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	SCALE	<input type="checkbox"/>
M14	DANNO ALLE SCALE	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	BASE TORRE	<input checked="" type="checkbox"/>
M29	MECCANISMO A FLESSIONE DELLA TORRE	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
M30	MECCANISMI A TAGLIO E TORSIONALI DELLA TORRE	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	PARTE SVETTANTE	<input type="checkbox"/>
M31	MECCANISMI A TAGLIO NELLA PARTE SVETTANTE DELLA TORRE	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	COPERTURE	<input type="checkbox"/>
M36	RIBALTAMENTO DEL CANTONALE	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
M37	SCORRIMENTO DELLA COPERTURA	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	FONDAZIONI	<input checked="" type="checkbox"/>
M22	CEDIMENTO FONDAZIONI LOCALIZZATO	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	IRREGOLARITÀ COSTRUTTIVE	<input type="checkbox"/>
M19	COLLASSI LOCALI PER IRREGOLARITÀ COSTRUTTIVE E DEL MATERIALE	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	CORPI ANNESSI	<input type="checkbox"/>
M21	DANNO NEI CORPI ANNESSI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	DISCONTINUITÀ MATERICHE	<input type="checkbox"/>
M24	DISGREGAZIONE	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
M25	DELAMINAZIONE	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	ELEMENTI AGGETTANTI/SVETTANTI	<input type="checkbox"/>
M18	DANNO AGLI ELEMENTI DI AGGETTANTI /SVETTANTI (TORRETTE)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	MERLATURE	<input type="checkbox"/>
M32	MERLI: MECCANISMO A TAGLIO NEL PIANO	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
M33	MERLI: MECCANISMO A RIBALTAMENTO FUORI DAL PIANO	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	BECCATELLI	<input type="checkbox"/>
M34	TRAZIONE ALL'INNESTO CON LA MURATURA PORTANTE	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
M35	CEDIMENTO DELL'ARCO PER ALLONTANAMENTO DEI PIEDRITTI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
M38	ALTRO:.....	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
M39	ALTRO:.....	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

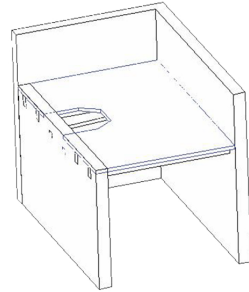
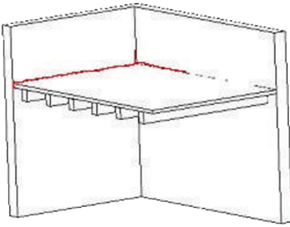
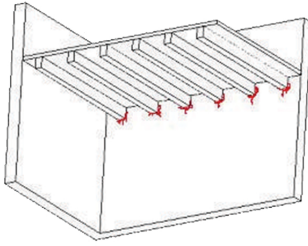
C_{T13.2} - INDICE DI DANNO

$n = \underline{\quad}\underline{\quad}$ (numero dei meccanismi possibili) $d = \underline{\quad}\underline{\quad}$ (punteggio totale di danno) $i_d = d / 5n = \underline{\quad}\underline{\quad}$

ORIZZONTAMENTI PIANI

M10- SFILAMENTO TRAVI DI TESTA/ MARTELLAMENTO

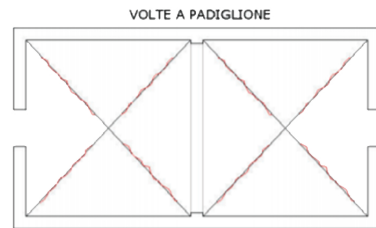
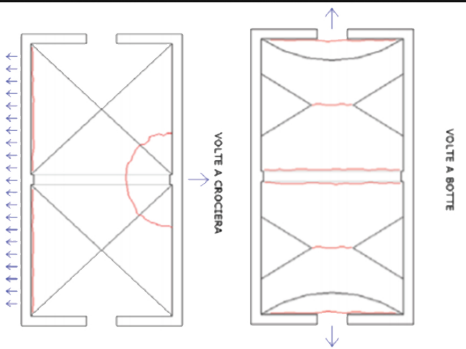
M11- COLLASSI DELL'IMPALCATO



VOLTE

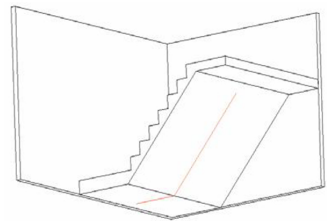
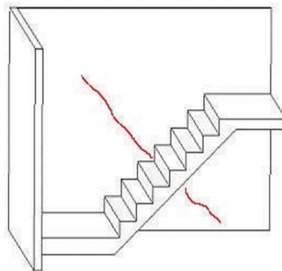
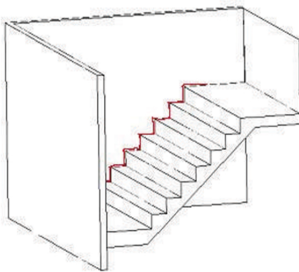
M12- DANNO ALLE VOLTE PER ROTAZIONE DELLE IMPOSTE

M13- DANNO ALLE VOLTE PER DEFORMAZIONI DI PIANO



SCALE

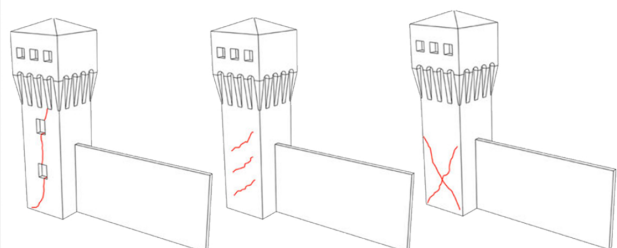
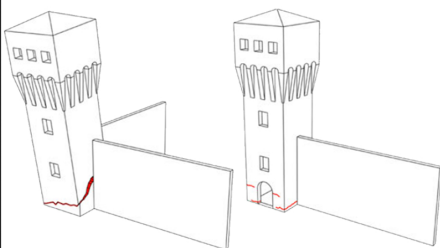
M14- DANNO ALLE SCALE

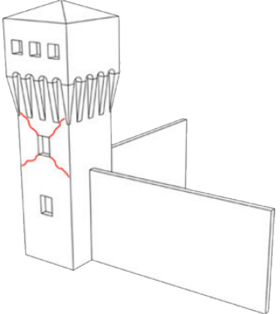
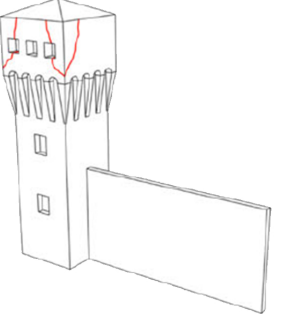
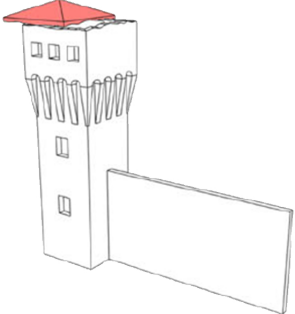
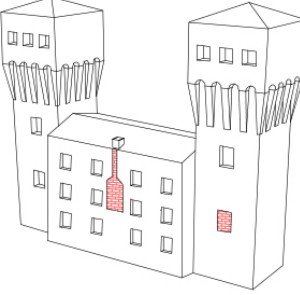
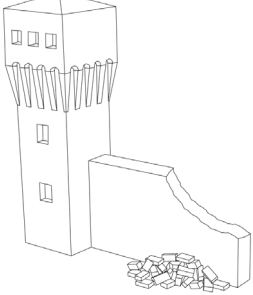
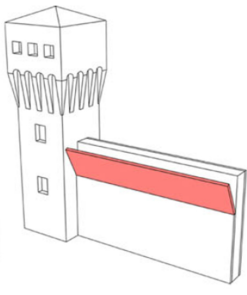
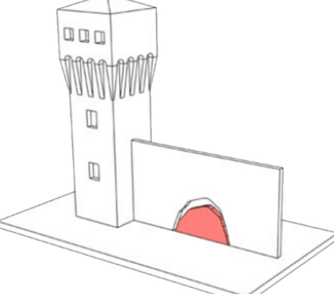
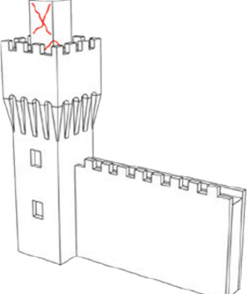
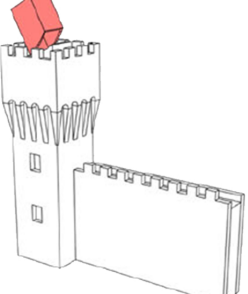
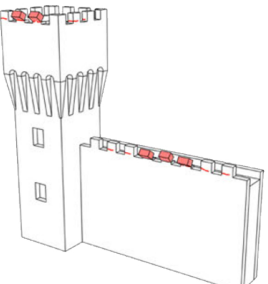
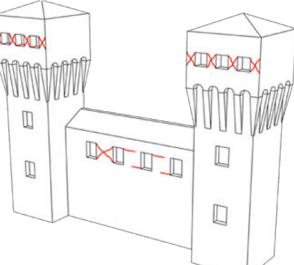
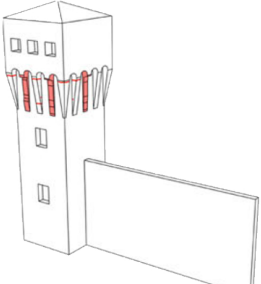


BASE TORRE

M29- MECCANISMO A FLESSIONE DELLA TORRE

M30- MECCANISMI A TAGLIO E TORSIONALI DELLA TORRE



PORZIONE SVETTANTE TORRE M31- MECCANISMI A TAGLIO	COPERTURA M36- RIBALTAMENTO CANTONALE M37- SCORRIMENTO	
		
DISCONTINUITÀ MATERICHE		
M19- IRREGOLARITÀ COSTRUTTIVE	M24- DISGREGIAZIONE	M25- DELAMINAZIONE
		
FONDAZIONI M22- CEDIMENTO LOCALE	ELEMENTI AGGETTANTI / SVETTANTI M18- DANNO ELEMENTI AGGETTANTI (GARITTE, TORRETTE)	
		
MERLI M33- RIBALTAMENTO FUORI DAL PIANO M32- TAGLIO NEL PIANO		BECCATELLI M34-35- DANNO AI BECCATELLI
		

ALLEGATO 3

**MANUALE PER LA COMPILAZIONE DELLE SCHEDE PER IL RILIEVO DEL DANNO PER LE
ARCHITETTURE FORTIFICATE E SCHEDE ILLUSTRATIVE DEI MECCANISMI DI DISSESTO**

MANUALE DI COMPILAZIONE PER LA COMPILAZIONE DELLE SCHEDE PER IL RILIEVO DEL DANNO PER LE ARCHITETTURE FORTIFICATE

Contenuti della scheda

La scheda per il rilievo del danno dei complessi fortificati, si suddivide in 6 schede:

- A. Scheda Anagrafica – Bene Complesso
- B. Scheda di Rilievo del Danno – Bene complesso
- C. Scheda di Rilievo del Danno – Bene componente Mura di Cinta
- D. Scheda di Rilievo del Danno – Bene componente Palazzo
- E. Scheda di Rilievo del Danno – Bene componente Torre
- F. Scheda riassuntiva – Bene complesso

Ciascuna Scheda è suddivisa in sotto-sezioni. Per ogni sotto-sezione viene riportata una breve descrizione e le modalità per una corretta compilazione. Le modalità di compilazione sono analoghe a quelle definite nel *Manuale per la compilazione della scheda per il rilievo del danno ai beni culturali, Chiese MODELLO A – DC*. Infatti il rilevatore deve compilare la scheda, scrivendo le informazioni negli spazi predefiniti oppure contrassegnando le caselle di opzione, secondo le modalità di seguito riportante:

- Selezionare più scelte tra quelle previste nel caso di caselle quadrate (multiscelta);
- Le caselle rotonde indicano l'obbligo di selezionare una sola opzione tra quelle illustrate (monoscelta);
- Nei campi contrassegnati da __|__| il rilevatore deve inserire i dati richiesti;
- Le tabelle con sfondo grigio, non richiedendo dati relativi al rilievo sul campo, possono essere precompilate o compilate dopo il sopralluogo.

A: Scheda Anagrafica – Bene complesso

La scheda anagrafica potrà essere consegnata pre-compilata alle squadre che effettuano il sopralluogo. Tale scheda racchiude le informazioni di carattere generale, che potranno essere già riportate, associate al bene complesso oggetto di sopralluogo: denominazione, localizzazione (comune di appartenenza, contesto urbano...), accessibilità, presenza di rischi, numero di beni componenti presenti (Mura di Cinta, Palazzo, Torre, Chiesa, Teatro, Altro), l'identificazione e la localizzazione schematica all'interno del bene complesso dei beni componenti ed eventuale storico degli interventi già eseguiti sulla struttura. Per ogni bene componente andrà compilata la specifica scheda relativa alla tipologia. La presente scheda si compone di 12 sotto-sezioni.

Riferimento verticale (C1)

In tale sezione indicare se la struttura che si sta rilevando è un Bene complesso o individuo. Si intende per Bene individuo un edificio composto da un solo corpo di fabbrica riconducibile a una sola tipologia, ad esempio, una cinta muraria o una torre isolate. Tuttavia generalmente le architetture fortificate vengono definite come Beni complessi, ossia composti da più beni componenti, afferenti ai tipologie diverse, quali ad esempio Mura di cinta, Palazzo, Torre. Bisogna quindi riportare il numero di schede che andranno compilate per i singoli beni componenti, precisandone, tramite criterio multi-scelta, la tipologia (Muro di cinta, palazzo, torre, chiesa ecc.) e, con criterio mono-scelta, la forma planimetrica del bene complesso (regolare, con cortili, ad ali aperte, lineare, altro).

Localizzazione geografica amministrativa (C2)

In tale sezione è necessario compilare i seguenti campi di localizzazione: Regione, Provincia, Comune e Località e Codice Istat Comune. Alla voce *Indirizzo* deve essere riportato l'indirizzo completo del bene (via, viale, piazza, corso, etc.), incluso di numero civico. Alla voce *Dati catastali* vanno riportati i dati catastali di sezione censuaria: foglio, particelle e subalterni dell'opera.

Coordinate UTM (C3)

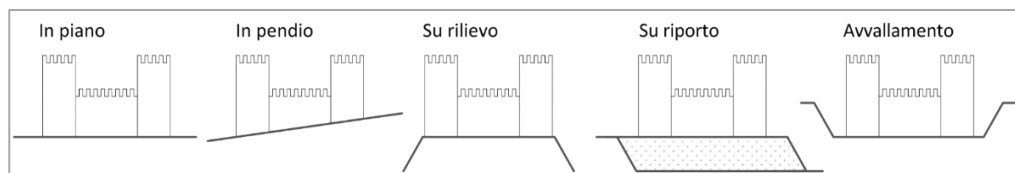
Riportare in questa sezione le coordinate dell'edificio, indicate nel sistema WGS84 UTM 32-33. Nei campi denominati *Quadrante* va riportato il numero del quadrante di riferimento all'interno del Foglio; i quadranti vanno riportati in numeri romani e con la posizione geografica all'interno del quadrante (NE, NO, SO, SE). Nei campi "Longitudine Est (x)" e "Latitudine Nord (y)" vanno rispettivamente riportate le coordinate Est e Nord espresse in gradi. E' possibile evidenziare se i dati sono stati acquisiti tramite un sistema GPS.

Oggetto (C4)

Nel campo *Denominazione Bene* devono essere inserite la denominazione del Bene complesso, la sua *Denominazione Storica* e la datazione (anno, secolo, epoca, ultima trasformazione). Alle voci *Proprietario* e *Utilizzatore*, andranno rispettivamente riportati il nome del proprietario o del legale rappresentante dell'Ente proprietario del fabbricato e, se diverso dal precedente, il nome dell'utilizzatore, con relativo recapito telefonico, se disponibile.

Caratteristiche del sito (C5)

Con opzione mono-scelta indicare la conformazione morfologica del sito su cui il fabbricato è stato costruito: in piano, in pendio/su versante, su rilievo/su cresta/su vetta, su riporto, avvallamento.



Contesto urbano e posizione (C6)

Con criterio mono-scelta occorre indicare il contesto urbano in cui si trova il bene complesso (centro urbano, periferia urbana, area industriale-commerciale, area agricola, centro storico) e la sua posizione in relazione agli altri edifici (isolato, connesso ad altri edifici e su quanti lati, oppure altro).

Infrastrutture (C7)

In tale sezione devono essere indicate le tipologie di accesso al bene (pedonale, stradale, altezza inferiore a 4 metri, per mezzi pesanti); inoltre, deve essere indicata la presenza di infrastrutture e spazi adiacenti che possano consentire le operazioni di evacuazione e/o soccorso.

Ingresso all'eventuale corte interna (C8)

Questa sezione va compilata soltanto se in pianta il complesso è strutturato attorno a una corte interna, o presenta un'area chiusa, alla quale è possibile accedere sono tramite degli ingressi obbligati quali: torre portaia o rivellino; portale d'accesso attraverso il muro di cinta; o eventuali altri ingressi coperti da volte o da impalcati che in caso di terremoto possono crollare e impedire il passaggio e il sopralluogo delle squadre che devono effettuare il rilievo (es. nel bene componente palazzo potrebbero essere presenti porte morte per l'accesso alla corte).

Presenza di rischio (C9)

In tale sezione vanno evidenziati i rischi naturali o antropici presenti nell'area, in un intorno significativo, che possono interessare l'opera stessa. E' necessario specificare se l'informazione deriva da rilevazioni dirette oppure acquisite: per esempio le aree esondabili sono individuate dal PTC provinciale; le aree soggette a pericolosità, a rischio idrogeologico gravitativo per fenomeni franosi e le aree soggette a pericolo valanghe sono individuate dal Piano di Assetto idrogeologico della Regione; le aree soggette a frane sono individuate dai Piani di Bacino e, con riferimento agli effetti del sisma, dagli studi di micro-zonazione sismica predisposti secondo gli Indirizzi e Criteri per la micro-zonazione sismica approvati dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome il 13 novembre 2008; le aree inondabili per collasso dighe possono essere individuate nei Piani di emergenza. Relativamente ai rischi antropici è da considerare la presenza di attività industriali soggette alla normativa nazionale relativa ai rischi di incidente rilevante, per esempio: stabilimenti soggetti al D.Lgs n. 334/99, successivamente modificato con Decreto Legislativo 21 settembre 2005 n. 238, o al D.Lgs n. 624/96

(industrie estrattive per trivellazione). Tale sezione può essere completata successivamente al sopralluogo ricavando le informazioni richieste dai database esistenti.

Interventi (C10)

Secondo un criterio multi-scelta, indicare se sono già stati eseguiti eventuali interventi sulla struttura. Se sì, indicare brevemente quali negli appositi spazi.

Eidotipo e suddivisione in elementi e schematizzazione della planimetria (C11; C12)

Si chiede di indicare, tramite l'ausilio della documentazione grafica disponibile, i beni componenti che compongono il bene complesso e di identificarli con un codice che sarà poi riportato nelle relative schede (C,D,E). Nel caso non fosse reperibile nessuna documentazione in merito, sarà indispensabile disegnare schematicamente i principali tratti planimetrici del complesso, necessari per identificare i beni individui e la loro distribuzione all'interno del bene complesso. Per l'identificazione dei beni componenti "Palazzo" si utilizzerà il codice formato dalla lettera P e un numero progressivo (P1, P2, P3...), per l'identificazione dei beni componenti "Torre" si utilizzerà il codice formato dalla lettera T e un numero progressivo (T1, T2, T3...), per l'identificazione dei beni componenti "Mura di cinta" si utilizzerà il codice formato dalla lettera MC e un numero progressivo (MC1, MC2, MC3...). E' possibile inoltre includere, oltre alle fotografie ed agli elaborati grafici planimetrici, altra documentazione che si ritiene possa fornire indicazioni utili al rilievo del bene.

B: Scheda di rilievo del danno - Bene complesso

Le seguenti sotto-sezioni di questa scheda invece sono da compilare a seguito del sopralluogo: data del sopralluogo, pericolo esterno, dissesti del terreno di fondazione, compilatore scheda e squadra che ha eseguito il rilievo. La scheda di rilievo del danno del bene complesso si struttura in 5 sotto-sezioni.

1.1.1 Data (C13)

Indicare in questa sotto-sezione la data del sopralluogo e il numero progressivo della scheda compilata nella giornata. Il numero della scheda viene attribuito direttamente dagli uffici preposti.

Compilatore scheda (C14)

Occorre indicare il "Cognome" e "Nome" del tecnico che ha compilato la scheda e l'ente di appartenenza. Tale tecnico potrebbe, in alcuni casi, essere un tecnico della Soprintendenza che in tempi precedenti può aver compilato la prima sezione della scheda. Abitualmente tale campo fa riferimento a chi ha materialmente redatto la scheda, e quindi alla persona a cui fare riferimento in caso di necessità di informazioni in merito al sopralluogo, che rimane di responsabilità di tutta la squadra, i cui

componenti e le relative qualifiche professionali sono specificati nella sotto-sezione C15.

Squadra che ha eseguito il rilievo (C15)

Indicare in questa sotto-sezione i nominativi e le strutture di appartenenza dei rilevatori che compongono la squadra.

Pericolo esterno (C16)

In tale sezione occorre indicare se sono presenti pericoli esterni, quali crolli di altre costruzioni o interruzione delle reti di servizi, sul bene oggetto di sopralluogo o sulla via di accesso. Inoltre si chiede di indicare la tipologia dei relativi provvedimenti di Pronto Intervento da eseguire per minimizzare i pericoli esterni.

Dissesti di versante o del terreno franoso (C17)

Con criterio mono-scelta, occorre indicare se i dissesti dei versanti e del terreno di fondazione siano: assenti, preesistenti, generati dal sisma o acuiti dal sisma.

Schede Bene componente

Si riportano di seguito le indicazioni per una corretta compilazione delle schede relative alle tre tipologie di bene componente, che comunemente caratterizzano i complessi fortificati: Mura di Cinta, Palazzo e Torre.

C: Scheda di Rilievo del Danno – Bene Componente Mura di Cinta

Tale scheda raccoglie le informazioni specifiche riguardanti il bene componente denominato “Mura di cinta”. Il termine *mura di cinta* indica una o più cortine murarie, ossia quei tratti compresi fra le torri/bastioni, oppure anche un’unica cortina isolata, che identifica un perimetro. Generalmente tale bene componente è caratterizzato da verticalità e ampio spessore, e può essere coronato da un camminamento di ronda con eventuale copertura. Ogni scheda contiene nella prima sezione le informazioni relative alle caratteristiche dimensionali, alla presenza di manufatti di pregio da porre in sicurezza; nella seconda sezione si richiede di compilare i campi relativi allo stato di conservazione/manutenzione, al rilievo del danno (tramite meccanismi di danno specifici per il bene componente in esame), all’indice di danno, alla valutazione di agibilità, al suggerimento di eventuali provvedimenti di messa in sicurezza e al rilievo del danno dell’apparato decorativo. La scheda Mura di Cinta si articola in 19 sotto-sezioni.

1.1 Prima sezione

Contiene informazioni di carattere generale, ossia la denominazione del bene componente, se diversa da quella del bene complesso, i dati dimensionali e i dati concernenti i beni culturali contenuti.

Riferimento scheda Bene complesso (CM1)

Indicare la data e il numero della scheda del Bene complesso a cui la scheda Mura di Cinta è associata. Il numero della Scheda del bene complesso viene conferito dagli uffici preposti.

Oggetto (CM2)

Indicare la denominazione del bene individuo solo nel caso in cui sia diversa dal bene complesso.

Codice scheda bene componente (CM3)

Riportare il codice, utilizzato nella sezione C11/12 della scheda A Bene componente, che identifica in maniera univoca il bene componente all'interno del bene complesso, che si compone dalla lettera MC e un numero progressivo.

Tipologia dei beni artistici presenti (CM4)

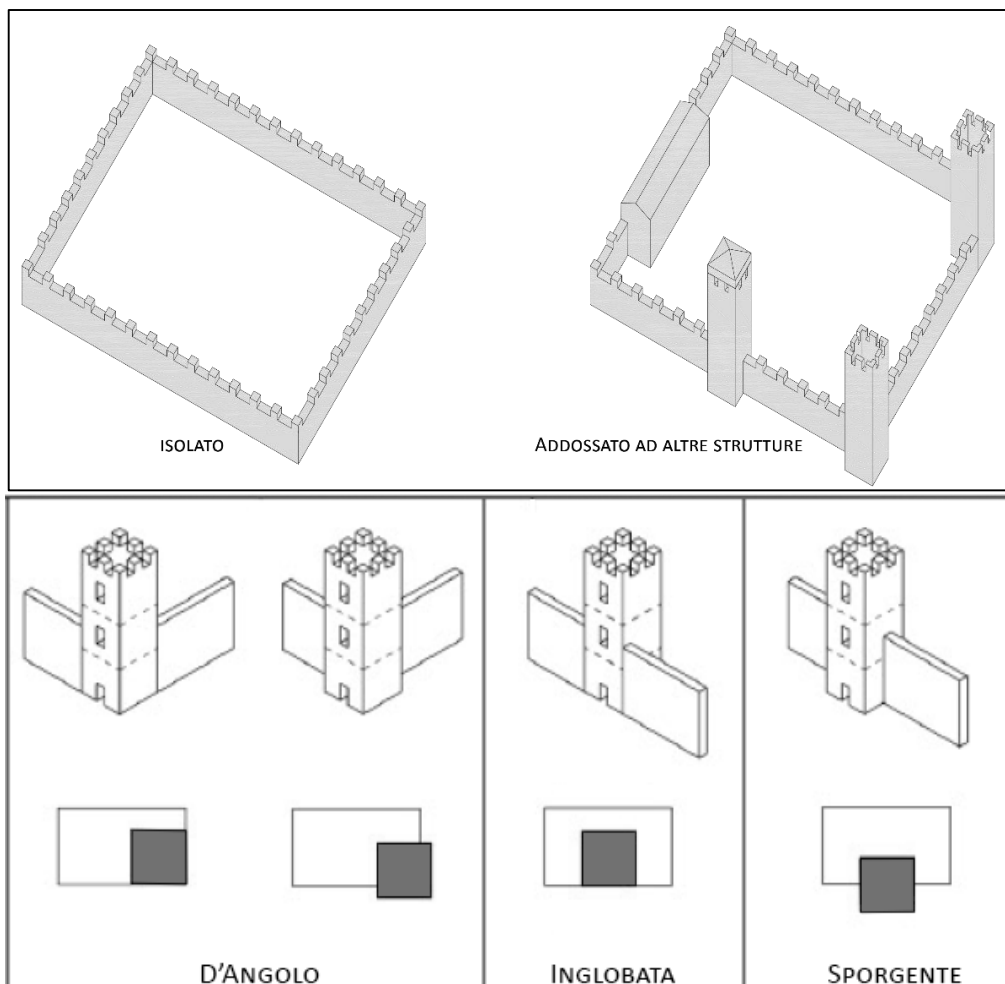
Con criterio multiscelta occorre indicare la tipologia di beni artistici presenti nel bene componente (affreschi, mosaici, stucchi ecc.), precisandone il numero e la superficie, espressa in metri quadrati.

Documentazione fotografica allegata (CM5)

In tale sezione deve essere riportata la disponibilità di documentazione fotografica ed il suo autore. La documentazione fotografica deve includere tutti i fronti esterni e, se possibile, tutti i lati interni, con viste di insieme e di dettaglio, in grado di descrivere la tipologia costruttiva (tipi di muratura, orditure dei tetti, ecc.), i principali arredi fissi e mobili (se presenti), le manifestazioni di dissesto. Tali documentazioni, al termine del sopralluogo, dovranno essere archiviate presso gli uffici preposti, denominate con la data di ripresa, il nome e la località del bene complesso e il numero della scheda a cui sono collegate. Se possibile è opportuno allegare anche la documentazione fotografica numerata e la planimetria delle foto. Si evidenzia la rilevanza della documentazione fotografica d'insieme e di dettaglio, in quanto testimonianza oggettiva del danneggiamento riscontrato.

Dati dimensionali (CM6)

In questa sottosezione si richiede di indicare le principali misure (rilevate o stimate), in metri, dell'elemento mura di cinta: larghezza; lunghezza; altezza. Nel caso il muro di cinta fosse costituito da più cortine murarie costruite in continuità, si chiede di indicare la lunghezza complessiva del bene componente. Con criterio mono-scelta, indicare se si tratta di un muro di cinta isolato o non isolato. Nel caso non fosse isolato, indicare se è costruito addossato a un palazzo o una torre, e quindi la tipologia della torre (con criterio multiscelta: d'angolo, inglobata, sporgente).



Elaborati grafici (CM7)

In questa sezione va inclusa la documentazione grafica reperita (pianche, sezioni, prospetti, ecc.). Se non fosse reperibile nessuna documentazione, si richiede di disegnare schematicamente la pianta, i prospetti ed eventuale sezione trasversale del bene componente. La documentazione grafica (sia allegata che prodotta direttamente sulla scheda) deve indicare i danni rilevati, con l'illustrazione delle lesioni principali. Inoltre nel caso l'elemento mura di cinta fosse composto da più cortine separate, è fondamentale identificarle chiaramente e mantenendo la denominazione attribuita nella sezione C11/12 della scheda Bene componente A, di modo da poter associare agevolmente a ciascuna i relativi meccanismi di danno nelle sezioni successive. Si chiede inoltre di evidenziare la presenza di eventuali corpi scala o coperture, e di denominarli seguendo la numerazione attribuita nella sezione C11/12 della scheda Bene componente A.

Seconda sezione

Questa seconda sezione comprende le informazioni inerenti allo stato di manutenzione generale, al rilievo del danno, all'indice di danno, alla valutazione dell'agibilità del bene componente, degli eventuali provvedimenti di pronto intervento suggeriti e al rilievo del danno dell'apparato decorativo e delle opere d'arte.

Stato di manutenzione generale (CM8-9)

Con criterio mono-scelta, occorre indicare lo stato di manutenzione delle strutture verticali, orizzontali e della copertura (qualora siano presenti), tramite una scala qualitativa che va da buono a pessimo. Una volta fornito il giudizio qualitativo, bisogna indicare la presenza o meno di lavori in corso. Tramite criterio mono-scelta, indicare eventuali lesioni preesistenti e la loro gravità.

Rilievo del danno agli elementi strutturali (CM10)

Nella prima sotto-sezione indicare, a fianco della tipologia muraria individuata, una sua breve descrizione. Nelle sotto-sezioni successive si chiede di indicare gli elementi strutturali individuati negli elaborati grafici, e per ciascuno indicare le principali caratteristiche: dati dimensionali, materiali e estensione del danno. Nello specifico andranno riportati i dati richiesti relativi a ciascuna cortina muraria (ossia ciascun tratto precedentemente individuato del muro di cinta), ai corpi scala, agli orizzontamenti, alle coperture, ai corpi annessi. Inoltre si richiede di fornire il numero degli elementi aggettanti/svettanti, delle merlature e dei beccatelli presenti, fornendo un giudizio sull'estensione del danno.

Rilievo del danno agli elementi non strutturali (CM11)


In questa sezione occorre formulare un giudizio sull'entità dei meccanismi attivati per ciascuna tipologia di elementi non strutturali individuati, quali: comignoli, cornici, lapidi, statue o oggetti ecc.. Il giudizio dell'entità del danno è graduato su 5 livelli [secondo quanto definito per le scale macrosismiche europee EMS98 e nei metodi di rilievo di vulnerabilità di I livello per gli edifici ordinari (GNDT)]: 0-danno nullo; 1-danno lieve; 2-danno moderato; 3- danno grave; 4-danno molto grave; 5-crollo. Si chiede inoltre di localizzare gli elementi interessati dal danno e di fornire suggerimenti sulla tipologia di provvedimenti di pronto intervento da mettere in opera, scegliendo tra le quattro opzioni indicate, secondo un criterio multi-scelta, con possibilità di fornire ulteriori chiarimenti nello spazio dedicato alle note.

Meccanismi di collasso strutturali – Mura di cinta: Abaco dei meccanismi (CM12)

Nella sezione sono elencati i 19 meccanismi di collasso caratteristici per le mura di cinta; per ogni macro-elemento sono riportate le modalità di danno finora individuate, illustrate di seguito in tabella, e i cui schemi esplicativi sono riportati in allegato alla scheda.

I 19 meccanismi di danno si possono così suddividere:

MURA DI CINTA	MACROELEMENTO	MECCANISMO DI DANNO		
	CORTINA MURARIA	M26	Ribaltamento fuori dal piano del muro di cinta	
		M27	Meccanismo di taglio nel piano del muro di cinta	
		M28	Rottura a flessione orizzontale del muro di cinta	
	ORIZZONTAMENTI	M11	Collapsi locali impalcato, volta o archi d'ingresso	
		M10	Sfilamento travi/martellamento	
	SCALE	M14	Danno alle scale	
	COPERTURE	M15	Danno agli elementi di copertura	
		M16	Danno al Manto di copertura	
	CORPI ANNESSI	M21	Danno nei corpi annessi	
	FONDAZIONI	M22	Cedimento fondazioni localizzato	
		M23	Cedimento terrapieno	
	IRREGOLARITÀ COSTRUTTIVE	M19	Collapsi locali per irregolarità costruttive e del materiale	
DISCONTINUITÀ MATERICHE	M24	Disgregazione		
	M25	Delaminazione		
AGGETTI	M18	Danno agli elementi di aggettanti /svettanti (torrette)		
MERLI	M32	Merli: Meccanismo a taglio nel piano		
	M33	Merli: Meccanismo a ribaltamento fuori dal piano		
BECCATELLI	M34	Beccatelli: Trazione all'innesto con la muratura portante		
	M35	Beccatelli: Cedimento dell'arco per allontanamento dei piedritti		

Nel compilare questa sotto-sezione, il rilevatore deve indicare l'eventualità di attivazione del meccanismo di collasso anche nel caso in cui ad esso non sia associato un danno. Infatti la sola presenza di ciascuno degli macro-elementi sopra indicati è sufficiente a far ritenere possibile l'attivazione del meccanismo di collasso ad esso associato. La presenza dei vari elementi va segnalata nella colonna "n". Le caselle già annerite stanno a segnalare la sicura presenza del macro-elemento, quale ad esempio le fondazioni. Nello specifico, se presente una casella quadrata andrà semplicemente barrata per segnalare la presenza del macro-elemento, nel caso delle caselle , il rilevatore deve riportare il numero preciso di elementi afferenti a quel macro-elemento. Se inoltre si riscontra l'attivazione va indicato nella colonna a sinistra del nome del meccanismo e bisognerà formulare il giudizio sulla loro entità nella tabella successiva.

Livello di attivazione rispetto al collasso (CM13)

In questa sezione si richiede di formulare un giudizio sull'entità dei meccanismi attivati per ciascun macro-elemento individuato. Il giudizio dell'entità del danno è graduato su cinque livelli: 0-danno nullo; 1-danno lieve; 2-danno moderato; 3- danno grave; 4-danno molto grave; 5-crollo. Di seguito si riporta la descrizione dei livelli di danno fornita per scale macrosismiche europee EMS98 ed utilizzati nei metodi di rilievo di vulnerabilità di I livello per gli edifici ordinari (GNDT):

“Il giudizio dell'entità del danno è graduato su 5 livelli, analoghi a quelli presenti nelle scale macrosismiche europee EMS98 ed utilizzati nei metodi di rilievo di vulnerabilità di I livello per gli edifici ordinari (GNDT): 0-danno nullo; 1-danno lieve; 2-danno moderato; 3- danno grave; 4-danno molto grave; 5-crollo.

Il danno NULLO (D0) rappresenta l'assenza di danno.

Il danno LIEVE (D1) rappresenta la prima evidenza di dissesti connessi all'iniziale attivazione di meccanismi visibili ad una osservazione accurata, di limitata estensione.

Il danno MODERATO (D2) rappresenta l'evidenza di dissesti e leggibilità complessiva di meccanismi attivati nell'insieme del macroelemento, ma in fase iniziale di sviluppo, con dissesti di limitata entità.

Il danno GRAVE (D3) rappresenta la marcata evidenza di dissesti e leggibilità complessiva di meccanismi compiutamente attivati che interessano l'insieme del macroelemento in fase intermedia di sviluppo.

Il danno MOLTO GRAVE (D4) rappresenta l'evidenza macroscopica dei dissesti e dei meccanismi prossimi alla fase di ultimo spostamento con parti al limite del crollo, a seguito di dissesti complessivi di forte e fortissima entità.

Il CROLLO (D5) rappresenta il crollo prevalente quanto a entità del macroelemento.”


La graduazione del giudizio, su cinque livelli differenti, consente di poter rilevare la gravità di uno quadro fessurativo con miglior accuratezza. Un giudizio su più livelli da modo di disporre di dati più omogenei, in cui anche l'errore, legato alla soggettività di giudizio, ha un minor peso sulla valutazione globale della gravità del danno del bene. Viene inoltre data la possibilità di indicare se il danno osservato è dovuto dal sisma o è pregresso o se trattasi di un peggioramento del quadro fessurativo preesistente. Il danno può essere dovuto a fattori diversi, quali ad esempio l'evoluzione storica diacronica della struttura.

Indice di danno (CM14)

I dati rilevati, nelle precedenti sotto-sezioni, consentono di ricavare l'indice di danno, un numero compreso tra 0 e 1, che quantifica il livello medio di danno subito dal bene

componente. L'indice di danno si calcola come media normalizzata del livello di danno rilevato per ciascun meccanismo sulla base del numero di macro-elementi presenti per il muro di cinta. In particolare l'indice di danno si ottiene dalla formula:

$$I_d = \frac{d}{5n}$$

dove n è la sommatoria di tutti i singoli macro-elementi individuati. Nello specifico, nel caso delle caselle quadrate, ciascuna casella barrata varrà 1 nel conteggio; mentre nel caso delle caselle , si terrà conto del numero preciso di elementi afferenti a quel macro-elemento riportato dal rilevatore (ad esempio il numero di corpi scala, il numero di coperture...).

Mentre d è il risultato della sommatoria del livello di danno maggiore raggiunto da ciascun elemento individuato. Ossia per ogni macro-elemento si considera solo il meccanismo primario che ha raggiunto il livello di danno più alto, per un totale di massimo 9 meccanismi primari che contribuiscono alla definizione dell'indice di danno. Per riuscire a definire il meccanismo primario che, in ciascun elemento, ha raggiunto il livello di danno più grave è comunque necessario fornire un giudizio di danno per tutti i meccanismi attivabili, secondo una scala di valori interi compresi fra 0 e 5. Per ciascun macro-elemento i meccanismi con livello di danno inferiore al meccanismo primario, sono detti *secondari* e non vengono quindi considerati ai fini del calcolo dell'indice di danno.

Per un calcolo corretto dell'indice di danno è fondamentale individuare correttamente il numero di meccanismi potenzialmente attivabili. Per quanto riguarda l'attribuzione del livello di danno si vedano le schede descrittive in allegato. L'indice di danno è propedeutico alla definizione delle opere di messa in sicurezza, alla programmazione dei primi interventi e alla pianificazione del recupero definitivo.

Tipo di visita (CM15)

Accuratezza della visita: indicare con quale livello di accuratezza e completezza è stato possibile effettuare il sopralluogo (visita completa, parziale, solo dall'esterno) o le motivazioni che lo hanno impedito.

Agibilità delle aree prospicienti (CM16)

In questa sezione si richiede di riportare i codici di ciascuna cortina individuata e per ciascuna fornire un giudizio di agibilità sulle aree prospicienti sulla base dei dati acquisiti durante il sopralluogo. Infatti nel caso di attivazione di meccanismi fuori dal piano, il muro di cinta, o parte di esso, potrebbe crollare su pubblica via mettendo a rischio la vita umana. I giudizi di agibilità per ciascuna cortina hanno criterio mono-scelta. Nel caso si selezioni l'opzione *Agibile* non andrà indicato nessun provvedimento di P.I., nelle sezioni successive. Nel caso si selezioni l'opzione *Area prospiciente agibile con*

provvedimenti, sarà necessario compilare anche la sezione *Provvedimenti di P.I. suggeriti*. Si suggerisce inoltre, nel caso di *Inagibilità* o di *Agibilità con provvedimenti delle aree prospicienti*, di utilizzare la sezione *Note sull'agibilità (CM18)* per suggerire indicazioni sulla distanza di sicurezza da osservare. Si suggerisce che tale distanza sia proporzionale all'altezza della porzione di muro di cinta a rischio crollo.

Agibilità del camminamento di ronda (CM16)

In questa sezione si richiede di riportare i codici di ciascuna cortina che presenti un camminamento di ronda percorribile o accessibile, e di fornire per ciascuno un giudizio di agibilità sulla base dei dati acquisiti durante il sopralluogo. Inoltre si ricorda che, secondo quanto riportato anche nel Manuale della Scheda Chiese Modello A-DC, *“la valutazione di agibilità in emergenza post-sismica è una valutazione temporanea e speditiva – vale a dire formulata sulla base di un giudizio esperto e condotta in tempi limitati, in base alla semplice analisi visiva ed alla raccolta di informazioni facilmente accessibili – volta a stabilire se, in presenza di una crisi sismica in atto, gli edifici colpiti dal terremoto possano essere utilizzati restando ragionevolmente protetta la vita umana”*. I giudizi di agibilità per ciascuna cortina hanno criterio mono-scelta. Nel caso si selezioni l'opzione *Agibile non andrà* indicato nessun provvedimento di P.I., nelle sezioni successive. Nel caso si selezioni l'opzione *Agibile con provvedimenti*, sarà necessario compilare anche la sezione *Provvedimenti di P.I. suggeriti*, per eventuali ulteriori suggerimenti è possibile utilizzare la sezione *Note sull'agibilità*.

Di seguito si riporta per maggiore chiarezza la definizione di alcuni termini usati in questa sezione e già in uso per le schede di rilievo del danno vigenti: l'esito **AGIBILE** va scelto, se non sono emerse dall'ispezione a vista condizioni che possano indirizzare verso una valutazione di inagibilità. L'esito **AGIBILE CON PROVVEDIMENTI** va indicato quando la riduzione del rischio (totale o parziale) si può conseguire con il pronto intervento (opere di consistenza limitata, di rapida e facile esecuzione che rendono agibile l'edificio); in tal caso occorre suggerire la tipologia di opere da porre in opera. L'esito **INAGIBILE** va indicato il camminamento non può essere utilizzato, neanche a seguito di provvedimenti di pronto intervento.

Provvedimenti P.I. suggeriti (CM17)

Indicare in questa sezione, con criterio multi-scelta, i provvedimenti di pronto intervento che si intende suggerire alla luce del sopralluogo effettuato, sia per il muro di cinta in generale che nello specifico per il camminamento di ronda.

Note sull'agibilità e sui provvedimenti di P.I. (CM18)

In questa sezione è possibile indicare eventuali precisazioni/chiarimenti, inerenti alle questioni di valutazione sull'agibilità e sui provvedimenti di pronto intervento. Nello specifico, come già illustrato, si suggerisce di utilizzare questa sezione per suggerire indicazioni sulla distanza di sicurezza da osservare, nel caso di *Inagibilità* o di *Agibilità*

con provvedimenti delle aree prospicienti. Inoltre si suggerisce che tale distanza sia proporzionale all'altezza della porzione di muro di cinta a rischio crollo.

Danni all'apparato decorativo e alle opere d'arte (CM19)

In questa sezione si richiede di segnalare la presenza gli eventuali danni prodotti sui beni artistici (apparato decorativo o opera d'arte) dal sisma.

D: Scheda di Rilievo del Danno – Bene Componente Palazzo

Tale scheda raccoglie le informazioni specifiche riguardanti il bene componente denominato "Palazzo". Con il termine *palazzo* si identifica "una costruzione a sviluppo planimetrico non necessariamente semplice ma anche complesso, costituita da un sistema di pareti portanti perimetrali ed interne, disposte secondo diverse direzioni, e, cosa più importante, da un sistema di orizzontamenti intermedi che hanno anche un ruolo di collegamento"¹. Nel caso della tipologia delle Architetture fortificate, tale corpo di fabbrica può essere costruito isolato oppure addossato al muro di cinta e/o alle torri. Nel caso siano presenti più palazzi, non contigui tra loro, sarà necessario compilare una scheda Palazzo per ognuno. Ogni scheda contiene, nella prima sezione, le informazioni relative ai dati dimensionali, alla presenza di manufatti di pregio da porre in sicurezza; nella seconda sezione si richiede di compilare i campi relativi allo stato di conservazione/manutenzione, al rilievo del danno (tramite meccanismi di danno specifici per il macro-elemento in esame), all'indice di danno, alla valutazione di agibilità, al suggerimento di eventuali provvedimenti di messa in sicurezza, al rilievo del danno dell'apparato decorativo e infine alla stima sommaria dei costi delle opere necessarie. Si articola in 19 sotto-sezioni.

1.1 Prima sezione:

contiene informazioni di carattere generale, ossia la denominazione del bene componente, se diversa da quella del bene complesso, i dati dimensionali e i dati inerenti ai beni culturali contenuti.

Riferimento scheda Bene complesso (CP1)

Indicare il numero della scheda del Bene complesso a cui il bene componente palazzo è associato.

Oggetto (CP2)

Indicare denominazione del bene componente, solo nel caso in cui sia diversa dalla denominazione del bene complesso.

¹ Direttiva per la valutazione e riduzione del rischio sismico per il patrimonio culturale, D.P.C.M. 26 febbraio 2011 (G.U. n° 54), pag. 33

Codice scheda bene componente (CP3)

Indicare il codice, composto dalla lettera P e da un numero progressivo, che identifica in maniera univoca il bene componente all'interno del bene complesso. Tale codice è riportato anche nella tabella C11/12 della scheda bene complesso.

Destinazione d'uso attuale (CP4)

Con criterio multi-scelta, indicare tutte le destinazioni d'uso del palazzo e le relative percentuali e continuità di utilizzo.

Tipologia dei beni artistici presenti (CP5)

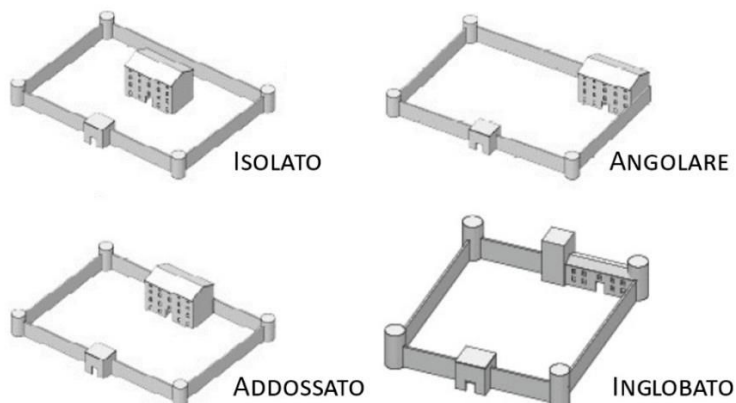
Tramite opzione multi-scelta indicare la tipologia di beni artistici presenti nel palazzo (affreschi, mosaici, stucchi, arazzi, arredi, statue, quadre etc.), specificando il numero e la superficie espressa in metri quadrati.

Documentazione fotografica allegata (CP6)

In questa sezione deve essere indicata la disponibilità di documentazione fotografica ed il suo autore. La documentazione fotografica deve comprendere tutti i fronti esterni e, se possibile, tutti i lati interni, con viste di insieme e di dettaglio, in grado di descrivere anche la tipologia costruttiva (tipi di muratura, orditure dei tetti, ecc.), i principali arredi fissi e mobili, le manifestazioni di dissesto. Tali documentazioni, al termine del sopralluogo, dovranno essere archiviate presso gli uffici preposti, denominate con la data di ripresa, il nome e la località del bene complesso e il numero della scheda a cui sono collegate. Quando possibile è opportuno allegare anche la documentazione fotografica numerata, con allegata planimetria delle foto. Si sottolinea l'importanza della documentazione fotografica d'insieme e di dettaglio in quanto testimonianza oggettiva del danneggiamento riscontrato.

Regolarità, forma planimetrica e dati dimensionali (CP7)

In questa sezione occorre indicare, con criterio mono-scelta se il palazzo si presenta regolare o non regolare in: pianta, elevazione, disposizione muri interni e delle aperture (in tale sezione si fa riferimento esclusivamente al bene componente palazzo e non a tutto il bene complesso). Con criterio mono-scelta, specificare la forma in pianta. Inoltre si richiede di indicare i principali dati dimensionali, in metri, relativi al palazzo: larghezza, lunghezza, altezza, superficie e numero piani (fuori terra/interrati). Con criterio multi-scelta specificare l'eventuale presenza di porticati, logge, cavedi o atrio. Indicare inoltre se si riscontrano discontinuità costruttive o del materiale (ossia cesure nell'apparecchiatura muraria dovute a diverse fasi costruttive, alla presenza di impianti, canne fumarie...).



Eidotipo e suddivisione in elementi (CP8)

Inserire in questa sotto-sezione la documentazione grafica disponibile (piante, sezioni, prospetti, etc.). Se non fosse reperibile alcuna documentazione si richiede di disegnare schematicamente la pianta, prospetto e sezioni (longitudinali e trasversali) del bene componente. Si richiede inoltre di codificare in pianta i macro-elementi che compongono il palazzo (pareti, coperture...), tali codici saranno necessari per identificare ciascun macro-elemento nella sezione CP12 (Rilievo del danno agli elementi strutturali). La documentazione grafica (sia allegata che prodotta direttamente sulla scheda) deve indicare i danni rilevati, con l'illustrazione dei principali meccanismi di dissesto.

Seconda sezione

In questa sezione andranno inserite le informazioni relative allo stato di manutenzione generale, al rilievo del danno, all'indice di danno, alla valutazione dell'agibilità del bene componente, degli eventuali provvedimenti di pronto intervento suggeriti e al rilievo del danno all'apparato decorativo e alle opere d'arte.

Stato di manutenzione generale (CP9-10)

Con criterio mono-scelta, occorre indicare lo stato di manutenzione delle strutture verticali, orizzontali e della copertura, secondo una scala qualitativa che va da buono a pessimo. Oltre al giudizio qualitativo occorre indicare se sono presenti o meno lavori in corso. Sempre con criterio mono-scelta, si chiede di indicare eventuali lesioni preesistenti e la loro gravità.

Rilievo del danno agli elementi non strutturali (CP11)

Indicare quali elementi non strutturali si sono danneggiati e con che livello di danno (da 1 a 5), la loro localizzazione e quale tipologia di provvedimenti P.I. si suggerisce. Il danno può essere identificato come sismico, pregresso o aggravamento.

Rilievo del danno agli elementi strutturali (CP12)

Indicare, a fianco della tipologia muraria individuata, una sua breve descrizione. Si chiede di individuare caratteristiche dimensionali e strutturali e di fornire il livello di estensione del danno per ciascuno dei seguenti macro-elementi: pareti perimetrali, porticali/logge/atri, pareti interne, corpi scala, orizzontamenti, coperture, corpi annessi e apparato a sporgere (elementi aggettanti/svettanti, merli e beccatelli). Nella prima colonna di ciascuna tabella andrà riportato il codice definito nella sezione C11/12. Inoltre si richiede di riportare il numero totale di elementi aggettanti/svettanti, di beccatelli e di merli e la relativa estensione del danno.

Abaco dei meccanismi di collasso del Palazzo (CP13)

Nella sezione sono elencati i 28 meccanismi di collasso caratteristici per il bene componente palazzo; per ogni meccanismo sono riportate le modalità di danno finora individuate, illustrate di seguito e i cui schemi esplicativi sono riportati in allegato alla scheda.

I 28 meccanismi di danno si possono così suddividere:

	MACROELEMENTO	MECCANISMO DI DANNO	
	PALAZZO	PARETI	M1
M2			Instabilità verticale delle pareti
M3			Rottura a flessione delle pareti
M5			Taglio nelle pareti esterne: maschi
M6			Taglio nelle pareti esterne: architravi e muratura soprastante
M7			Taglio pareti interne
M8			Scorrimento di piano
LOGGIA/PORTICATO			M9
SOLAIO		M10	Sfilamento testa travi e/o martellamento
		M11	Collassi locali impalcato o volta
		M12	Danno alle volte per rotazione delle imposte
		M13	Danno alle volte per deformazioni di piano
SCALE		M14	Danno alle scale
COPERTURA		M15	Danno agli elementi di copertura
	M16	Danno al manto di copertura	
	M17	Ribaltamento fasce sottotetto e timpano	
	M4	Ribaltamento del cantonale	
INTERAZIONI	M20	Danno per irregolarità di forma	
	M21	Danno nei corpi annessi (Casamatta)	
	M22	Cedimento fondazioni localizzato	
DISCONTINUITÀ MATERICHE	M19	Collassi locali per irregolarità costruttive e del materiale	

		M24	Disgregazione
		M25	Delaminazione
	AGGETTI	M18	Danno agli elementi di aggettanti /svettanti (garitte/torrette)
	MERLI	M32	Merli: Meccanismo a taglio nel piano
		M33	Merli: Meccanismo a ribaltamento fuori dal piano
	BECCATELLI	M34	Beccatelli: Trazione all'innesto con la muratura portante
		M35	Beccatelli: Cedimento dell'arco per allontanamento dei piedritti

Nel compilare la scheda il rilevatore deve specificare la possibilità che si attivi un dato meccanismo di collasso anche nel caso in cui ad esso non sia correlato un danno. Infatti la sola presenza di ciascuno degli macro-elementi sopra indicati è sufficiente a far ritenere possibile l'attivazione del meccanismo di collasso ad esso associato. Quindi la presenza dei vari elementi va segnalata nella colonna "n". Nello specifico, se presente una casella quadrata andrà semplicemente barrata per segnalare la presenza del macro-elemento; nel caso delle caselle "___|___|", il rilevatore deve riportare il numero preciso di elementi afferenti a quel macro-elemento. Alcune caselle risultano già annerite per segnalare la sicura presenza del macro-elemento, quale ad esempio le fondazioni. Se inoltre si riscontra l'attivazione va indicato nella colonna a sinistra del nome del meccanismo e bisognerà formulare il giudizio sulla loro entità nella tabella successiva.

Livello di attivazione rispetto al collasso (CP14.1)

Per ciascun macro-elemento individuato nella sezione precedente, bisogna indicare il meccanismo subito e il relativo livello di danno (scala da 1 a 5). Per quanto riguarda l'attribuzione del livello di danno si vedano le schede descrittive in allegato, che riportano, per ciascun meccanismo, una breve descrizione dello stato di danneggiamento per ciascun livello. Si richiede inoltre di indicare se si tratta di danni precedenti al sisma, danni dovuti al sisma o di un loro aggravamento e se è un meccanismo secondario. Indicare quindi la tipologia di provvedimenti P.I. che si intende suggerire.

Indice di danno (CP14.2)

Sulla base dati rilevati, nelle precedenti sotto-sezioni, è possibile ricavare l'indice di danno, un numero compreso tra 0 e 1, che quantifica il livello medio di danno subito dal macro-elemento. L'indice di danno si calcola tramite una media normalizzata dei livelli di danno rilevati per ciascun meccanismo primario sulla base del numero di macro-elementi individuati nel palazzo. In particolare l'indice di danno si ottiene dalla formula:

$$I_d = d/5n$$

dove n è la sommatoria di tutti i singoli macro-elementi individuati. Fondamentale quindi che il rilevatore riporti il numero preciso di elementi afferenti a quel macro-elemento (ad esempio il numero di corpi scala, il numero di coperture...). Mentre d è il risultato della sommatoria del livello di danno dei meccanismi primari. Ossia per ogni macro-elemento individuato si considera solo il meccanismo avente livello di danno maggiore. Tuttavia è necessario riportare in questa sezione anche i livelli di danno dei meccanismi secondari. L'indice di danno è propedeutico alla definizione delle opere di messa in sicurezza, alla programmazione dei primi interventi e alla pianificazione del recupero definitivo.

Agibilità (CP15)

In questa sezione, il rilevatore deve fornire un giudizio in merito all'agibilità del bene componente sulla base dei dati acquisiti durante il sopralluogo. A tal proposito si ricorda, secondo quanto definito anche nel Manuale per la Scheda Chiese Modello A-DC, che *"la valutazione di agibilità in emergenza post-sismica è una valutazione temporanea e speditiva – vale a dire formulata sulla base di un giudizio esperto e condotta in tempi limitati, in base alla semplice analisi visiva ed alla raccolta di informazioni facilmente accessibili – volta a stabilire se, in presenza di una crisi sismica in atto, gli edifici colpiti dal terremoto possano essere utilizzati restando ragionevolmente protetta la vita umana"*.

In accordo con quanto già definito per le Schede di Rilievo del Danno ai Palazzi - Modello B-DP: "l'esito A (AGIBILE) va scelto, se non sono emerse dall'ispezione a vista condizioni che possano indirizzare verso una valutazione di inagibilità. L'esito B (AGIBILE CON PROVVEDIMENTI) va indicato quando la riduzione del rischio (totale o parziale) si può conseguire con il pronto intervento (opere di consistenza limitata, di rapida e facile esecuzione che rendono agibile l'edificio); in tal caso occorre suggerire la tipologia di opere da porre in opera. L'esito C (PARZIALMENTE AGIBILE) va indicato se l'edificio presenta una situazione di rischio che condiziona l'agibilità di una sola parte, ben definita, del manufatto. L'esito D (TEMPORANEAMENTE INAGIBILE) va indicato solo in casi particolarmente problematici tali da rendere incerto il giudizio di agibilità da parte della squadra; in tal caso va specificata la motivazione dell'approfondimento. L'esito E (INAGIBILE) va indicato se l'edificio non può essere utilizzato in alcuna delle sue parti, neanche a seguito di provvedimenti di pronto intervento. L'esito F (INAGIBILE PER CAUSE ESTERNE) va usato in multi-scelta, nei casi in cui sussistano anche condizioni di rischio esterno."

Tipo di visita (CP16)

Viene richiesto di indicare l'accuratezza della visita: completa, parziale, solo dall'esterno, nonché gli eventuali motivi ostativi che non hanno reso possibile il sopralluogo.

Provvedimenti P.I. suggeriti e note (CP17)

Indicare in questa sezione, con criterio multi scelta, i provvedimenti di pronto intervento che si intende suggerire alla luce del sopralluogo effettuato.

Danni all'apparato decorativo e alle opere d'arte (CP18)

In questa sezione si richiede di segnalare la presenza gli eventuali danni prodotti sui beni artistici (apparato decorativo o opere d'arte) dal sisma.

Note (CP19)

Tale spazio può essere utilizzato per riportare informazioni ritenute importanti e non riconducibili a nessuna delle voci presenti nella scheda.

E: Scheda di Rilievo del Danno – Bene Componente Torre

Tale sotto scheda raccoglie le informazioni specifiche riguardanti il bene componente denominato "Torre". Con il termine *torre* si identifica un fabbricato dallo spiccato sviluppo verticale. Nel caso siano presenti più torri, sarà necessario compilare una scheda per ognuna. Ogni scheda contiene, nella prima sezione, le informazioni relative ai dati dimensionali, alla presenza di manufatti di pregio da porre in sicurezza; nella seconda sezione si richiede di compilare i campi relativi allo stato di conservazione/manutenzione, al rilievo del danno (tramite meccanismi di danno specifici per il macro-elemento in esame), all'indice di danno, alla valutazione di agibilità, al suggerimento di eventuali provvedimenti di messa in sicurezza, al rilievo del danno dell'apparato decorativo e infine alla stima sommaria dei costi delle opere necessarie. Si articola in 19 sotto-sezioni.

1.1 Prima sezione

Contiene informazioni di carattere generale, ossia la denominazione del bene componente, se diversa da quella del bene complesso, i dati dimensionali e i dati inerenti ai beni culturali contenuti.

Riferimento scheda Bene complesso (CT1)

Indicare il numero della scheda del Bene complesso a cui la Scheda Torre è associata.

Oggetto (CT2)

Indicare denominazione del bene componente torre solo nel caso in cui sia diversa da quella del bene complesso.

Codice scheda bene componente (CT3)

Indica il codice, composto dalla lettera T e da un numero progressivo, che identifica in maniera univoca il bene componente all'interno del bene complesso. Tale codice è riportato anche nella sezione C11/12 della scheda bene complesso.

Destinazione d'uso attuale (CT4)

Con criterio multi-scelta, indicare tutte le destinazioni d'uso della torre e le relative percentuali e continuità di utilizzo.

Tipologia dei beni artistici presenti (CT5)

Tramite opzione multi scelta indicare la tipologia di beni artistici presenti nella torre (affreschi, mosaici, stucchi, arazzi, lapidi, orologi storici o meridiane etc.), specificandone il numero e la superficie espressa in metri quadrati.

Documentazione fotografica allegata (CT6)

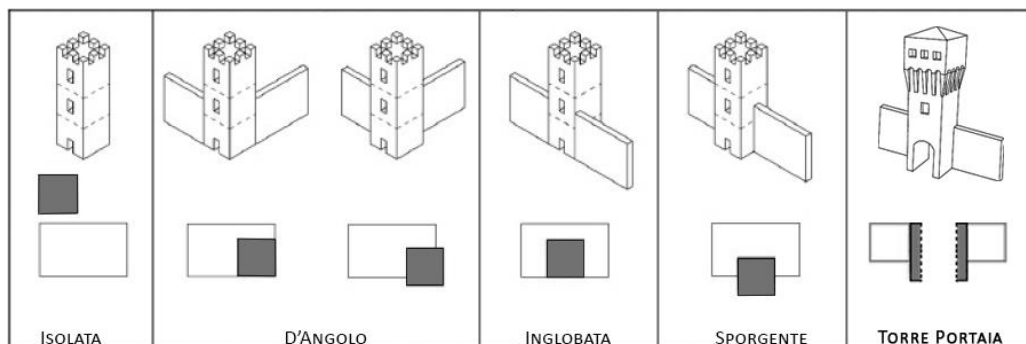
In tale sezione deve essere indicata la disponibilità di documentazione fotografica ed il suo autore. La documentazione fotografica deve comprendere tutti i fronti esterni e, se possibile, gli interni, con viste di insieme e di dettaglio, in grado di descrivere anche la tipologia costruttiva (tipi di muratura, orditure dei tetti, ecc.), i principali arredi fissi e mobili (se presenti) e le manifestazioni di dissesto. Tali documentazioni, al termine del sopralluogo, dovranno essere archiviate presso gli uffici preposti, denominate con la data di ripresa, il nome e la località della torre e il numero della scheda bene complesso a cui sono collegate. Quando possibile è opportuno allegare anche la documentazione fotografica numerata, con la planimetria delle foto. Si sottolinea l'importanza della documentazione fotografica d'insieme e di dettaglio, in quanto testimonianza oggettiva del danneggiamento riscontrato.

Dati dimensionali (CT7)

In questa sottosezione si richiede di indicare le principali misure, in metri, del bene componente torre: larghezza, lunghezza, altezza, forma in pianta. Si chiede inoltre di indicare se si tratta di una *torre portaia*, ossia che presenta al livello del piano campagna il portale d'accesso all'eventuale corte del complesso fortificato. Con criterio mono-scelta, indicare la forma in pianta della torre e la sua posizione: isolata, d'angolo, inglobata o sporgente.

Elaborati grafici (CT8)

Inserire in questa sotto-sezione la documentazione grafica disponibile (piante, sezioni, prospetti, etc.). Se non fosse possibile reperibile alcuna documentazione, si richiede di disegnare schematicamente la pianta, prospetto e sezioni verticali della torre. La documentazione grafica (sia allegata che prodotta direttamente sulla scheda) deve indicare i danni rilevati, con l'illustrazione dei principali dissesti.



Seconda sezione

Contiene le informazioni relative allo stato di manutenzione generale, al rilievo del danno, all'indice di danno, alla valutazione dell'agibilità del bene componente, degli eventuali provvedimenti di pronto intervento suggeriti e al rilievo del danno all'apparato decorativo e alle opere d'arte.

Stato di manutenzione generale (CT9-10)

Con criterio mono-scelta, occorre indicare lo stato di manutenzione delle strutture verticali, orizzontali e della copertura (qualora siano presenti), secondo una scala qualitativa che va da buono a pessimo. Oltre al giudizio qualitativo occorre indicare se sono presenti o meno lavori in corso. Sempre con criterio mono-scelta, si chiede di indicare eventuali lesioni preesistenti e la loro gravità.

Rilievo del danno agli elementi non strutturali (CT11)

Indicare quali elementi non strutturali si sono danneggiati e con che livello di danno (da 1 a 5), la loro localizzazione e quale tipologia di provvedimenti P.I. si suggerisce. Il danno può essere identificato come sismico, pregresso o aggravamento.

Rilievo del danno agli elementi strutturali (CT12)

Indicare, a fianco della tipologia muraria individuata, una sua breve descrizione.

Abaco dei meccanismi di collasso delle Torri (CT13.1)

Nella sezione sono elencati i 20 meccanismi di collasso caratteristici per le torri; per ogni meccanismo sono riportate le modalità di danno finora individuate, illustrate di seguito e i cui schemi esplicativi sono riportati in allegato alla scheda.

I 20 meccanismi di danno si possono così suddividere:

TORRE	MACROELEMENTO	MECCANISMO DI DANNO		
	SOLAIO	M10	Sfilamento testa travi e/o martellamento	
		M11	Collassi locali impalcato o volta	
		M12	Danno alle volte per rotazione delle imposte	
		M13	Danno alle volte per deformazioni di piano	
	SCALE	M14	Danno alle scale	
	BASE TORRE	M29	Meccanismo a flessione della torre	
		M30	Meccanismi a taglio e torsionali della torre	
	PARTE SVETTANTE	M31	Meccanismi a taglio nella parte svettante della torre	
	COPERTURA	M36	Ribaltamento cantonale	
		M37	Scorrimento	
	FONDAZIONI	M22	Cedimento fondazioni localizzato	
	IRREGOLARITÀ COSTRUTTIVE	M19	Collassi locali per irregolarità costruttive e del materiale	
	CORPI ANNESSI	M21	Danno nei corpi annessi	
	DISCONTINUITÀ MATERICHE	M24	Disgregazione	
		M25	Delaminazione	
	AGGETTI	M18	Danno agli elementi di aggettanti /svettanti (torrette)	
	MERLI	M32	Merli: Meccanismo a taglio nel piano	
		M33	Merli: Meccanismo a ribaltamento fuori dal piano	
	BECCATELLI	M34	Beccatelli: Trazione all'innesto con la muratura portante	
M35		Beccatelli: Cedimento dell'arco per allontanamento dei piedritti		

Nel compilare questa sotto-sezione il rilevatore deve specificare la possibile attivazione del meccanismo di collasso, anche nel caso in cui ad esso non sia associato un danno. Infatti la sola presenza di ciascuno degli macro-elementi sopra indicati è sufficiente a far ritenere possibile l'attivazione del meccanismo di collasso ad esso associato. La presenza dei vari macro-elementi va segnalata mediante una croce nella casella a fianco del macro-elemento; se si riscontra invece l'attivazione dei meccanismi bisogna esprimere un giudizio sulla loro gravità. Alcune caselle risultano già annerite per segnalare la sicura presenza del macro-elemento, quale ad esempio le fondazioni. Il giudizio dell'entità del danno è graduato su cinque livelli, definiti nelle scale macrosismiche europee EMS98 e nei metodi di rilievo di vulnerabilità di I livello per gli edifici ordinari (GNDT): 0-danno nullo; 1-danno lieve; 2-danno moderato; 3- danno

grave; 4-danno molto grave; 5-crollo. Per quanto riguarda l'attribuzione del livello di danno per i meccanismi ricorrenti nelle architetture fortificate si consultino le schede descrittive allegate.

Indice di danno (CT13.2)

Sulla base dati rilevati, nelle sotto-sezioni illustrate, è possibile ricavare un indice di danno, ossia un numero compreso tra 0 e 1, che quantifica il livello medio di danno subito dalla torre. L'indice di danno si ottiene tramite una media normalizzata dei livelli di danno dei meccanismi primari, ossia dei meccanismi con livello di danno maggiore per ciascun macro-elemento. In caso a un macro-elemento sia associato un solo meccanismo, quest'ultimo sarà considerato automaticamente meccanismi primario e quindi contribuirà ai fine del calcolo dell'indice di danno. In particolare l'indice di danno si ottiene dalla formula:

$$Id = d/5n$$

dove

$$d = \text{MAX}(d_{M10}; d_{M11}; d_{M12}; d_{M13}) + d_{M14} + \text{MAX}(d_{M29}; d_{M30}) + d_{M31} + \text{MAX}(d_{M36}; d_{M37}) + d_{M22} + d_{M19} + d_{M21} + \text{MAX}(d_{M24}; d_{M25}) + d_{M18} + \text{MAX}(d_{M32}; d_{M33}) + \text{MAX}(d_{M34}; d_{M35})$$

dove n è la sommatoria di tutti i singoli macro-elementi presenti (quindi $n \leq 12$, nel caso non venga compilata la voce altro). Per un calcolo corretto dell'indice di danno è fondamentale indicare correttamente il numero di macro-elementi presenti, di modo da individuare meccanismi potenzialmente attivabili.

Mentre d è il risultato della sommatoria dei livelli di danno dei meccanismi primari. Ossia per ogni macro-elemento individuato si considera solo il meccanismo che ha raggiunto il livello di danno più alto. A ogni meccanismo viene comunque associato un livello di danno che può assumere i valori interi compresi fra 0 e 5.

L'indice di danno è propedeutico alla definizione delle opere di messa in sicurezza, nella programmazione dei primi interventi e nella pianificazione del recupero definitivo.

Agibilità (CT14)

In questa sezione, il rilevatore deve fornire un giudizio in merito all'agibilità del bene componente sulla base dei dati rilevati nel corso del sopralluogo. A tal proposito si ricorda, secondo quanto riportato anche nel Manuale delle Schede Chiese Modello A-DC, che: *“la valutazione di agibilità in emergenza post-sismica è una valutazione temporanea e speditiva – vale a dire formulata sulla base di un giudizio esperto e condotta in tempi limitati, in base alla semplice analisi visiva ed alla raccolta di informazioni facilmente accessibili – volta a stabilire se, in presenza di una crisi sismica in atto, gli edifici colpiti dal terremoto possano essere utilizzati restando ragionevolmente protetta la vita umana”*.

In accordo con quanto già definito nei Manuali delle Schede di Rilievo del Danno Chiese-Modello A-DC: *“l’esito A (AGIBILE) va scelto, se non sono emerse dall’ispezione a vista condizioni che possano indirizzare verso una valutazione di inagibilità. L’esito B (AGIBILE CON PROVVEDIMENTI) va indicato quando la riduzione del rischio (totale o parziale) si può conseguire con il pronto intervento (opere di consistenza limitata, di rapida e facile esecuzione che rendono agibile l’edificio); in tal caso occorre suggerire la tipologia di opere da porre in opera. L’esito C (PARZIALMENTE AGIBILE) va indicato se l’edificio presenta una situazione di rischio che condiziona l’agibilità di una sola parte, ben definita, del manufatto. L’esito D (TEMPORANEAMENTE INAGIBILE) va indicato solo in casi particolarmente problematici tali da rendere incerto il giudizio di agibilità da parte della squadra; in tal caso va specificata la motivazione dell’approfondimento. L’esito E (INAGIBILE) va indicato se l’edificio non può essere utilizzato in alcuna delle sue parti, neanche a seguito di provvedimenti di pronto intervento. L’esito F (INAGIBILE PER CAUSE ESTERNE) va usato in multi-scelta, nei casi in cui sussistano anche condizioni di rischio esterno.”*

Agibilità aree prospicienti (CT15)

Indicare, con criterio mono-scelta, se le aree prospicienti alla torre, oggetto di indagine, sono o meno agibili, ossia non sussistono rischi per la vita umana. A tal proposito si suggerisce di prestare particolare attenzione alla possibile attivazione di meccanismi fuori dal piano nella torre. Nel caso in cui la struttura sia stata definita agibile, dovranno essere dichiarate agibili anche le aree prospicienti alla stessa. Infine si chiede di fornire un suggerimento sulla distanza di sicurezza che si ritiene idonea, tale sotto-sezione naturalmente dovrà essere compilata solo in caso di mancata agibilità delle aree prospicienti.

Tipo di visita (CT16)

Viene richiesto di indicare l’accuratezza della visita: completa, parziale, solo dall’esterno, e gli eventuali motivi ostativi che hanno impedito il sopralluogo.

Provvedimenti P.I. suggeriti (CT17) e note (CT18)

Indicare in questa sezione, con criterio multi scelta, i provvedimenti di pronto intervento che si intende suggerire alla luce del sopralluogo effettuato.

Danni all’apparato decorativo e alle opere d’arte (CT19)

In questa sezione si richiede di segnalare la presenza gli eventuali danni prodotti sui beni artistici (apparato decorativo o opere d’arte) dal sisma.

F: Scheda riassuntiva finale

Tale scheda viene compilata successivamente al sopralluogo, dagli uffici preposti. Tale scheda ha lo scopo di fornire un giudizio globale sull'agibilità del bene complesso, in base alle informazioni deducibili dalle Schede Bene componente (C,D,E), redatte a seguito del sopralluogo. In tale scheda si richiede inoltre di riportare volume e indice di danno di ciascun bene componente di modo da poter calcolare l'indice di danno globale del bene complesso. Inoltre si richiede di definire le stime economiche degli interventi che andrebbero eseguiti su tutta la fabbrica. La stima dei costi viene effettuata successivamente al sopralluogo dagli uffici preposti e supportata da una procedura standardizzata.

1.1.1 Giudizio globale sull'agibilità del bene complesso (C19)

In questa sezione, viene richiesto di riportare il giudizio di agibilità formulato, nelle relative schede, per ciascun bene componente appartenenti alla categoria Torre e Palazzo. Per quando riguarda le Mura di cinta si richiede di riportare se è o meno necessario delimitare l'area prospiciente (causa meccanismi fuori piano o disgregazione). Tale sezione fornisce quindi una panoramica globale del giudizio di agibilità sul bene complesso.

Note sull'agibilità (C20)

In questa sezione è possibile indicare eventuali precisazioni/chiarimenti, inerenti alle questioni di valutazione sull'agibilità. Ad esempio esplicitando quali beni componenti non risultano agibili, con possibilità di inserire schemi grafici.

Unità immobiliari inagibili, famiglie e persone evacuate (C21)

Indicare il numero di unità immobiliari, di famiglie e di persone evacuate relativamente all'intero bene complesso.

Accuratezza del sopralluogo (C22)

In base a quanto riportato in ciascuna scheda bene componente, nella sezione relativa al tipo di visita, viene richiesto di fornire un giudizio complessivo sull'accuratezza della visita dell'intero bene complesso: completa, parziale, solo dall'esterno e gli eventuali motivi ostativi che hanno impedito il sopralluogo.

Indice di danno del bene complesso (C23)

Si chiede di riportare l'indice di danno e il volume di ciascun bene componente, definiti nelle relative schede. Dai valori di indice di danno e volume combinati secondo la seguente formula, si ricava l'indice di danno del bene complesso, indispensabile per la definizione delle opere di messa in sicurezza, per la programmazione dei primi interventi e per la pianificazione del recupero definitivo.

$$Id = [(Id_{T1} * Vol_{T1} + Id_{Tn} * Vol_{Tn}) + (Id_{P1} * Vol_{P1} + Id_{Pn} * Vol_{Pn}) + (Id_M * Vol_M)] / (Vol_{TORRI} + Vol_{PALAZZI} + Vol_{MURACINTA})$$

Valutazione economica (C24)

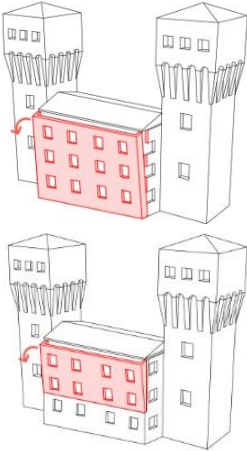
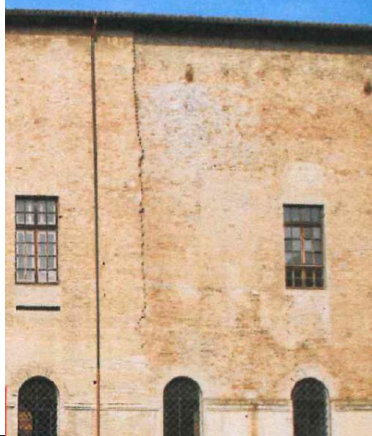


Viene richiesta una stima economica degli interventi che dovranno essere eseguiti su tutta la fabbrica. La stima dei costi viene effettuata successivamente al sopralluogo e supportata da una procedura standardizzata. Sono stati definiti dei coefficienti (α, β, γ) che combinati con indice di danno e il volume della fabbrica/bene complesso restituiscono una stima dei costi suddivisa in tre categorie: descrizione opere di ripristino strutturale (nuovi danni e danni pregressi aggravati), e stima del relativo costo; descrizioni opere finitura, e stima del relativo costo; descrizioni opere di pronto intervento, e stima del relativo costo. La stima sommaria dei costi ha come scopo l'orientamento delle prime scelte che dovranno essere effettuate a livello governativo centrale.

Valutazione economica del costo della salvaguardia delle opere d'arte (C25)

In questa sezione si richiede di riportare la stima economica del costo della salvaguardia delle opere d'arte contenute in tutto il complesso fortificato. Tuttavia siccome tale voce è già presente, e trattata in maniera più approfondita, nella *Scheda per il rilievo dei beni culturali – Danno ai beni mobili*, nel caso in cui tale scheda sia già stata compilata per il bene complesso in esame, si suggerisce di riportare il solo codice della suddetta scheda.

Note (C26)

Tale spazio può essere utilizzato per riportare informazioni ritenute importanti e non riconducibili a nessuna delle voci presenti nella scheda.

<p>M1</p>	<p style="text-align: center;">(P)</p> <p>RIBALTAMENTO DELLE PARETI ESTERNE</p>	
	<p>Il meccanismo si attiva con la rotazione fuori piano delle pareti di facciata o di parte di esse. Il quadro fessurativo conseguente è caratterizzato dallo strappo delle murature delle pareti laterali e da lesioni dall'andamento verticale, con sviluppo di una cerniera cilindrica con asse orizzontale, in corrispondenza della discontinuità costituita dalla presenza di grandi aperture o da solai intermedi spingenti. La presenza di strutture di contrasto efficaci (contrafforti, corpi addossati, altri edifici), di catene longitudinali, di un ammorsamento di buona qualità tra la facciata interessata dal meccanismo di ribaltamento e le pareti laterali, contribuisce ad evitare l'attivazione di tale meccanismo; di contro elementi spingenti (volte, archi, puntoni di copertura...), grandi aperture nelle pareti laterali vicino alla zona del cantonale, facilitano l'insorgenza del meccanismo.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 1</p>		
<p>Lievi lesioni verticali in corrispondenza dei muri perpendicolari alla facciata o nella facciata stessa. Le lesioni sono disposte lungo i giunti di malta e visibili solo ad un'osservazione accurata. Tali lesioni segnalano l'attivazione del meccanismo.</p>		
<p>LIVELLO DI DANNO 2</p>		
<p>Lesioni verticali in corrispondenza dei muri perpendicolari alla facciata o nella facciata interessata dal meccanismo. Tali lesioni sono chiaramente visibili.</p>		
		
<p><i>Castello dei Pio, Carpi</i></p>	<p><i>Rocca Isolani, Minerbio</i></p>	<p><i>Castello di Brumforte, Loro Piceno</i></p>

LIVELLO DI DANNO 3

Evidente fuori piombo del prospetto, con limitati crolli. Lesioni evidenti.



Castello dei Ronchi, Crevalcore



Castello Galeazza, Crevalcore



Castello Galeazza, Crevalcore

LIVELLO DI DANNO 4

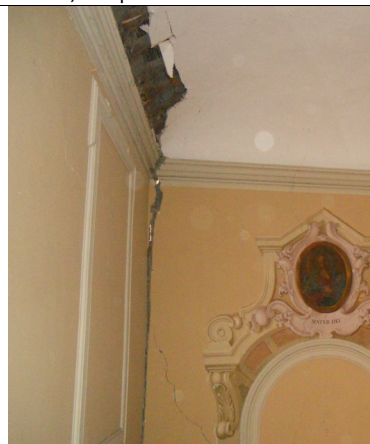
Il ribaltamento del prospetto è prossimo alla fase di ultimo spostamento al limite del crollo, con possibili crolli diffusi.



Castello dei Pico, Mirandola



Castello dei Pico, Mirandola

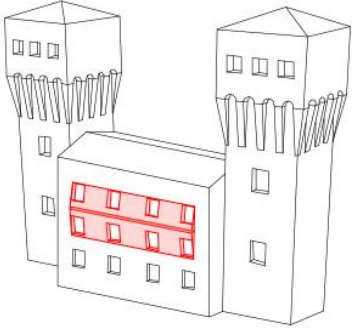



Castello Lambertini, Poggio Renatico

LIVELLO DI DANNO 5

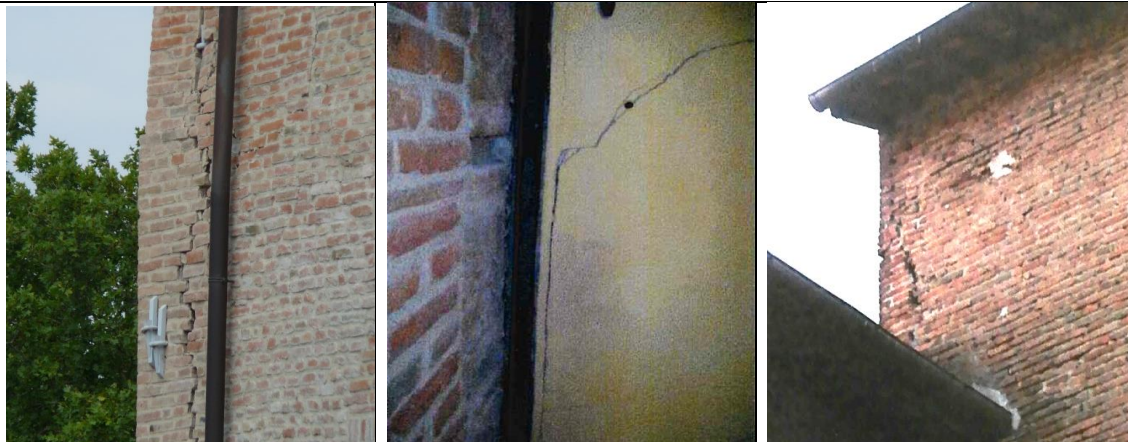
Collasso totale o prevalente del macro-elemento.

--	--	--

<p>M2 (P)</p>	<p>ROTTURA A FLESSIONE VERTICALE FUORI DAL PIANO</p>	
	<p>Il meccanismo si attiva con la flessione verticale fuori dal piano della parete, avente un vincolo inferiore e superiore (solai ben collegati), tali da evitare il ribaltamento semplice. Il quadro fessurativo si manifesta con lesioni orizzontali in corrispondenza del piano di connessione tra solaio intermedio e parete verticale.</p> <p>La presenza di catene o di buone connessioni tra elementi di solaio e muratura migliora la risposta al sisma del macro-elemento. Di contro le altezze d'interpiano elevate o irregolari, la mancanza di solai sufficientemente rigidi e di adeguati collegamenti tra solai intermedi e parete di facciata, unitamente a connessioni rigide alle estremità dell'edificio; un'eccessiva snellezza della facciata stessa sono elementi che amplificano la vulnerabilità del macro-elemento.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 1</p>		
<p>Lievi lesioni orizzontali in corrispondenza di un orizzontamento interno. Le lesioni sono disposte lungo i giunti di malta e visibili solo ad un'osservazione accurata. Tali lesioni segnalano l'attivazione del meccanismo.</p>		
<p>LIVELLO DI DANNO 2</p>		
<p>Lesioni orizzontali in corrispondenza di un orizzontamento interno, chiaramente visibili.</p>		
		
<p><i>Rocca Isolani, Minerbio</i></p>		

LIVELLO DI DANNO 3

Evidente spanciamento e fuori piombo del prospetto, con lesioni diffuse in corrispondenza del solaio intermedio e con limitati crolli.



Castello dei Pico, Mirandola

Castello dei Pico, Mirandola

Rocca dei Bentivoglio, Bentivoglio

LIVELLO DI DANNO 4

Lo spanciamento del prospetto è prossimo alla fase di ultimo spostamento al limite del crollo, con crolli diffusi.

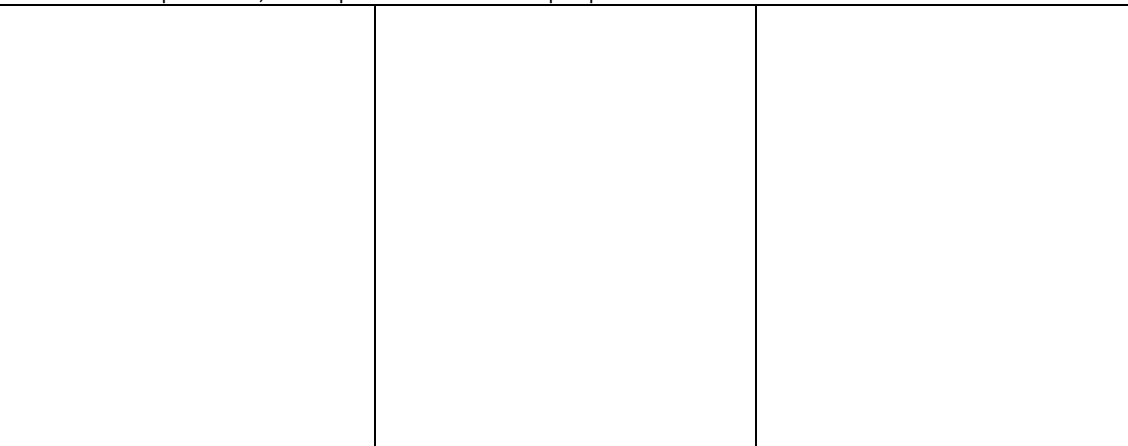


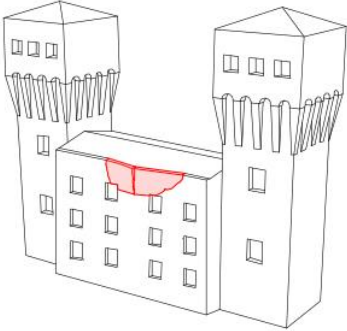
Palazzo comunale, Concordia

Castello di Pallotta, Calderola

LIVELLO DI DANNO 5

Collasso totale o prevalente, con l'espulsione della fascia di prospetto interessata dal meccanismo.



<p>M3</p>	<p style="text-align: center;">(P)</p> <p>ROTTURA A FLESSIONE ORIZZONTALE FUORI DAL PIANO</p>
	<p>Il meccanismo si attiva con lo spostamento fuori piano, per flessione orizzontale, della parte sommitale della parete esterna, vincolata alla base ai muri di controvento, ma non superiormente. Si formano quindi tre cerniere: una centrale e due laterali in corrispondenza dei muri ortogonali alla facciata. Il quadro fessurativo che ne deriva è una lesione ad arco. La presenza di collegamenti efficaci della facciata con la copertura (travicate) e con i muri di controvento, di cordoli leggeri, contribuisce ad un buon comportamento di questo macro-elemento; di contro scarse o deboli connessioni con il solaio di copertura, unitamente a connessioni rigide con altri solai, la presenza di cordoli rigidi e pesanti, di una copertura pesante in C.A., di discontinuità murarie (aperture, anche tamponate; canne fumarie) facilitano l'attivazione del meccanismo.</p>
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Lievi lesioni inclinate nelle fasce del prospetto in corrispondenza dell'attacco del solaio di copertura. Le lesioni sono disposte lungo i giunti di malta e visibili solo ad un'osservazione accurata. Tali lesioni segnalano l'attivazione del meccanismo.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Le lesioni inclinate o ad arco, ben visibili.</p>	

LIVELLO DI DANNO 3

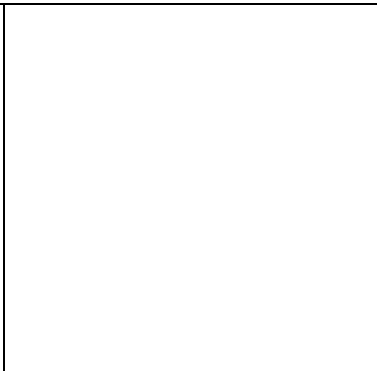
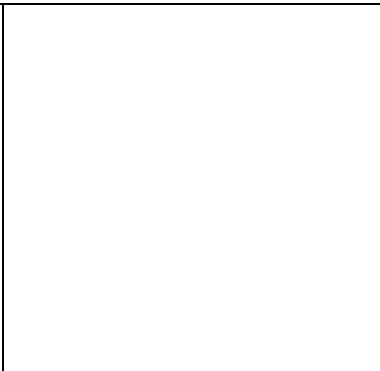
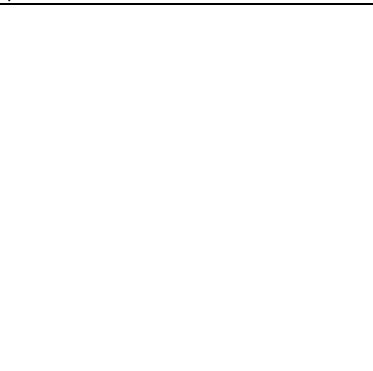
Evidente rotazione fuori dal piano del prospetto, con lesioni diffuse in corrispondenza dell'attacco del solaio di copertura e il paramento verticale, con limitati crolli.



Castello dei Pico, Mirandola

LIVELLO DI DANNO 4

La rotazione fuori dal piano della porzione di prospetto è prossima alla fase di ultimo spostamento al limite del crollo, con possibili crolli diffusi.



LIVELLO DI DANNO 5

Collasso totale o prevalente, con l'espulsione della fascia di prospetto interessata dal meccanismo.



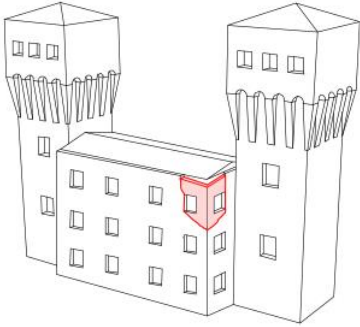

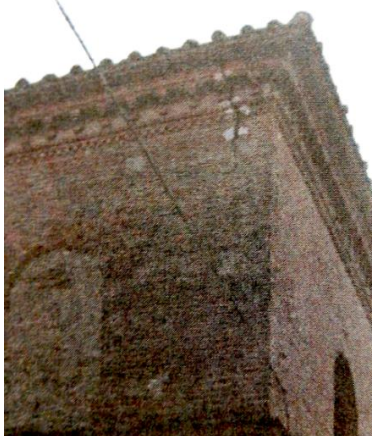
Castello di Galeazza, Crevalcore



Castello di Galeazza, Crevalcore



Castello di Galeazza, Crevalcore

<p>M4 P</p>	<p>RIBALTAMENTO DEL CANTONALE</p>	
	<p>Il meccanismo si attiva con rotazioni fuori dal piano degli angoli murari, a causa di elementi spingenti. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da lesioni subverticali o arcuate, in prossimità degli angoli della parte sommitale dell’edificio. Tali lesioni tendono a isolare una porzione di muratura angolare, con la conseguente possibile espulsione della stessa. Un ammorsamento di buona qualità del cantonale, la presenza di cerchiature sufficientemente diffuse e ancoraggi adeguati contribuiscono ad evitare lo sviluppo di tale meccanismo, riducendo l’altezza di libera inflessione dell’angolo; di contro le differenze nella tessitura muraria degli angoli, la presenza di capi-chiave interni alla muratura, di eventuali asimmetrie strutturali e di elementi spingenti sugli angoli (volte, coperture spingenti, cordoli in C.A.) favoriscono l’attivazione del meccanismo.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Lievi lesioni subverticali o arcuate, in prossimità del cantonale. Tali lesioni sono visibili sono a un’osservazione accurata e si sviluppano lungo i giunti di malta.</p>		
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Lesioni subverticali o arcuate, ben visibili, in prossimità del cantonale, con lieve dislocazione dell’angolo.</p>		
		
<p><i>Rocca estense, San Felice sul Panaro</i></p>	<p><i>Rocca dei Bentivoglio, Bentivoglio</i></p>	

LIVELLO DI DANNO 3

Evidenti lesioni subverticali o arcuate, con dislocazione e fuori piombo del cantonale. I crolli sono limitati.



Castello dei Pico, Mirandola

Castello

LIVELLO DI DANNO 4

Lesioni subverticali o arcuate passanti che isolano la porzione muraria angolare con spostamento della stessa al limite del crollo e con crolli parziali.



Castello dei Pico, Mirandola

LIVELLO DI DANNO 5

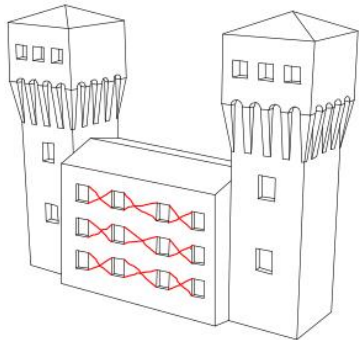



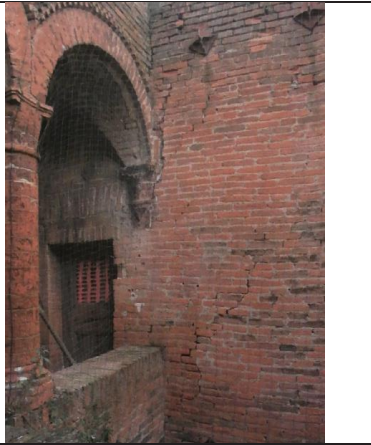
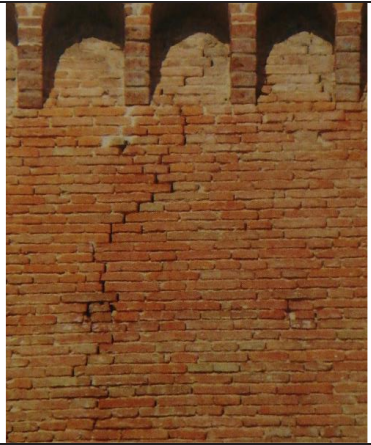

Espulsione del cantonale, con conseguente crollo del macro-elemento.



Municipio, Sant'Agostino



Castello di Brumforte, Loro Piceno

M5	P TAGLIO NELLE PARETI ESTERNE: MASCHI	
	<p>Il meccanismo si innesca, con deformazioni nel piano, per rottura a taglio nei maschi murari delle pareti esterne. Il quadro fessurativo che ne deriva si manifesta con lesioni ad andamento inclinato a 45 gradi, sia singole che incrociate, generalmente disposte lungo i giunti di malta della muratura. La presenza di catene trasversali, di un contrasto laterale fornito da corpi addossati (es. torri) coadiuva ad un buon comportamento delle pareti; di contro grandi aperture (anche tamponate) e discontinuità murarie nella muratura facilitano l'attivazione del meccanismo.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Lievi lesioni inclinate e singole, visibili solo ad un'osservazione accurata e di limitata estensione. Si sviluppano lungo i giunti di malta, assumendo il tipico aspetto a "scaletta".</p>		
		
<p><i>Castello dei Bentivoglio, Bentivoglio</i></p>	<p><i>Rocca estense, San Martino in Rio</i></p>	<p><i>Castello Lambertini, Poggio Renatico</i></p>
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Lesioni inclinate, singole o incrociate, che si sviluppano lungo i giunti di malta, di spessore tale da rendere facilmente leggibile l'attivazione del meccanismo.</p>		
		
<p><i>Castello dei Bentivoglio, Bentivoglio</i></p>	<p><i>Castello dei Pio, Carpi</i></p>	<p><i>Castello dei Ronchi, Crevalcore</i></p>

LIVELLO DI DANNO 3

Lesioni inclinate, singole o incrociate, con crolli limitati in corrispondenza delle lesioni.



Rocca estense, San Felice sul Panaro

Castello Lambertini, Poggio Renatico

Palazzo comunale, Concordia

LIVELLO DI DANNO 4

Evidenza macroscopica del meccanismo di dissesto: lesioni passanti incrociate, elemento al limite del crollo o crollo di parti limitate e riduzione della sezione portante.



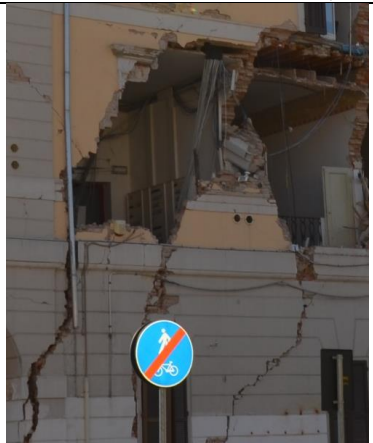
Castello dei Pico, Mirandola

Palazzo comunale, Concordia

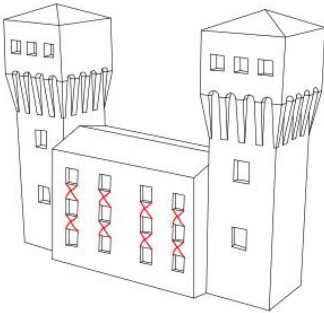
Municipio, Sant'Agostino

LIVELLO DI DANNO 5

Crollo totale dell'elemento o crollo prevalente con espulsione delle porzioni di muratura isolate dalle lesioni passanti.



Municipio, Sant'Agostino

<p>M6 P</p>	<p>TAGLIO NELLE PARETI ESTERNE: FASCE MURARIE</p>
	<p>Il meccanismo si innesca, con deformazioni nel piano, per rottura a taglio nelle fasce murarie (architravi delle aperture e porzioni di muratura soprastante). Il quadro fessurativo che ne deriva si manifesta con lesioni inclinate a 45 gradi, sia singole che incrociate, generalmente disposte lungo i giunti di malta della muratura. Le catene trasversali, un contrasto laterale fornito da corpi addossati (es. torri) aiutano a garantire un buon comportamento delle pareti; di contro grandi aperture (anche tamponate), discontinuità murarie nella muratura e la presenza di impianti, canne fumarie e tubazioni facilitano l'attivazione del meccanismo.</p>

LIVELLO DI DANNO 1

Lievi lesioni inclinate, singole o incrociate, visibili solo ad un'osservazione accurata e di limitata estensione, in corrispondenza degli angoli delle aperture. Si sviluppano lungo i giunti di malta, assumendo il tipico aspetto a "scaletta".



Palazzo Sartoretti, Reggiolo

Castello di Lanciano, Castelraimondo

LIVELLO DI DANNO 2

Lesioni inclinate, singole o incrociate, che si sviluppano lungo i giunti di malta, di spessore tale da rendere facilmente leggibile l'attivazione del meccanismo.



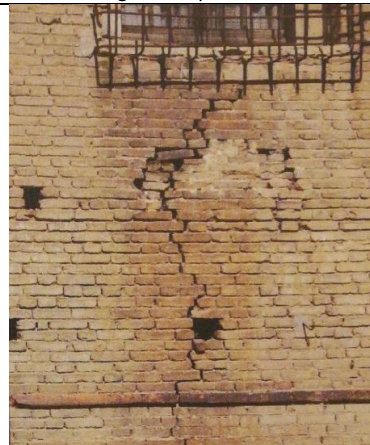
Rocca Isolani, Minerbio

Castello estense, San Martino in Rio

Castello Lambertini, Poggio Renatico

LIVELLO DI DANNO 3

Lesioni inclinate, singole o incrociate, con crolli limitati in corrispondenza delle lesioni e che collegano le aperture tra di loro.



Castello estense, San Martino in Rio

Rocca Isolani, Minerbio

Rocca dei Gonzaga, Novellara

LIVELLO DI DANNO 4

Evidenza macroscopica del meccanismo di dissesto: lesioni passanti incrociate, elemento al limite del crollo o crollo di parti limitate.



Castello Galeazza, Crevalcore

Municipio, Sant'Agostino

Palazzo comunale, Concordia

LIVELLO DI DANNO 5

Crollo totale dell'elemento o crollo prevalente con espulsione delle porzioni di muratura isolate dalle lesioni passanti.



<p>M7</p>	<p>(P) TAGLIO PARETI INTERNE</p>	
	<p>Il meccanismo si innesca, con deformazioni nel piano, per rottura a taglio nelle pareti interne. Il quadro fessurativo che ne deriva si manifesta con lesioni ad andamento inclinato a 45 gradi, sia singole che incrociate, generalmente disposte lungo i giunti di malta della muratura. La presenza di catene trasversali, di un contrasto laterale fornito dalle pareti di controvento contribuisce ad un buon comportamento di questo delle pareti; di contro grandi aperture (anche tamponate) e discontinuità murarie nella muratura facilitano l'attivazione del meccanismo.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 1</p>		
<p>Lievi lesioni inclinate e singole, visibili solo ad un'osservazione accurata e di limitata estensione, in corrispondenza degli angoli delle aperture o di altre discontinuità nella muratura. Le lesioni si sviluppano lungo i giunti di malta, assumendo il tipico aspetto a "scaletta".</p>		
		
<p><i>Castello dei Pico, Mirandola</i></p>	<p><i>Pinacoteca civica, Cento</i></p>	<p><i>Pinacoteca civica, Cento</i></p>
<p>LIVELLO DI DANNO 2</p>		
<p>Lesioni inclinate, singole o incrociate, che si sviluppano lungo i giunti di malta, di spessore tale da rendere facilmente leggibile l'attivazione del meccanismo.</p>		
		
<p><i>Rocca Isolani, Minerbio</i></p>	<p><i>Rocca estense, San Felice sul Panaro</i></p>	<p><i>Castello Lambertini, Poggio Renatico</i></p>

LIVELLO DI DANNO 3

Lesioni inclinate, singole o incrociate, con crolli limitati in corrispondenza delle lesioni e che collegano le aperture tra di loro.



Rocca estense, San Felice sul Panaro

Castello dei Bentivoglio, Bentivoglio

Castello Lambertini, Poggio Renatico

LIVELLO DI DANNO 4

Evidenza macroscopica del meccanismo: lesioni passanti incrociate, elemento al limite del crollo o crollo di parti limitate.



Castello dei Pico, Mirandola

Castello dei Pico, Mirandola

Castello Galeazza, Crevalcore

LIVELLO DI DANNO 5

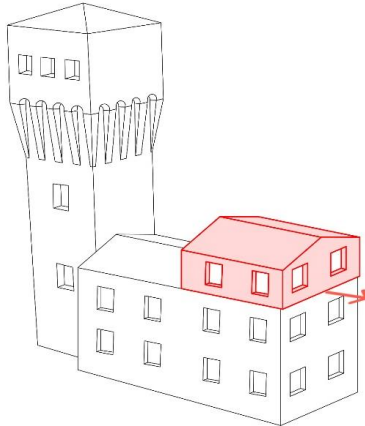
Crollo totale dell'elemento o crollo prevalente con espulsione delle porzioni di muratura isolate dalle lesioni passanti.



Castello Lambertini, Poggio Renatico

Castello Galeazza, Crevalcore

Castello Galeazza, Crevalcore

<p>M8 P</p> 	<p>SCORRIMENTO DI PIANO</p> <p>Il meccanismo si attiva per deformazioni a taglio nel piano per scorrimento orizzontale. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da lesioni orizzontali lungo i giunti di malta, con conseguente scorrimento della porzione svettante del fabbricato (quali altane, torrette) sulla porzione di muratura sottostante, lungo un piano orizzontale. Meno frequenti sono scorrimenti di interi piani di un fabbricato. Buoni architravi nelle aperture, la presenza di collegamenti verticali e di corpi di fabbrica laterali contribuiscono ad un buon comportamento di questo macro-elemento; di contro la presenza cordoli rigidi e pesanti in C.A. favorisce l'attivazione del meccanismo.</p>
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Lievi lesioni orizzontali in corrispondenza di un solaio intermedio, visibili ad una osservazione accurata e di limitata estensione.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Lesioni orizzontali in corrispondenza di un solaio intermedio, che rendono leggibile l'attivazione del meccanismo. Lieve dislocazione lungo il piano di scorrimento.</p>	

LIVELLO DI DANNO 3

Gravi lesioni orizzontali in corrispondenza di un solaio intermedio, con evidente dislocazione lungo il piano di scorrimento e crolli limitati a porzioni non strutturali.



Mura di Norcia

LIVELLO DI DANNO 4

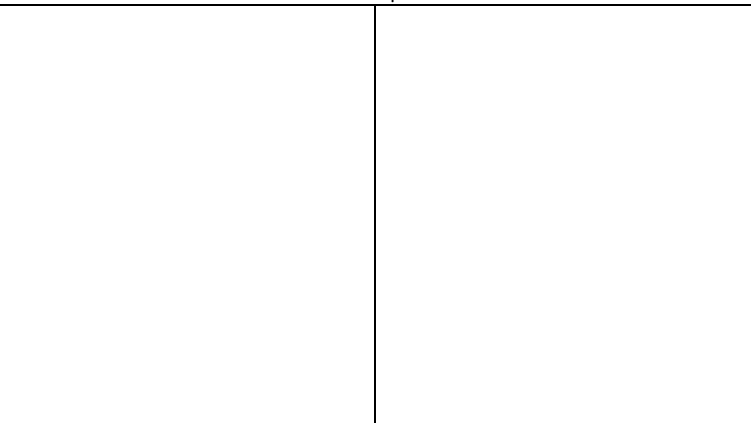
Gravi lesioni orizzontali in corrispondenza di un solaio intermedio, con dislocazione lungo il piano di scorrimento al limite del collasso e crolli puntuali diffusi.

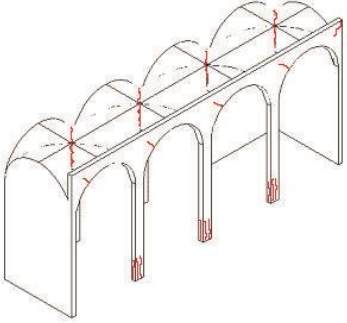


Castello di Kruja, Albania

LIVELLO DI DANNO 5

Collasso del macro-elemento o di una sua parte consistente.



<p>M9 P</p>	<p>DANNO A LOGGE/PORTICATI</p>	
	<p>Il meccanismo si attiva con deformazioni per rottura a taglio dovute ad azioni nel piano del colonnato o per azioni di compressione. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da: lesioni negli archi o negli architravi longitudinali; eventuale lesionamento delle volte; dal fuori piombo o schiacciamento dei piedritti, con lesioni alle base degli stessi. Le catene trasversali, un contrasto laterale fornito da corpi addossati (es. torri) aiutano a garantire una buona risposta di questo macro-elemento; di contro la presenza di elementi spingenti (archi, volte), di volte pesanti in pietra o in laterizio di spessore significativo, di cappe armate sull'estradosso delle volte, di una copertura pesante in C.A. aggrava il fenomeno.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Attivazione del meccanismo: lievi lesioni, nel piano dell'impalcato o alla base dei piedritti, visibili ad una osservazione accurata e di limitata estensione.</p>		
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Lesioni nel piano dell'impalcato o alla base dei piedritti, che rendono leggibile il meccanismo attivato, con dissesti di limitata entità.</p>		
		
<p><i>Rocca, Pieve di Cento</i></p>		

LIVELLO DI DANNO 3

Lieve fuori piombo di piedritti. Crolli puntuali e limitati, che non inficiano sulla capacità portante del macro-elemento.



Castello dei Bentivoglio, Bentivoglio

Castello Lambertini, Poggio Renatico

Castello estense, San Martino in Rio

LIVELLO DI DANNO 4

Crolli diffusi degli elementi portati, quali impalcati (volte o solai) e fuori piombo dei piedritti che portano il macro-elemento al limite del collasso.



Castello Campori, Soliera

Castello estense, San Martino in Rio

Pinacoteca civica, Cento

LIVELLO DI DANNO 5

Rotazione dei piedritti o deformazioni dell'impalcati tali da comportare un crollo totale o prevalente del macro-elemento.



Rocca estense, San Felice sul Panaro

Rocca, Finale Emilia

Castello Galeazza, Crevacore

<p>M10 (M) (P) (T)</p>	<p>SFILAMENTO TESTA DELLE TRAVI E/O MARTELLAMENTO</p>	
	<p>Il meccanismo si manifesta generalmente con l'attivazione del meccanismo di ribaltamento fuori dal piano della parete su cui poggiano le travi del solaio interessato (meccanismo M1). Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato dallo scorrimento delle travi dal piano di appoggio, anche di diversi cm, che può portare al collasso del solaio. Efficaci elementi di contrasto al ribaltamento della facciata (contrafforti, corpi addossati, altri edifici), la presenza di catene, di cordoli leggeri e di adeguati collegamenti trave-muratura contribuiscono ad evitare l'attivazione di tale meccanismo; di contro appoggi delle travi mal realizzati facilitano l'attivazione del meccanismo.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Lievi lesioni in corrispondenza delle teste delle travi. L'attivazione dei meccanismi di modo I (M1, M2, M3...) possono essere preludio all'attivazione di tale meccanismo o accentuare la vulnerabilità di tale elemento.</p>		
		
<p><i>Castello dei Pio, Carpi</i></p>	<p><i>Castello Galeazza, Crevalcore</i></p>	<p><i>Castello estense, Ferrara</i></p>
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Lesioni in corrispondenza della testa delle travi, che rendono facilmente leggibile l'attivazione del meccanismo. Lieve dislocazione della trave.</p>		
		
<p><i>Castello dei Bentivoglio, Bentivoglio</i></p>	<p><i>Castello dei Bentivoglio, Bentivoglio</i></p>	<p><i>Rocca estense, San Felice sul Panaro</i></p>

LIVELLO DI DANNO 3

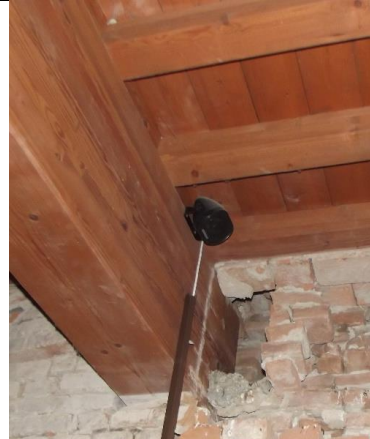
Lesioni in corrispondenza della testa delle travi, che rendono facilmente leggibile l'attivazione del meccanismo. Dislocazione della trave.



Rocca estense, San Felice sul Panaro



Castello dei Bentivoglio, Bentivoglio

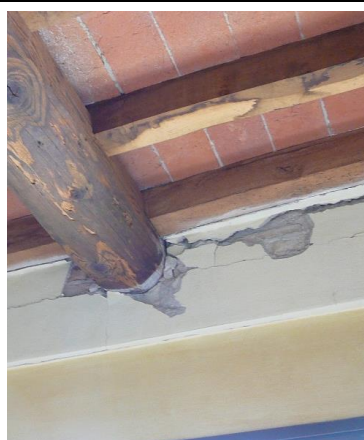


Rocca estense, San Felice sul Panaro

LIVELLO DI DANNO 4 Scivolamento della trave al limite del crollo, con danni diffusi alla muratura, in corrispondenza della testa della trave, a seguito di fenomeni di martellamento sulla stessa.



Castello dei Pico, Mirandola



Castello dei Pico, Mirandola



Castello dei Pico, Mirandola

LIVELLO DI DANNO 5 Scivolamento e crollo totale della trave. Quindi collasso totale o parziale dell'impalcato soprastante.



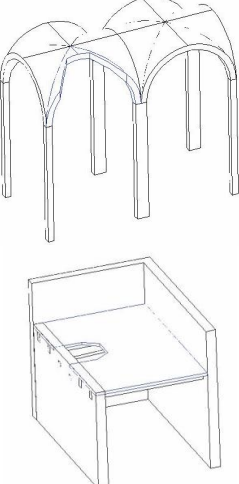


Castello di Galeazza, Crevalcore



Castello Lambertini, Poggio Renatico

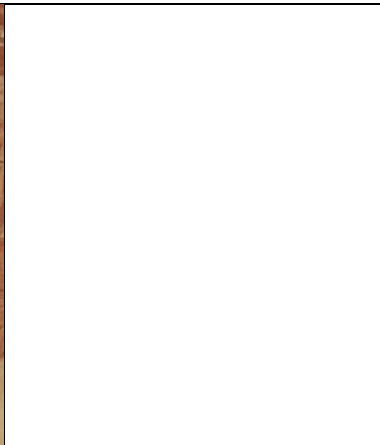
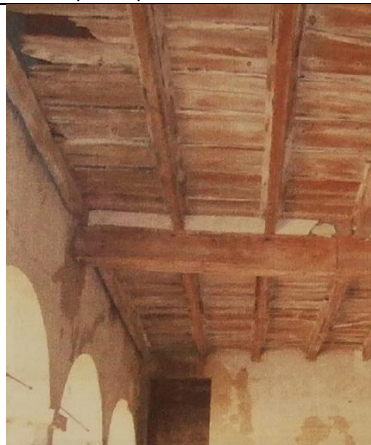


Palazzo del centro storico, L'Aquila

M11 (M) (P) (T)	COLLASSI LOCALI DELL'IMPALCATO O DELLA VOLTA	
	<p>Il meccanismo è indotto da ribaltamento e/o allontanamento dei piedritti/pareti. Per quanto riguarda le volte, la loro stabilità può essere compromessa anche da carichi concentrati dei solai di copertura o da caratteristiche costruttive, quali l'eccessiva snellezza (volte in foglio) o grandi luci. Dimensioni considerevoli dei piedritti, la presenza di incatenamenti di dimensioni e tiro adeguati per le volte e di capi-chiave di collegamento tra travi del solai e muratura, unitamente a tutti i presidi antisismici atti ad evitare il ribaltamento degli elementi verticali di appoggio (meccanismo M1) possono contribuire ad evitare l'attivazione di tale meccanismo. Di contro piedritti eccessivamente snelli, e privi di incatenamenti, non assorbono le spinte laterali e quindi contribuiscono all'attivazione del meccanismo descritto.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Attivazione del meccanismo: Lievi lesioni nel piano dell'impalcato, visibili ad una osservazione accurata e di limitata estensione.</p>		
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Lesioni nel piano dell'impalcato, che rendono leggibile il meccanismo attivato, con dissesti di limitata entità.</p>		
		
<p><i>Rocca dei Gonzaga, Novellara</i></p>	<p><i>Castello Lambertini, Poggio Renatico</i></p>	

LIVELLO DI DANNO 3

Crolli puntuali e limitati, che non inficiano sulla capacità portante del macro-elemento.

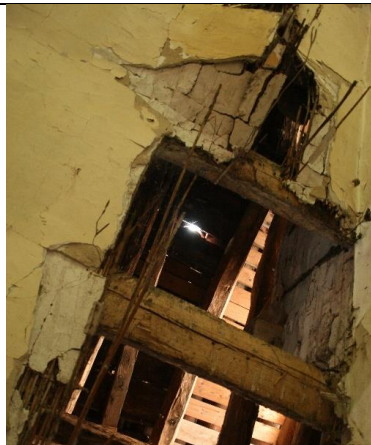


Castello Lambertini, Poggio Renatico

Castello estense, San Martino in Rio

LIVELLO DI DANNO 4

Crolli diffusi, che portano il macro-elemento al limite del collasso.



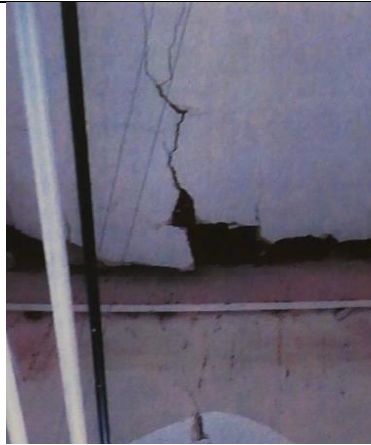
Castello dei Pico, Mirandola

Castello Galeazza, Crevalcore

Castello Lambertini, Poggio Renatico

LIVELLO DI DANNO 5

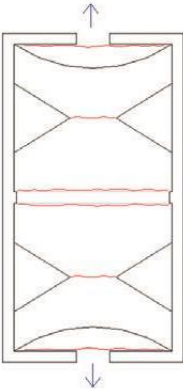





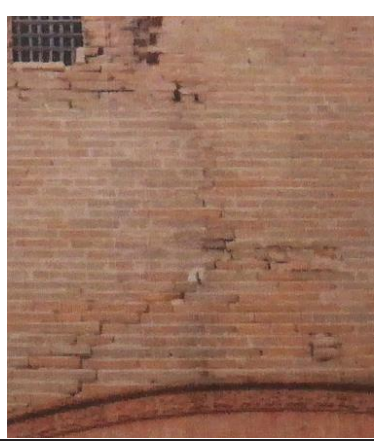
Crollo totale o prevalente del macro-elemento.



Castello dei Pico, Mirandola

Castello Lambertini, Poggio Renatico

Castello Lambertini, Poggio Renatico

<p>M12 (M) (P) (T)</p> 	<p>DANNO AGLI ARCHI E ALLE VOLTE PER ROTAZIONE DELLE IMPOSTE</p> <p>Il meccanismo è causato principalmente allo spostamento fuori piano di una o di entrambe le pareti su cui le volte si impostano. Tale meccanismo provoca deformazioni e abbassamento in chiave degli archi o delle volte e la formazione di cerniere plastiche. Il quadro fessurativo si manifesta con lesioni negli arconi e nella volta, e fuori piombo e/o schiacciamento delle colonne, se presenti. La presenza di catene trasversali, di contrafforti esterni, di corpi annessi adiacenti, contribuisce ad un buon comportamento di questo macro-elemento; di contro gli stessi elementi spingenti (archi, volte), pareti di elevata snellezza e volte realizzate in foglio favoriscono l'attivazione del meccanismo.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Allontanamento, alla fase iniziale, delle pareti portanti. L'attivazione dei meccanismi M4 e M38 possono essere preludio all'attivazione di tale meccanismo o accentuare la vulnerabilità di tale elemento.</p>		
		
<p><i>Castello di San Severino, Macerata</i></p>	<p><i>Porta mura di San Genesio</i></p>	<p><i>Castello dei Bentivoglio, Bentivoglio</i></p>
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Sviluppo di lesioni lievi, che però evidenziano la formazione delle tre cerniere negli arconi, e lungo la fascia di collegamento tra parete verticale e volta. Dissesti di limitata entità.</p>		
		
<p><i>Torrione di San Catero, Tolentino</i></p>	<p><i>Castello delle Rocche, Finale Emilia</i></p>	<p><i>Rocca Isolani, Minerbio</i></p>

LIVELLO DI DANNO 3

Evidenti e ampie lesioni lungo la fascia di collegamento tra la volta e la parete verticale soggetta a ribaltamento. Formazione di ampie lesioni che evidenziano le tre cerniere negli arconi.



Fortezza di Bashtovë, Albania



Rocca estense, San Felice sul Panaro



Castello Lambertini, Poggio Renatico

LIVELLO DI DANNO 4

Scivolamento dei conci, che compongono la volta, alla fase di ultimo spostamento con parti al limite del crollo



Castello Lambertini, Poggio Renatico (Torre)



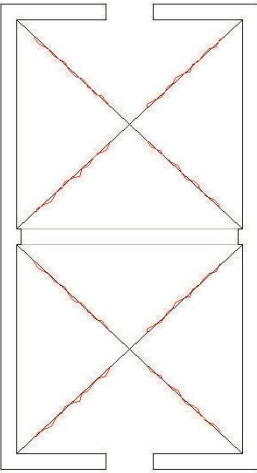



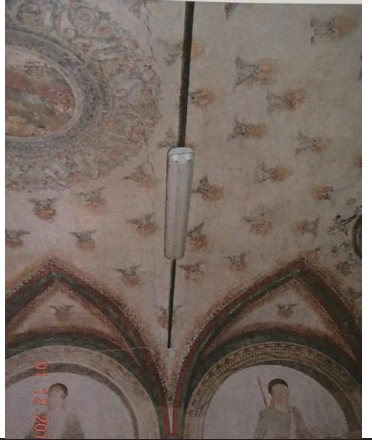


Castello Lambertini, Poggio Renatico

LIVELLO DI DANNO 5

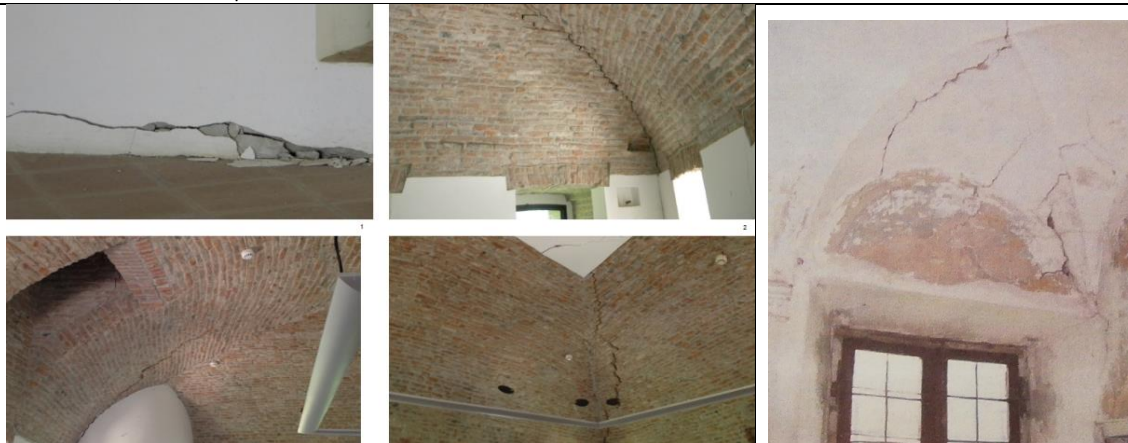
Crollo totale della volta o di buona parte dei conci che la compongono.



Palazzo comunale, Concordia

M13 (M) (P) (T)	DANNO ALLE VOLTE PER DEFORMAZIONI DI PIANO	
	<p>Il meccanismo si innesca con deformazioni per rottura nel piano a taglio. Ne deriva un quadro fessurativo caratterizzato da lesioni nelle volte. La presenza di catene efficaci (per posizione, tiro, tipologia di ancoraggio, diametro) contribuisce ad un buon comportamento di questo macro-elemento; di contro la presenza di volte eccessivamente ribassate e/o snelle (disposizione dei mattoni di piatto, con campate di grande luce), di lunette di notevoli dimensioni, di carichi concentrati facilita l'insorgenza del meccanismo.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Lievi lesioni visibili ad una osservazione accurata, di limitata estensione.</p>		
		
<p><i>Castello estense, San Martino in Rio</i></p>	<p><i>Pinacoteca civica, Cento</i></p>	<p><i>Palazzo Sartoretti, Reggiolo</i></p>
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Lesioni visibili che permettono la leggibilità complessiva del meccanismo attivato, con dissesti di limitata entità, che non pregiudicano la stabilità globale del macro-elemento.</p>		
		
<p><i>Castello dei Bentivoglio, Bentivoglio</i></p>	<p><i>Rocca dei Gonzaga, Novellara</i></p>	<p><i>Castello Galeazza, Crevalcore</i></p>
<p>LIVELLO DI DANNO 3</p>		

Gravi lesioni, con caduta puntuale di calcinacci o di rivestimenti.



Rocca Stellata, Bondeno

Rocca Isolani, Minerbio

LIVELLO DI DANNO 4

Gravi lesioni e cedimenti al limite del crollo del macro-elemento.



Castello delle Rocche, Finale Emilia

Rocca dei Gonzaga, Novellara

Pinacoteca civica, Cento

LIVELLO DI DANNO 5

Crollo totale o prevalente della volta



Rocca estense, San Felice sul Panaro

Castello di Galeazza, Crevalcore

M14	M P T	DANNO ALLE SCALE
		<p>Il meccanismo si attiva con danni al corpo scala o con il distacco del corpo scala dalla parete muraria, a causa di deformazioni nel piano o fuori dal piano della parete. Il quadro fessurativo si manifesta con lesioni lungo il piano di contatto tra parete e corpo scala, determinando un parziale distacco di quest'ultimo, o lesioni da taglio sulla parete. Possono inoltre manifestarsi lesioni lungo il corpo scala, per deformazione dello stesso.</p> <p>Un buon collegamento tra muratura portante e scala in aggetto può contribuire a un buon comportamento di questo elemento; di contro l'elevata snellezza della scala o l'ampia luce da coprire possono concorrere all'attivazione del meccanismo.</p>
LIVELLO DI DANNO 1		
<p>Lievi lesioni in corrispondenza della fascia di collegamento tra corpo scala e parete verticale o lungo il corpo scala stesso. L'attivazione dei meccanismi di modo I (M1, M2) possono essere preludio all'attivazione di tale meccanismo o accentuare la vulnerabilità di tale elemento.</p>		
		
<i>Rocca dei Gonzaga, Novellara (Rivellino)</i>		
LIVELLO DI DANNO 2		
<p>Lesioni ben visibili in corrispondenza della fascia di collegamento tra corpo scala e parete verticale o lungo il corpo scala stesso, con possibili indizi iniziali di schiacciamento agli incastri.</p>		
		
<i>Castello Guidotti, Fabbrico</i>	<i>Castello estense, Ferrara</i>	<i>Castello Lambertini, Poggio Renatico</i>

LIVELLO DI DANNO 3

Ampie lesioni in corrispondenza della fascia di collegamento tra corpo scala e parete verticale o lungo il corpo scala stesso. Crolli di limitata entità.



Rocca stellata, Bondeno

LIVELLO DI DANNO 4

Gravi lesioni e cedimenti al limite del crollo del macro-elemento corpo scala.



Rocca estense, San Felice sul Panaro

Castello Galeazza, Crevalcore

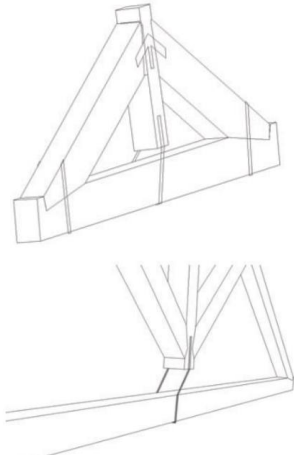
LIVELLO DI DANNO 5

Crollo totale o prevalente del corpo scala.



Castello Galeazza, Crevalcore

Palazzo comunale, Concordia

M15 (M) (P) (T)	DANNO NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA	
	<p>Il meccanismo si verifica in caso di deformazioni delle pareti su cui poggia la copertura o di scorrimenti reciproci tra le orditure della copertura stessa, nel caso in queste non siano adeguatamente collegate. Il quadro fessurativo è composto da lesioni in corrispondenza delle teste delle travi lignee, loro scorrimento, scollamenti tra cordoli e muratura. La presenza di cordoli non eccessivamente rigidi e pesanti (metallici reticolari, muratura armata, C.A. sottili), di collegamento puntuale delle travi alla muratura, di controventi di falda, di connessioni tra gli elementi di orditura della copertura, contribuisce ad un buon comportamento di questo macro-elemento; di contro coperture staticamente spingenti e pesanti, cordoli rigidi contribuiscono a far insorgere il meccanismo.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Lievi lesioni in corrispondenza delle teste delle travi e della fascia di collegamento tra cordoli e muratura. Meccanismi di modo I (M1, M2, M3...) possono essere preludio all'attivazione di tale meccanismo o accentuare la vulnerabilità di tale elemento.</p>		
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Lesioni ben visibili in corrispondenza delle teste delle travi e della fascia di collegamento tra cordoli e muratura</p>		

LIVELLO DI DANNO 3 Gravi dissesti di elementi di copertura, con crolli limitati.		
LIVELLO DI DANNO 4 Crolli diffusi di porzioni degli elementi portanti di copertura, con spostamenti al limite del crollo totale.		
LIVELLO DI DANNO 5 Crollo totale o prevalente degli elementi portanti di copertura.		

M16		DANNO AL MANTO DI COPERTURA
	<p>Il meccanismo si verifica a seguito di deformazioni della struttura del solaio di copertura o a causa del collasso di macerie/corpi aggettanti sulla copertura stessa. Il quadro fessurativo consiste in movimenti significativi del manto di copertura (collassi locali, scivolamento dei coppi). Evitando l'attivazione del meccanismo M15, con presidi antisismici citati, è possibile scongiurare danni ingenti al manto di copertura.</p>	
LIVELLO DI DANNO 1 Scivolamento dei coppi o danni causati dalla caduta di macerie, senza provocare crolli o danni, se non al manto di copertura.		
		
<i>Castello dei Pico, Mirandola</i>	<i>Castello di Palata Pepoli, Crevalcore</i>	<i>Castello Galeazza, Crevalcore</i>
LIVELLO DI DANNO 2 Scivolamento dei coppi e deformazioni del manto di copertura, a causa di dissesti della struttura del solaio di copertura sottostante (leggere sconnessioni nell'orditura secondaria).		
		
<i>Rocca estense, San Felice sul Panaro</i>	<i>Rocca, Cento</i>	<i>Castello estense, San Martino in Rio</i>

LIVELLO DI DANNO 3

Collassi locali, dovuti a spostamenti/scivolamenti delle travi principali dalla loro sede.



Castello Galeazza, Crevalcore

LIVELLO DI DANNO 4

Collassi gravi e diffusi



Castello delle Rocche, Finale Emilia



Castello Galeazza, Crevalcore



Municipio, Sant'Agostino

LIVELLO DI DANNO 5

Crollo totale o prevalente del manto di copertura.



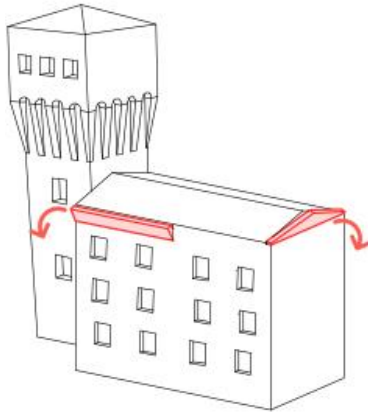

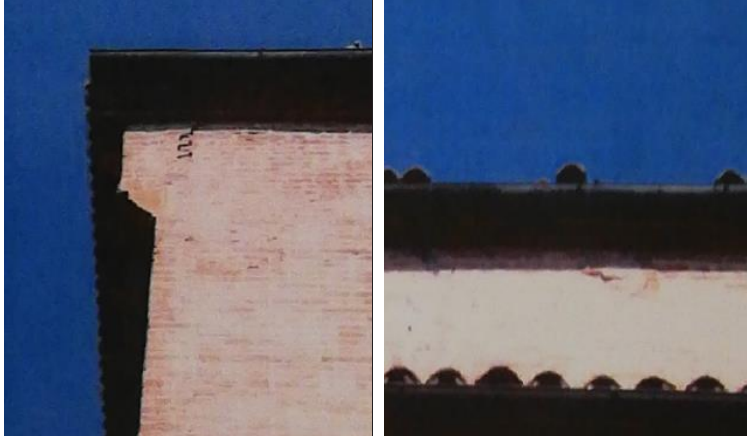
Rocca, Reggiolo



Rocca, Reggiolo



Castello Galeazza, Crevalcore

<p>M17</p>	<p>(P) RIBALTAMENTO FASCE SOTTOTETTO E TIMPANO</p>	
	<p>Il meccanismo si attiva con il ribaltamento fuori dal piano di una porzione di muratura nella fascia alta del fabbricato (cornicioni, zone di gronda) o del timpano, con la formazione di cerniere oblique o orizzontali. Il quadro fessurativo si manifesta con lesioni inclinate o orizzontali, nelle suddette aree. Un'adeguata connessione tra la muratura e gli elementi di copertura (tramite catene, controventi di falda, cordoli leggeri) contribuisce ad evitare l'attivazione di tale meccanismo. Di contro scarse o deboli connessioni tra muri trasversali, la presenza di elementi spingenti di copertura mal collegati alla parete muraria, di cordoli rigidi in C.A. e di aperture o discontinuità murarie possono innescare il meccanismo.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Lievi lesioni inclinate o orizzontali, in prossimità della fascia alta del fabbricato. Tali lesioni, di limitata estensione, sono visibili con un'osservazione accurata e si sviluppano lungo i giunti di malta.</p>		
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Lesioni inclinate o orizzontali, ben visibili, in prossimità della fascia alta del fabbricato, con lieve dislocazione del macroelemento.</p>		
		
<p><i>Rocca Isolani, Minerbio</i></p>	<p><i>Castello Lambertini, Poggio Renatico</i></p>	<p><i>Castello Lambertini, Poggio Renatico</i></p>

LIVELLO DI DANNO 3

Evidenti lesioni inclinate o orizzontali, con evidente dislocazione e fuori piombo del macro-elemento. I crolli sono di limitata entità.



Rocca Isolani, Minerbio

LIVELLO DI DANNO 4

Lesioni inclinate o orizzontali passanti che isolano la porzione muraria interessata con spostamento della stessa al limite del collasso, con crolli parziali.



Castello dei Pico, Mirandola

LIVELLO DI DANNO 5 Espulsione del macro-elemento, con conseguente crollo totale o prevalente dello stesso.



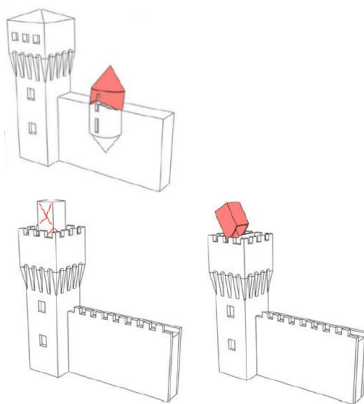


Castello Galeazza, Crevalcore



Castello Galeazza, Crevalcore

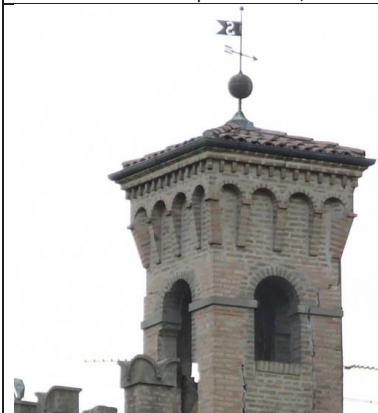


Castello Galeazza, Crevalcore

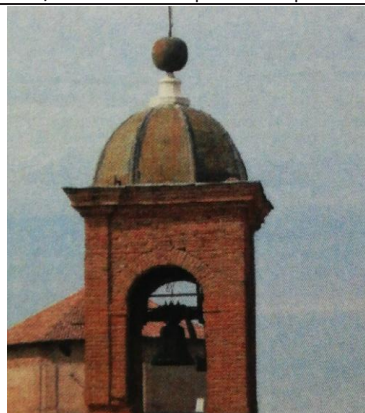
M18	M P T	DANNO AGLI ELEMENTI AGGETTANTI/SVETTANTI
	<p>Il meccanismo si innesca con rotazioni fuori piano, azioni a taglio nel piano e spostamenti degli aggetti o parti di essi. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da lesioni inclinate o orizzontali, da rotazioni permanenti o da scorrimenti. La presenza di perni di collegamento tra gli aggetti (es. garitte) e la muratura o di elementi di ritegno tra le strutture svettanti (es. torrette) e muratura sottostante, di una muratura regolare e di buona qualità contribuisce ad un buon comportamento di questi macroelementi; di contro l'elevata snellezza degli elementi e la loro posizione asimmetrica rispetto alla muratura sottostante contribuiscono all'attivazione del meccanismo.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Attivazione del meccanismo, con lesioni visibili solo ad un'accurata osservazione.</p>		
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Le lesioni si sviluppano lungo i giunti di malta, di spessore tale da rendere facilmente leggibile l'attivazione del meccanismo, con una possibile lieve dislocazione della porzione alta dell'elemento.</p>		
		
<p>Castello Campori, Soliera</p>	<p>Mura di Norcia</p>	

LIVELLO DI DANNO 3

Evidenti lesioni che mostrano l'attivazione del meccanismo e che interessano tutto il macro-elemento, con crolli di limitata entità. Presenza di spostamenti, dislocazioni e/o torsioni delle porzioni superiori dell'elemento aggettante/ sveltante.



Villa La Giovannina, S. G. in Persiceto



Castello dei Pio, Carpi



Castello delle Rocche, Finale Emilia

LIVELLO DI DANNO 4

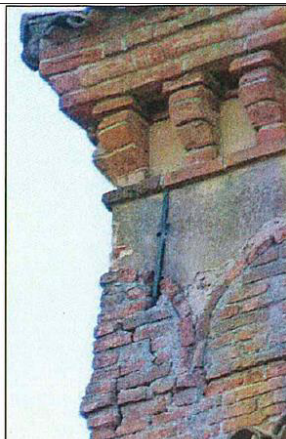
Il meccanismo è prossimo alla fase di ultimo spostamento con il macro-elemento al limite del crollo, con possibili crolli parziali.



Castello Galeazza, Crevalcore



Rocca, Cento



LIVELLO DI DANNO 5

Crollo totale dell'elemento aggettante/sveltante.

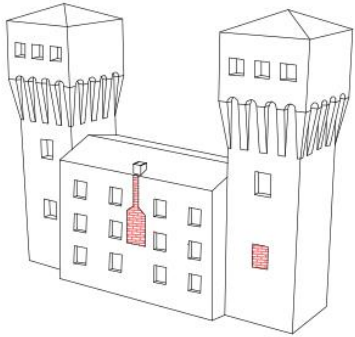


Castello di Palata Pepoli, Crevalcore



Castello Galeazza, Crevalcore



<p>M19 (M) (P) (T)</p> 	<p>COLLASSI LOCALI PER IRREGOLARITÀ COSTRUTTIVE E DEL MATERIALE</p> <p>Il meccanismo si manifesta con il distacco, anche parziale, e l'eventuale successiva espulsione della porzione di muratura non adeguatamente ammortata. Il quadro fessurativo è rappresentato dall'insorgenza di lesioni in corrispondenza dei punti di cesura della muratura, causati dalla presenza di impianti, canne fumarie, scassi e tamponamenti nelle murature e fasi costruttive differenti. Dove possibile, sarebbe indicato provvedere al ripristino della continuità muraria, connettendo la nuova muratura alla preesistente con un efficace intervento di scuci-cuci.</p>
--	---

LIVELLO DI DANNO 1

Lievi lesioni che evidenziano irregolarità costruttive e punti di cesura già presenti della muratura.



Rocca, Pieve di Cento

Castello, San Martino in Rio

Castello dei Pio, Carpi

LIVELLO DI DANNO 2

Lesioni che evidenziano irregolarità costruttive e punti di cesura già presenti della muratura, con dislocazione della stessa.



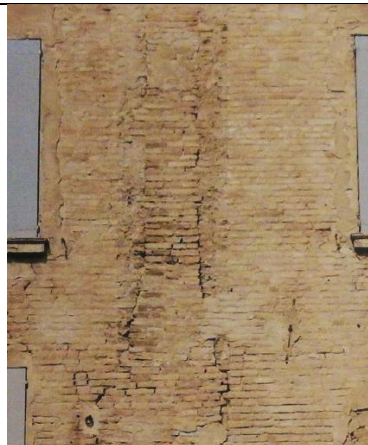
Rocca, Reggiolo

Rocca, Cento

Rocca dei Gonzaga, Novellara

LIVELLO DI DANNO 3

Lesioni evidenti che isolano la porzione di muratura non ben ammassata. Crolli di limitata entità.



Rocca dei Gonzaga, Novellara

Castello dei Bentivoglio, Bentivoglio

Castello, San Martino in Rio

LIVELLO DI DANNO 4

Lesioni evidenti che isolano la porzione di muratura non ben ammassata, con porzioni al limite del crollo.



Castello Lambertini, Poggio Renatico

Palazzo Sartoretti, Reggiolo

Palazzo comunale, Concordia

LIVELLO DI DANNO 5

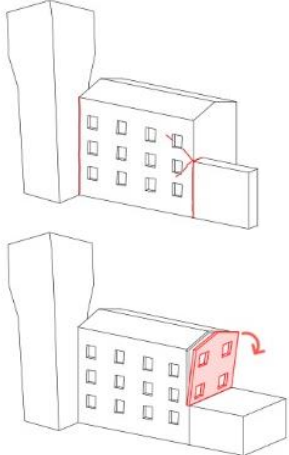
Crollo totale o prevalente della porzione di muratura non ammassata.



Castello delle Rocche, Finale Emilia

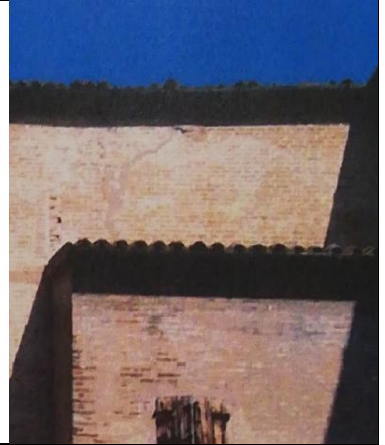
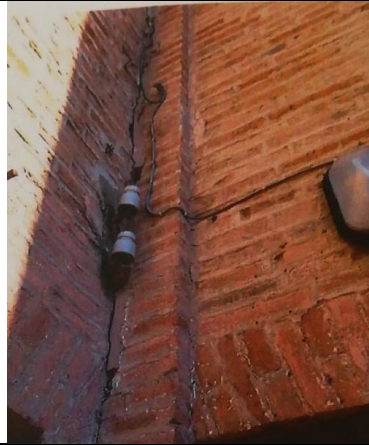
Rocca, Pieve di Cento

Rocca estense, San Felice sul Panaro

<p>M20</p>	<p>(P) DANNO PER IRREGOLARITÀ DI FORMA</p>
	<p>Il meccanismo si attiva a causa di fenomeni di martellamento indotti sul palazzo da parte dei corpi annessi (es. torri, mura di cinta, casematte), dovuti a una diversa risposta sismica dei due fabbricati. Il quadro fessurativo è rappresentato dall'insorgenza di lesioni che si irradiano con andamento sub-orizzontale, aventi come fulcro il punto di stacco tra palazzo e corpo annesso; lesioni da ribaltamento della porzione di parete svettante adiacente al corpo annesso; lesioni verticali lungo il piano di congiunzione con il corpo annesso. Un adeguato ammorsamento tra le murature dei due corpi di fabbrica, efficaci collegamenti (catene), disposizione di solai orizzontali alla stessa quota possono migliorare il comportamento sismico di questi macro-elementi. Di contro l'irregolarità in pianta e in elevato determina una diversa risposta dinamica, che contribuisce all'attivazione del meccanismo.</p>
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Lievi lesioni di limitata estensione, nella fascia di contatto tra i due corpi di fabbrica, collocate lungo i giunti di malta. Tali lesioni sono visibili solo con un'osservazione accurata.</p>	
	
<p><i>Mura di Durazzo, Albania</i></p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Lesioni, localizzate nella fascia di contatto tra i due corpi di fabbrica, che rendono facilmente leggibile l'attivazione di tale meccanismo.</p>	
	
<p><i>Rocca estense, San Felice sul Panaro</i></p>	<p><i>Castello dei Bentivoglio, Bentivoglio</i></p>
<p><i>Castello estense, San Martino in Rio</i></p>	

LIVELLO DI DANNO 3

Lesioni localizzate nella fascia di contatto tra i due corpi di fabbrica, che causano la crolli di limitata entità.



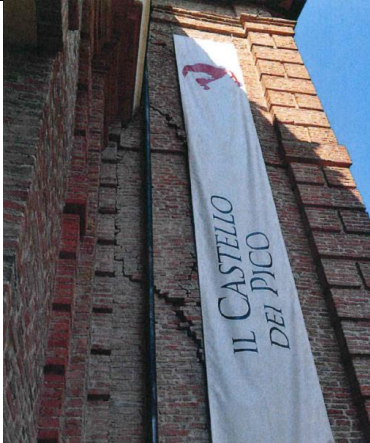
Castello estense, Ferrara

Castello Lambertini, Poggio Renatico

Castello Lambertini, Poggio Renatico

LIVELLO DI DANNO 4

Lesioni passate tali da indurre deformazioni con parti al limite del crollo.



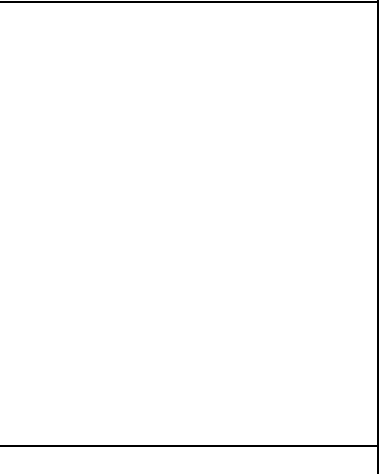
Castello dei Pico, Mirandola

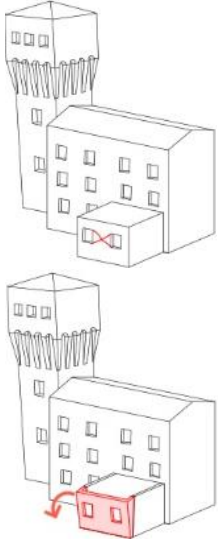
Castello Galeazza, Crevalcore

Rocca estense, San Felice sul Panaro

LIVELLO DI DANNO 5

Crollo totale o prevalente del macro-elemento.



<p>M21</p>	<p>(M) (P) (T)</p>	<p>DANNO NEI CORPI ANNESSI (ES. CASAMATTA)</p>
		<p>Il meccanismo si attiva con deformazioni nel piano, per rottura a taglio, o con la rotazione fuori dal piano delle pareti di facciata dei corpi annessi. Tali corpi di fabbrica, comuni nei complessi fortificati, si contraddistinguono per l'assenza di una scatola muraria autonoma, sono sovente invece caratterizzati dal solo tre pareti murarie in appoggio a una preesistenza (palazzo, mura di cinta, torre). Il quadro fessurativo che ne deriva si manifesta, per il meccanismo a taglio nel piano, con lesioni ad andamento inclinato a 45 gradi, sia singole che incrociate, generalmente disposte lungo i giunti di malta della muratura; per il meccanismo a ribaltamento, con la rottura della muratura delle pareti laterali e con lesioni pressoché verticali, con la formazione di una cerniera cilindrica ad asse orizzontale. Ad evitare l'attivazione di meccanismi nel piano può contribuire la presenza di catene trasversali e di un contrasto laterale fornito da corpi addossati. Ad evitare l'attivazione di meccanismi fuori dal piano può contribuire la presenza di elementi di contrasto (contrafforti, corpi addossati, altri edifici), di catene longitudinali e di ammorsamenti di buona qualità tra la facciata interessata dal meccanismo di ribaltamento e le pareti laterali.</p>
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Lievi lesioni verticali in corrispondenza dei muri perpendicolari alla facciata e/o inclinate e singole nel piano della facciata interessata dal meccanismo. Le lesioni sono disposte lungo i giunti di malta, di limitata estensione e visibili solo ad un'osservazione accurata. Tali lesioni segnalano l'attivazione del meccanismo.</p>		
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Lesioni verticali in corrispondenza dei muri perpendicolari alla facciata. Lesioni inclinate (singole o incrociate) nel piano della facciata interessata dal meccanismo, di spessore tale da rendere facilmente leggibile l'attivazione del meccanismo.</p>		

LIVELLO DI DANNO 3
Evidente fuori piombo del prospetto, con limitati crolli. Lesioni evidenti inclinate (singole o incrociate) con crolli limitati in corrispondenza delle lesioni.



Mura di Durazzo, Albania

LIVELLO DI DANNO 4
Se modo I: Il ribaltamento del prospetto è prossimo alla fase di ultimo spostamento al limite del crollo, con possibili crolli diffusi. Se modo II: lesioni passanti incrociate, elemento al limite del crollo o crollo di parti limitate e riduzione della sezione portante



Rocca, Pieve di Cento



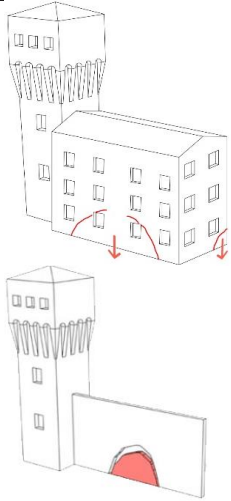




Castello dei Ronchi, Crevalcore




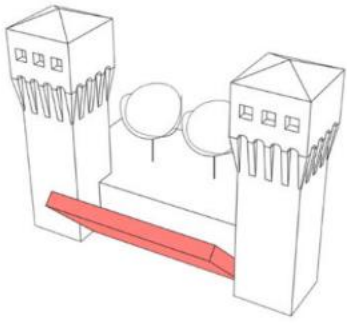




Rocca estense, San Felice sul Panaro

LIVELLO DI DANNO 5
Collasso totale o prevalente del macro-elemento.

--	--	--

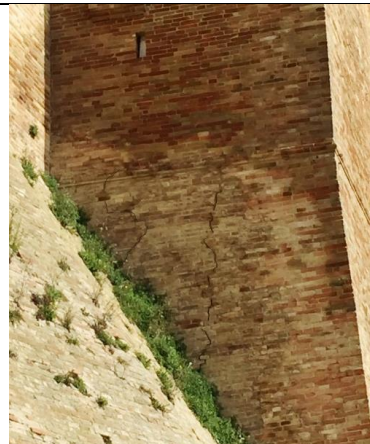
<p>M22</p>	<p>(M) (P) (T)</p>	<p>CEDIMENTO FONDAZIONI</p>
	<p>Il meccanismo si attiva a seguito di cedimenti locali del terreno di fondazione, dovuti a instabilità del terreno o a fenomeni di liquefazione. Tale instabilità localizzata potrebbe inoltre essere dovuta anche a sistemi di smaltimento delle acque meteoriche, che scaricano nel terreno in punti particolarmente delicati. Il quadro fessurativo si manifesta con lesioni inclinate, nella fascia bassa centrale della parete, che evidenziano l'arco di scarico naturale della muratura, oppure con lesioni inclinate nello spigolo dell'edificio, individuando la porzione interessata dal cedimento locale.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Lieve lesione ad arco lungo i giunti di malta nella fascia bassa della parete verticale, visibile ad una osservazione accurata. Fenomeni di liquefazione, cedimenti del terreno in prossimità del fabbricato possono essere preludio all'attivazione di tale meccanismo o accentuare la vulnerabilità di tale elemento.</p>		
		
<p><i>Castello dei Bentivoglio, Bentivoglio</i></p>		
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Lesione ad arco ben visibile.</p>		
		
<p><i>Rocca, Pieve di Cento</i></p>	<p><i>Villa La Giovannina, S.G. in Persiceto</i></p>	<p><i>Castello di San Severino, Macerata</i></p>

<p>LIVELLO DI DANNO 3 Grave lesione passante, che isola la porzione interessata dal cedimento locale. Crolli di limitata entità.</p>		
		
<p><i>Castello dei Bentivoglio, Bentivoglio</i></p>		
<p>LIVELLO DI DANNO 4 La sezione muratura interessata dal meccanismo è prossima alla fase di ultimo spostamento, con porzioni al limite del crollo.</p>		
<p>LIVELLO DI DANNO 5 Collasso totale o prevalente della porzione di parete interessata dal meccanismo.</p>		

<p>M23 (M)</p> 	<p>CEDIMENTI DEL TERRAPIENO</p> <p>Il meccanismo si attiva con il ribaltamento fuori piano o lo spanciamento della cortina muraria, dovuto alla spinta del terreno. Il quadro fessurativo si manifesta con lesioni verticali in corrispondenza della congiunzione con i corpi laterali (es. torri) o nelle murature delle pareti laterali, in caso di buona apparecchiatura dei cantonali.</p>
<p>LIVELLO DI DANNO 1</p> <p>Prime lievi lesioni verticali ai margini della cortina muraria o in corrispondenza dei muri ad essa perpendicolari. Le lesioni sono disposte lungo i giunti di malta, di limitata estensione e visibili solo ad un'osservazione accurata. Tali lesioni segnalano l'attivazione del meccanismo.</p>	
	
<p><i>Castelli di Scopoli, Foligno</i></p>	<p><i>Rocca, Cento</i></p>
<p>LIVELLO DI DANNO 2</p> <p>Lesioni verticali ai margini della cortina muraria o in corrispondenza dei muri ad essa perpendicolari, di spessore tale da rendere facilmente leggibile l'attivazione del meccanismo.</p>	
	
<p><i>Castello di Brumforte, Loro Piceno</i></p>	<p><i>Castello di Kruja, Albania</i></p>

LIVELLO DI DANNO 3

Evidente fuori piombo della cortina, con limitati crolli. Lesioni evidenti.



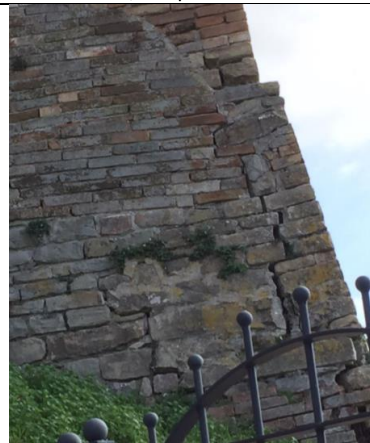
Castello dei Bentivoglio, Bentivoglio

Castello di Bianello, Quattrocastella

Castello di Brumforte, Loro Piceno

LIVELLO DI DANNO 4

Il ribaltamento della cortina muraria è prossimo alla fase di ultimo spostamento al limite del crollo, con possibili crolli diffusi.



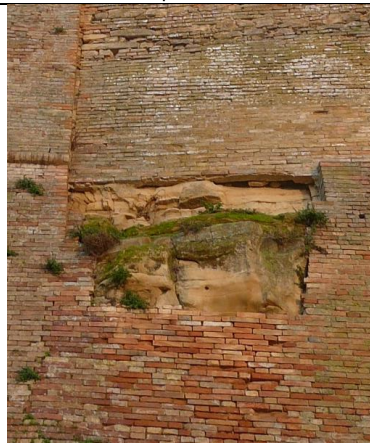
Rocca di Urbisaglia, Macerata

Castello di Brumforte, Loro Piceno

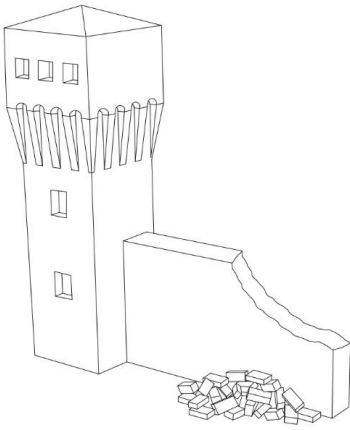


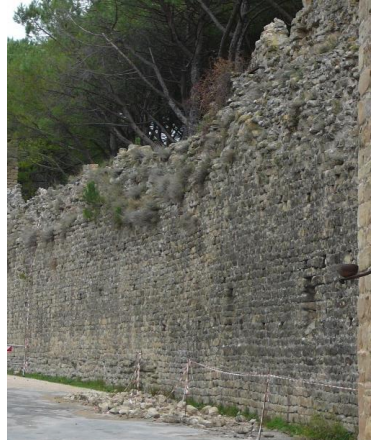
Castello di Brumforte (dettaglio)

LIVELLO DI DANNO 5

Collasso totale o prevalente del macro-elemento.

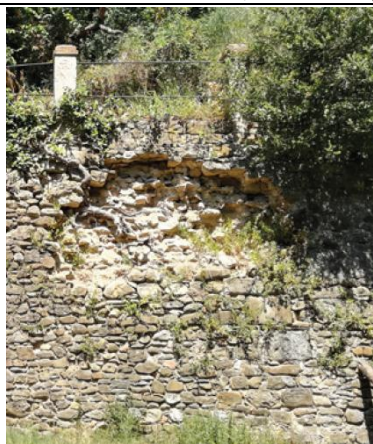


Castello di Brumforte, Loro Piceno

<p>M24</p>	<p>(M) (P) (T)</p>	<p>DISGREGAZIONE</p>
		<p>Il meccanismo si verifica in caso di murature dal comportamento non monolitico, con scarsa qualità delle malte e tessitura muraria inadeguata, prive di quei “requisiti minimi”, che permetterebbero l’attivazione dei meccanismi di collasso per azioni fuori dal piano o nel piano. Il danno che ne deriva è rappresentato da cumuli di macerie incoerenti, costituiti da conci (laterizi, sassi, ciottoli), la cui superficie è priva di residui di malta, da ridotte porzioni di muratura coese e da malta povera di calce. L’inserimento di diatoni artificiali e di iniezioni di malta, nel caso di murature a sacco con vuoti diffusi e comunicanti, possono migliorare il comportamento monolitico della muratura. Preme sottolineare la pericolosità di tale meccanismo e la difficoltà di riconoscerne l’attivazione nelle fasi iniziali. Occorre quindi valutare attentamente le caratteristiche materiche costruttive della muratura (tecnica costruttiva e conci con forme irregolari).</p>
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Spostamenti dei singoli conci, deformazioni delle murature tali da indicare la presenza di scarsa qualità delle malte e tessitura muraria inadeguata e quindi l’attivazione del meccanismo.</p>		
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Schiacciamento localizzato della muratura con disgregazione della malta e/o dei conci, con espulsione di materiale o con dissesti di entità limitata.</p>		
		
<p>Rocca, Pieve di Cento</p>	<p>Rocca, Pieve di Cento</p>	<p>Mura di San Genesio</p>

LIVELLO DI DANNO 3

Sbriciolamento localizzato, che non compromette in modo grave la stabilità della muratura.



Castello di Bianello, Quattrocastella



Mura di Norcia



Castello di Biselli, Norcia

LIVELLO DI DANNO 4

Sbriciolamento e quindi crollo di porzioni del macro-elemento, con spostamenti al limite del crollo.



Rocca, Reggiolo



Castello Normanno, Ariano Irpino (AV)



Rocca, Reggiolo

LIVELLO DI DANNO 5

Sbriciolamento e quindi crollo totale o prevalente del macro-elemento interessato dal meccanismo.



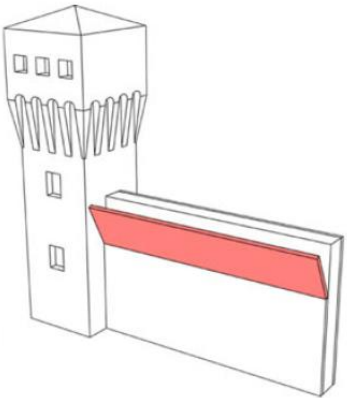
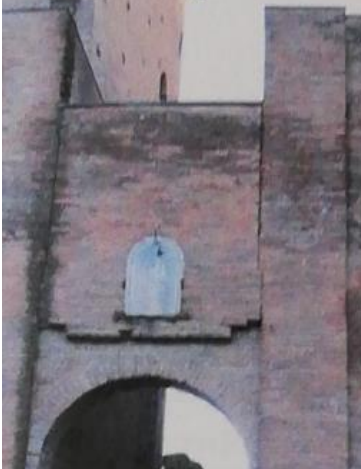
Castello delle Rocche, Finale Emilia



Mura di Norcia

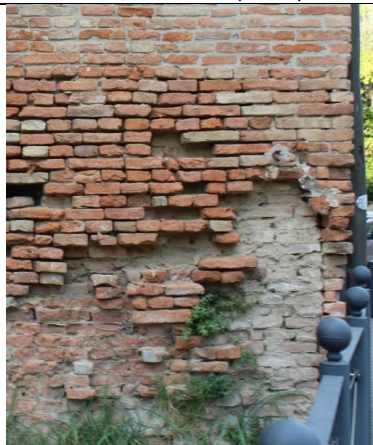


Castello di Carpignano, San Severino

<p>M25 (M) (P) (T)</p>	<p>DELAMINAZIONE</p>	
 <p>The diagram illustrates a masonry wall with a decorative top section. A red layer is shown peeling away from the main wall structure, representing delamination. The wall has several rectangular openings and a decorative top section with a series of pointed elements.</p>	<p>Il meccanismo si verifica in caso di murature dal comportamento non monolitico, aventi una tessitura muraria inadeguata, priva o povera di diatoni e composta da più paramenti scollegati tra loro. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato dallo scollamento o dalla perdita di uno o più paramenti murari e quindi alla riduzione della sezione di muratura resistente. L’inserimento di diatoni artificiali e di iniezioni di malta, nel caso di murature a sacco con vuoti diffusi e comunicanti, può migliorare il comportamento monolitico della muratura.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Lievi lesioni o rigonfiamenti del rivestimento che segnalano la presenza di paramenti murari non coesi tra loro.</p>		
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Lesioni o rigonfiamenti del rivestimento che segnalano la presenza di paramenti murari non coesi tra loro. Con perdita di pochi conci o dissesti di entità limitata.</p>		
 <p>The photograph shows a section of a stone wall with a small, arched window. The wall surface appears weathered and shows signs of delamination, with some areas of the surface layer missing or peeling away.</p>		
<p><i>Rocca, Pieve di Cento</i></p>		

LIVELLO DI DANNO 3

Crolli locali e/o limitati al primo paramento esterno, che non compromettono in modo grave la stabilità della muratura.



Rocca, Cento



Rocca dei Gonzaga, Novellara



Rocca, Reggiolo

LIVELLO DI DANNO 4

Danni gravi e crolli, con espulsione di materiale, che compromettono la capacità portante della parete verticale.



Rocca estense, San Felice sul Panaro



Castello dei Pico, Mirandola



Castello dei Pio, Carpi

LIVELLO DI DANNO 5

Crolli totali o prevalenti dei paramenti murari.



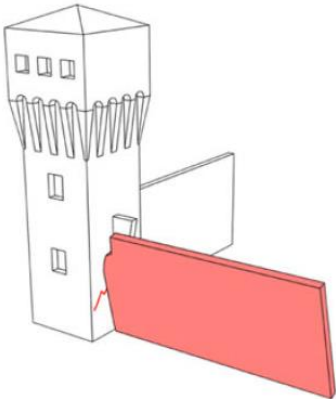


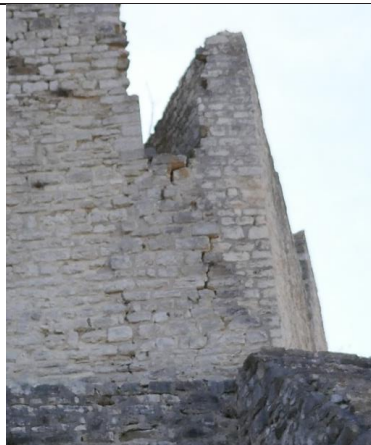

Rocca estense, San Felice sul Panaro



Castello Galeazza, Crevalcore



Castello Lambertini, Poggio Renatico

<p>M26 M</p> 	<p>RIBALTAMENTO DEL MURO DI CINTA</p> <p>Il meccanismo si innesca con la rotazione fuori piano del muro di cinta, o parte di esso, a causa di un collegamento non adeguato o assente con gli altri corpi di fabbrica. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da lesioni pressoché verticali o in corrispondenza della fascia di congiunzione con i corpi laterali (es. torri) o nelle murature delle pareti laterali, in caso di buona apparecchiatura dei cantonali. Catene longitudinali, elementi di contrasto efficaci (contrafforti, corpi addossati, altri edifici), un ammassamento di buona qualità tra il muro di cinta interessato da ribaltamento e i muri di cinta trasversali contribuiscono ad un buon comportamento di questo macro-elemento. Di contro elementi spingenti (puntoni di copertura, volte, archi), grandi aperture nelle pareti laterali in prossimità del cantonale concorrono all'insorgenza del meccanismo.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Prime lievi lesioni verticali in corrispondenza della fascia di interazione con la torre. Le lesioni sono disposte lungo i giunti di malta e visibili solo ad un'osservazione accurata. Tali lesioni segnalano l'attivazione del meccanismo.</p>		
		
<p><i>Rocca stellata, Bondeno</i></p>		
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Lesioni verticali in corrispondenza della fascia di interazione con la torre, che permettono una chiara leggibilità dell'attivazione del meccanismo.</p>		
		
<p><i>Rocca dei Gonzaga, Novellara</i></p>	<p><i>Rocca di Gagliole, Macerata</i></p>	<p><i>Fortezza di Bashtovë, Albania</i></p>

LIVELLO DI DANNO 3

Evidente fuori piombo della cortina muraria, con limitati crolli. Lesioni evidenti.



Rocca estense, San Felice sul Panaro



Castello di Carpignano, San Severino



Castello dei Ronchi, Crevalcore

LIVELLO DI DANNO 4

Il ribaltamento della cortina muraria è prossimo alla fase di ultimo spostamento al limite del crollo, con possibili crolli diffusi.



Rocca, Reggiolo



Rocca estense, San Felice sul Panaro



Mura di Durazzo, Albania

LIVELLO DI DANNO 5

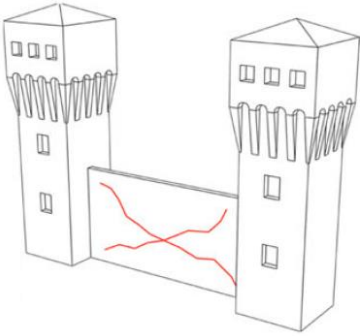



Collasso totale o prevalente del macro-elemento.



Mura di Norcia



Mura di Norcia (dettaglio)

<p>M27 M</p> 	<p>MECCANISMI DI TAGLIO NEL MURO DI CINTA</p> <p>Il meccanismo si attiva con deformazioni nel piano per rottura a taglio della muratura. Il quadro fessurativo è caratterizzato da lesioni diagonali nella muratura, sia singole che incrociate a "X". Catene longitudinali e strutture di contrasto laterali, quali corpi addossati o torri, contribuiscono ad un buon comportamento di questo macro-elemento. Di contro la presenza di grandi aperture (anche tamponate), di discontinuità murarie e l'elevata snellezza favoriscono l'attivazione del meccanismo.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Lievi lesioni inclinate e singole, visibili solo ad un'osservazione accurata e di limitata estensione. Si sviluppano lungo i giunti di malta, assumendo il tipico aspetto a "scaletta".</p>		
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Lesioni inclinate, singole o incrociate, che si sviluppano lungo i giunti di malta, di spessore tale da rendere facilmente leggibile l'attivazione del meccanismo.</p>		
		
<p><i>Rocca, Cento</i></p>	<p><i>Mura di Norcia</i></p>	<p><i>Rocca di Gagliole, Macerata</i></p>

LIVELLO DI DANNO 3

Lesioni inclinate, singole o incrociate, lungo i giunti di malta o che spezzano gli elementi in laterizio, con crolli limitati in corrispondenza delle lesioni.



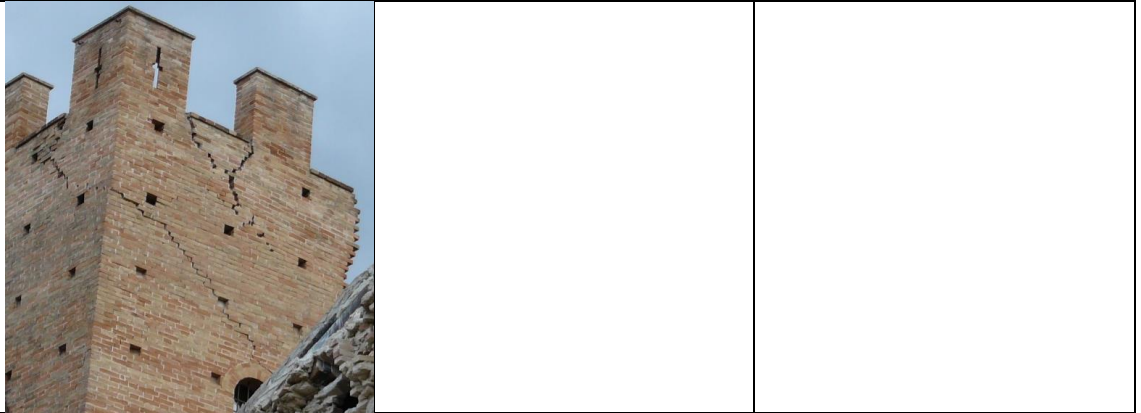
Rocca dei Gonzaga, Novellara

Rocca, Pieve di Cento

Castello di San Severino, Macerata

LIVELLO DI DANNO 4

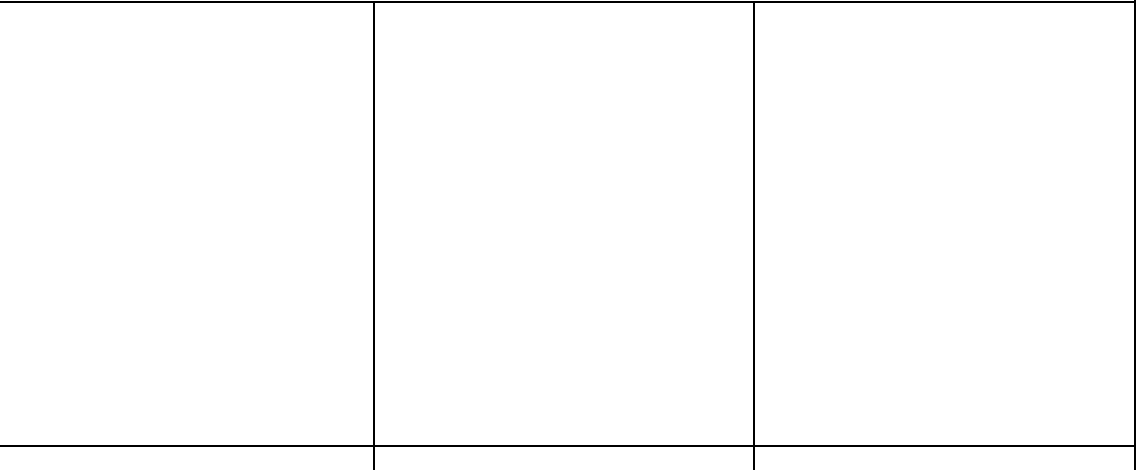
Evidenza macroscopica del meccanismo di dissesto: lesioni passanti incrociate, elemento al limite del crollo o crollo di parti limitate e riduzione della sezione portante.

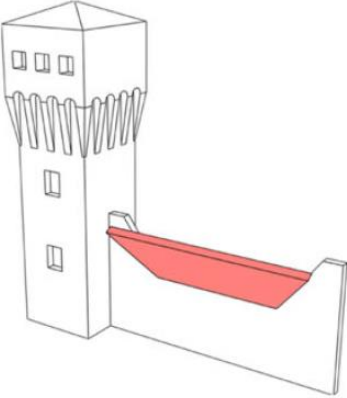


Castello di Pallotta, Caldarola

LIVELLO DI DANNO 5

Crollo totale dell'elemento o crollo prevalente con espulsione delle porzioni di muratura isolate dalle lesioni passanti.



<p>M28</p>	<p>(M) ROTTURA A FLESSIONE ORIZZONTALE DEL MURO DI CINTA</p>
 <p>The diagram shows a cross-section of a masonry wall. The top part of the wall has a decorative crenellated edge. Below this, there are several rectangular openings. A prominent red curved crack is shown on the right side of the wall, indicating a failure due to horizontal flexure. The crack starts from the top edge and curves downwards and outwards.</p>	<p>Il meccanismo si innesca con lo spostamento fuori dal piano, per flessione, della porzione sommitale del muro di cinta, spesso in corrispondenza di importanti variazioni di sezione, e quindi di rigidità, tipiche in presenza di camminamenti di ronda. Il quadro fessurativo è caratterizzato da una lesione ad arco. Collegamenti adeguati con l'eventuale copertura (travicate), controventi, cordoli leggeri contribuiscono ad una buona risposta di questo macro-elemento; di contro l'assenza di collegamenti efficaci con la copertura, la presenza di cordoli rigidi e pesanti, di una trave di colmo in c.a., di una pesante copertura in C.A. contribuiscono all'attivazione del meccanismo.</p>
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Lievi lesioni inclinate nelle fasce alte del muro di cinta o in corrispondenza dell'attacco del solaio di copertura. Le lesioni sono disposte lungo i giunti di malta e visibili solo ad un'osservazione accurata. Tali lesioni segnalano l'attivazione del meccanismo.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Le lesioni, inclinate o ad arco, sono di spessore tale da rendere facilmente leggibile l'attivazione del meccanismo.</p>	

LIVELLO DI DANNO 3

Evidente rotazione fuori dal piano della porzione di cortina muraria interessata, con lesioni diffuse in corrispondenza dell'attacco del solaio di copertura e il paramento verticale, con limitati crolli.

--	--	--

LIVELLO DI DANNO 4

La rotazione fuori dal piano della porzione di cortina muraria è prossima alla fase di ultimo spostamento al limite del crollo, con possibili crolli diffusi.



Mura di Norcia



Mura di Tolentino

LIVELLO DI DANNO 5

Collasso totale o prevalente, con l'espulsione della fascia del muro di cinta interessata dal meccanismo.



Castello Pallotta, Calderola



Mura di Norcia

<p>M29</p>	<p>(T) MECCANISMO A FLESSIONE DELLA TORRE</p>	
	<p>Il meccanismo si attiva per azioni combinate di compressione e flessione alla base della torre, che si verificano in torri isolate o non ben collegate alla cinta muraria della fortezza. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da lesioni sub-orizzontali alla base della torre e lesioni verticali in corrispondenza della fascia di congiunzione tra il corpo della torre e muro di cinta (o altro fabbricato). La presenza di una muratura regolare e di buona qualità, di catene ai diversi ordini, di adeguata distanza dalle pareti degli altri fabbricati (se adiacente), di un buon collegamento con gli altri fabbricati (se inglobata), contribuisce ad un buon comportamento di questo macro-elemento; di contro la presenza di un vincolo asimmetrico sulle murature alla base (torre inglobata), di muratura fino a terra solo su alcuni lati (torre portaia o rivellino), di torre su pilastri murari e le irregolarità tipiche delle architetture fortificate, sia in piano che in elevazione, favoriscono l'attivazione del meccanismo.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Lievi lesioni sub-orizzontali alla base della torre e verticali nella fascia di collegamento tra torre e altri fabbricati. Tali lesioni sono di limitata estensione e visibili ad una osservazione accurata.</p>		
		
<p><i>Castello Campori, Soliera</i></p>	<p><i>Rocca, Reggiolo</i></p>	<p><i>Rocca estense, Cento</i></p>
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Lesioni sub-orizzontali alla base della torre e verticali nella fascia di collegamento tra torre e altri fabbricati, con dissesti o spostamenti della torre di limitata entità.</p>		
		
<p><i>Castello dei Pio, Carpi</i></p>	<p><i>Rocca dei Gonzaga, Novellara</i></p>	

LIVELLO DI DANNO 3

Gravi lesioni sub-orizzontali/inclinate alla base della torre e verticali nella fascia di collegamento tra torre e altri fabbricati, con crolli limitati o localizzati e fuori piombo del corpo della torre.



Rocca, Reggiolo



Castello di Pallotta, Calderola



Castello di Rocchetta, Macerata

LIVELLO DI DANNO 4

Gravi lesioni sub-orizzontali alla base della torre e verticali nella fascia di collegamento tra torre e altri fabbricati, con crolli diffusi, fuori piombo evidenti e macro-elementi o porzioni di esso al limite del crollo.



Rocca estense, San Felice sul Panaro



Rocca Isolani, Minerbio

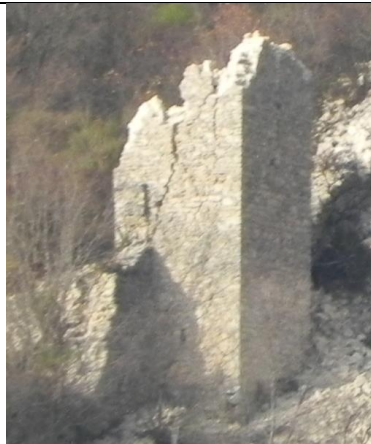


Torre, Serravalle del Chienti

LIVELLO DI DANNO 5 Crollo totale o prevalente della torre.



Castello Lambertini, Poggio Renatico



Castello di Campi, Norcia



Torre di Villa Pezzini, Rivara

<p>M30</p>	<p>(T) MECCANISMI A TAGLIO E TORSIONALI NELLA TORRE</p>	
	<p>Il meccanismo si attiva con deformazioni nel piano per rottura a taglio della muratura. Inoltre la presenza di vincoli eccentrici possono determinare una risposta torsionale della torre, nella porzione in cui la sua muratura risulta ben ammassata al muro di cinta o alle pareti del resto della fabbrica. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da: lesioni inclinate, singole o incrociate a X; lesioni che si irradiano con andamento sub-orizzontale, aventi come fulcro il punto di stacco tra torre e muro di cinta; lesioni verticali nella mezzeria delle pareti, che collegano le aperture tra loro. Un collegamento efficace tra le due strutture, la messa in opera di cerchiature o tiranti contribuiscono ad evitare l'insorgenza di tale meccanismo; di contro la connaturata irregolarità delle fortezze, sia in pianta che in alzato, la diversa altezza e snellezza delle mura rispetto alle torri determinano una diversa risposta dinamica, che contribuisce all'attivazione del meccanismo.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Lievi lesioni inclinate e singole, visibili solo ad un'osservazione accurata e di limitata estensione. Si sviluppano lungo i giunti di malta, assumendo il tipico aspetto a "scaletta". Lievi lesioni che si irradiano con andamento sub-orizzontale, aventi come fulcro il punto di stacco tra torre e muro di cinta.</p>		
		
<p><i>Castello Campori, Soliera</i></p>	<p><i>Rocca, Pieve di Cento</i></p>	<p><i>Rocca Isolani, Minerbio</i></p>
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Lesioni inclinate, singole o incrociate, o con andamento sub-orizzontale, aventi come fulcro il punto di stacco tra torre e muro di cinta. Si sviluppano lungo i giunti di malta, di spessore tale da rendere facilmente leggibile l'attivazione del meccanismo.</p>		
		
<p><i>Castello Galeazza, Crevalcore</i></p>	<p><i>Rocca dei Gonzaga, Novellara</i></p>	<p><i>Villa la Giovannina, S.G. in Persiceto</i></p>

LIVELLO DI DANNO 3

Gravi lesioni inclinate, singole o incrociate, che collegano le aperture tra di loro; o con andamento sub-orizzontale, aventi come fulcro il punto di stacco tra torre e muro di cinta.



Rocca, Reggiolo



Castello estense, San Martino in Rio



Castella delle Rocche, Finale Emilia

LIVELLO DI DANNO 4 Evidenza macroscopica del meccanismo di dissesto: lesioni passanti incrociate o con andamento sub-orizzontale, aventi come fulcro il punto di stacco tra torre e muro di cinta. Macro-elemento al limite del crollo o crollo di parti limitate e riduzione della sezione portante.



Palazzo delle Torri, San Prospero



Castello di Biselli, Norcia



Rocca estense, San Felice sul Panaro

LIVELLO DI DANNO 5 Crollo totale dell'elemento o crollo prevalente con espulsione di porzioni di muratura in corrispondenza dalle lesioni passanti.



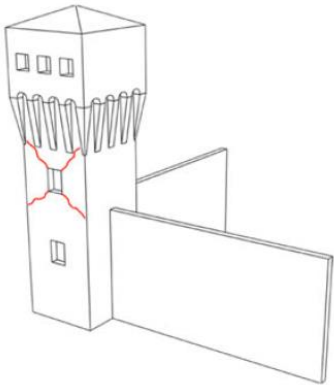


Torre dei Modenesi, Finale Emilia



Mura di Norcia

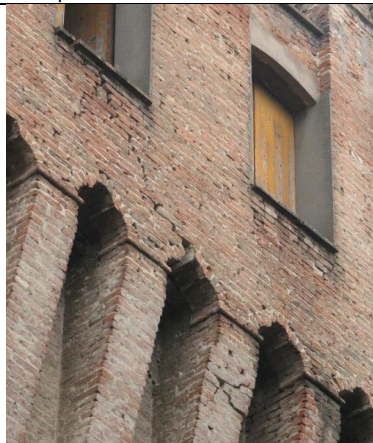


Castello di Ussita, Macerata

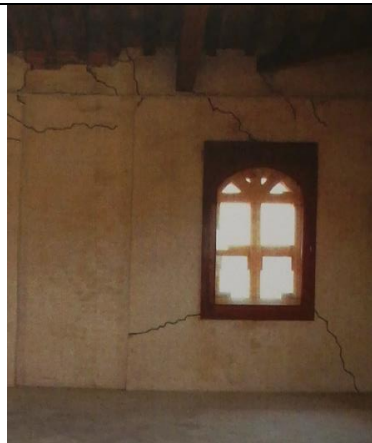
<p>M31</p>	<p style="text-align: center;">(T)</p> <p>MECCANISMO DI TAGLIO NELLA PARTE SVETTANTE DELLA TORRE</p>
	<p>Il meccanismo si attiva con deformazioni nel piano per rottura a taglio della muratura. Il quadro fessurativo si manifesta con lesioni inclinate, sia singole che incrociate a X, nella porzione svettante della torre, al di sopra del muro di cinta o del palazzo. Tali lesioni si verificano quando la torre è ben collegata al muro di cinta o al palazzo. La presenza di tiranti e cerchiature, di un contrasto laterale fornito da corpi addossati ben ammorinati contribuisce ad un buon comportamento di questo macroelemento; di contro la presenza di grandi aperture (anche tamponate) e l'elevata snellezza favoriscono l'attivazione del meccanismo.</p>
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Lievi lesioni inclinate e singole, visibili solo ad un'osservazione accurata e di limitata estensione. Si sviluppano lungo i giunti di malta, assumendo il tipico aspetto a "scaletta".</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Lesioni inclinate, singole o incrociate, che si sviluppano lungo i giunti di malta, di spessore tale da rendere facilmente leggibile l'attivazione del meccanismo.</p>	
	
<p><i>Castello Campori, Soliera</i></p>	<p><i>Rocca, Pieve di Cento</i></p>

LIVELLO DI DANNO 3

Lesioni inclinate, singole o incrociate, lungo i giunti di malta o che spezzano gli elementi in laterizio, con crolli limitati in corrispondenza delle lesioni.



Castello Galezza, Crevalcore



Castello dei Pio, Carpi



Castello dei Ronchi, Crevalcore

LIVELLO DI DANNO 4

Evidenza macroscopica del meccanismo di dissesto: lesioni passanti incrociate, elemento al limite del crollo o crollo di parti limitate e riduzione della sezione portante.



Rocca estense, San Felice sul Panaro



Rocca, Reggiolo



Castel San Giovanni, Visso

LIVELLO DI DANNO 5

Crollo totale dell'elemento o crollo prevalente con espulsione delle porzioni di muratura isolate dalle lesioni passanti.



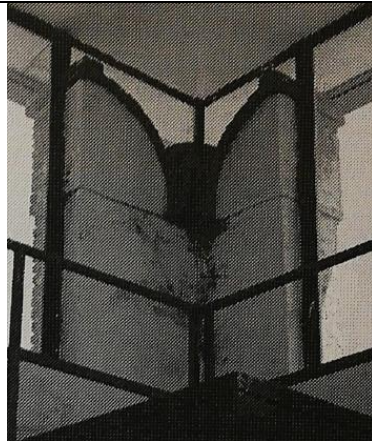
<p>M32 (M) (P) (T)</p>	<p>MECCANISMO DI TAGLIO NEL MERLO</p>	
	<p>Il meccanismo si attiva con deformazioni nel piano per rottura a taglio o a flessione della muratura del merlo, più facilmente queste lesioni si manifestano nel caso in cui la merlatura sia stata trasformata nel tempo in una struttura coperta. Il quadro fessurativo è composto da lesioni diagonali, sia singole che incrociate a X. Un buon ammassamento tra merlo e elementi di copertura contribuisce ad un buon comportamento di questo elemento; di contro lo spessore esiguo del merlo, le eventuali feritoie, la collocazione a quote elevate, la presenza di una copertura pesante in C.A. e cordoli in C.A. rigidi favoriscono l'attivazione del meccanismo.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Lievi lesioni inclinate singole visibili solo ad un'osservazione accurata e di limitata estensione. Si sviluppano lungo i giunti di malta, assumendo il tipico aspetto a "scaletta".</p>		
		
<p><i>Castello estense, San Martino in Rio</i></p>	<p><i>Mura di Durazzo, Albania</i></p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Lesioni inclinate, singole o incrociate, che si sviluppano lungo i giunti di malta, di spessore tale da rendere facilmente leggibile l'attivazione del meccanismo.</p>		
		
<p><i>Rocca stellata, Bondeno</i></p>		

LIVELLO DI DANNO 3

Lesioni inclinate, singole o incrociate, lungo i giunti di malta o che spezzano gli elementi in laterizio, con crolli limitati in corrispondenza delle lesioni.



Rocca stellata, Bondeno



Rocca, Cento



Castello di Pallotta, Calderola

LIVELLO DI DANNO 4 Evidenza macroscopica del meccanismo di dissesto: lesioni passanti incrociate, elemento al limite del crollo o crollo di parti limitate e riduzione della sezione portante.



Rocca estense, San Felice sul Panaro



Castello delle Rocche, Finale Emilia

LIVELLO DI DANNO 5 Crollo totale dell'elemento o crollo prevalente con espulsione delle porzioni di muratura laterali isolate dalle lesioni passanti.



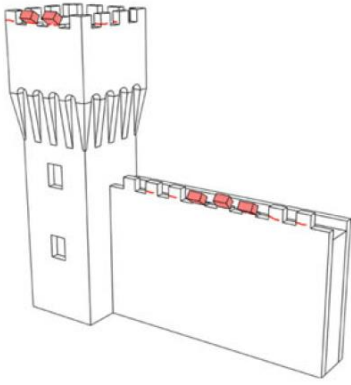


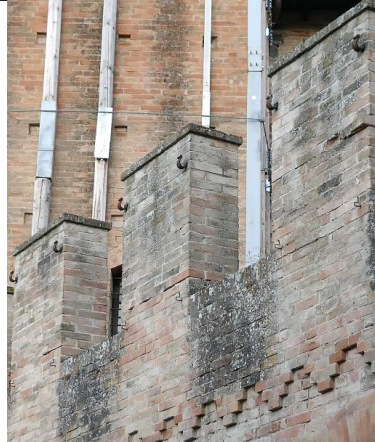



Rocca estense, San Felice sul Panaro



Castello delle Rocche, Finale Emilia



Castello di Montalto, Cessapalombo

<p>M33 (M) (P) (T)</p>	<p>RIBALTAMENTO DEL MERLO</p>	
	<p>Il meccanismo si attiva con la rotazione fuori dal piano e/o lo scorrimento del merlo o parte di esso. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da una lesione orizzontale, che indica la formazione del piano di scorrimento, generalmente alla base del merlo stesso. La presenza di perni di collegamento tra merlo e muratura sottostante contribuisce ad un buon comportamento di questo elemento; di contro l'elevata snellezza, la collocazione a quote elevate e la mancanza di un vincolo alla sommità del merlo favoriscono l'attivazione del meccanismo.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 1</p>		
<p>Prime lievi lesioni orizzontali alla base del merlo, in corrispondenza dei giunti di malta e visibili solo ad un'osservazione accurata. Tali lesioni segnalano l'attivazione del meccanismo.</p>		
		
<p><i>Castello dei Bentivoglio, Bentivoglio</i></p>	<p><i>Castello dei Manzoli, Minerbio</i></p>	<p><i>Castello di Pallotta, Caldarola</i></p>
<p>LIVELLO DI DANNO 2</p>		
<p>Lesioni orizzontali alla base del merlo che evidenziano la formazione di un piano di scorrimento orizzontale e una possibile lieve dislocazione della porzione di merlo disposta sopra il piano di scorrimento.</p>		
		
<p><i>Rocca, San Martino in Rio</i></p>	<p><i>Villa la Giovannina, S. G. in Persiceto</i></p>	<p><i>Villa la Giovannina, S. G. in Persiceto</i></p>

LIVELLO DI DANNO 3

Evidente dislocazione/scorrimento della parte superiore del merlo, con limitati crolli (es. perdita di laterizi in corrispondenza della lesione orizzontale).



Rocca estense, San Felice sul Panaro



Rocca, Reggiolo



Villa la Giovannina, S. G. in Persiceto

LIVELLO DI DANNO 4

Lo scorrimento del merlo è prossimo alla fase di ultimo spostamento al limite del crollo, con possibili crolli diffusi.



Rocca, Reggiolo



Rocca, Reggiolo



Rocca estense, San Felice sul Panaro

LIVELLO DI DANNO 5

Collasso totale o prevalente dell'elemento: perdita della porzione di merlo al di sopra del piano di scorrimento.



Castello delle Rocche, Finale Emilia






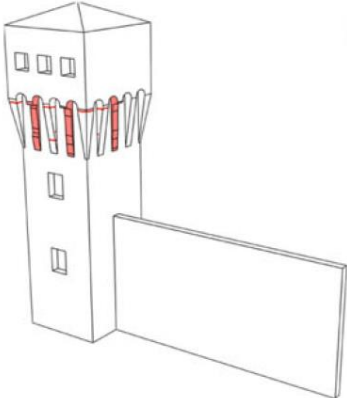

Castello dei Pio, Carpi



Rocca estense, San Felice sul Panaro

<p>M34 (M) (P) (T)</p> 	<p>BECCATELLI – TRAZIONE ALL’INNESTO CON LA MURATURA PORTANTE</p> <p>Il meccanismo si attiva con deformazioni dovute all’interazione tra muratura del beccatello e muratura portante, ma anche alla maggior concentrazione della forza di compressione sull’esterno del beccatello, trasmessa dagli archetti posizionati a filo esterno del beccatello, mentre a filo interno sono presenti le bucatore delle caditoie. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da lesioni verticali in corrispondenza della discontinuità costruttiva. La presenza di un’adeguata connessione tra il beccatello e la muratura retrostante riduce l’insorgenza di tale quadro fessurativo. Di contro la presenza di azioni concentrate trasmesse dagli elementi di collegamento (capichiavi e catene), la variazione di geometria, dovuta alla presenza della caditoia che comporta una concentrazione della forza di compressione sull’esterno del beccatello, unitamente alla riduzione del volume dell’elemento ligneo, che non lavora più adeguatamente a trazione, favoriscono l’attivazione del meccanismo.</p>
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Lievi lesioni verticali localizzate tra la muratura portante e una porzione del corpo del beccatello, collocate lungo i giunti di malta, che evidenziano un’ammorsatura scadente o la presenza di perni interni alla muratura che potrebbero causare fenomeni di martellamento puntuali. Tali lesioni sono visibili solo con un’osservazione accurata.</p>	
	
<p><i>Rocca dei Gonzaga, Novellara</i></p>	<p><i>Castello Galeazza, Crevalcore</i></p>
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Lesioni verticali, localizzate tra la muratura portante e il corpo del beccatello collocate lungo i giunti di malta, che rendono facilmente leggibile l’attivazione di tale meccanismo.</p>	
	
<p><i>Rocca Isolani, Minerbio</i></p>	

<p>LIVELLO DI DANNO 3 Lesioni verticali che causano la dislocazione di una porzione del beccatello.</p>		
<p>LIVELLO DI DANNO 4 Lesioni verticali passanti tali da isolare quasi completamente l'elemento aggettante del beccatello e indurne lo spostamento con parti al limite del crollo.</p>		
		
<p><i>Rocca estense, San Felice sul Panaro</i></p>	<p><i>Rocca estense, San Felice sul Panaro</i></p>	<p><i>Castello dei Ronchi, Crevalcore</i></p>
<p>LIVELLO DI DANNO 5 Crollo totale dell'elemento.</p>		

M35 (M) (P) (T)	BECCATELLI – CEDIMENTO ARCO PER ALLONTANAMENTO DEI PIEDRITTI	
	<p>Il meccanismo si attiva per deformazione nel piano e allontanamento dei piedritti/beccatelli su cui si imposta l’arco. Il quadro fessurativo che comunemente ne deriva è rappresentato dalla formazione di tre cerniere: una in chiave all’intradosso dell’arco e due alle reni (a 30° rispetto al centro dell’arco) all’estradosso; dallo scivolamento dei conci dell’arco e dallo schiacciamento e deformazione dei piedritti/beccatelli. La presenza di efficaci sistemi di contrasto delle spinte (catene, cerchiature) e di archi di luce ridotta contribuisce ad un buon comportamento di questo elemento; di contro l’assenza di incatenamenti, la scarsa qualità della muratura e della disposizione dei conci favoriscono l’attivazione del meccanismo.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Allontanamento, alla fase iniziale, di uno o di entrambi i piedritti (beccatelli), a sostegno dell’archetto. L’attivazione dei meccanismi M4 e M38 possono essere preludio all’attivazione di tale meccanismo o accentuare la vulnerabilità di tale elemento.</p>		
		
<p><i>Castello Galeazza, Crevalcore</i></p>		
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Sviluppo di lesioni che evidenziano la formazione delle tre cerniere.</p>		

LIVELLO DI DANNO 3

Evidenti e ampie lesioni che evidenziano la formazione delle tre cerniere, con lesioni inclinate al di sopra dell'arco che evidenziano il cedimento dello stesso.

--	--	--

LIVELLO DI DANNO 4

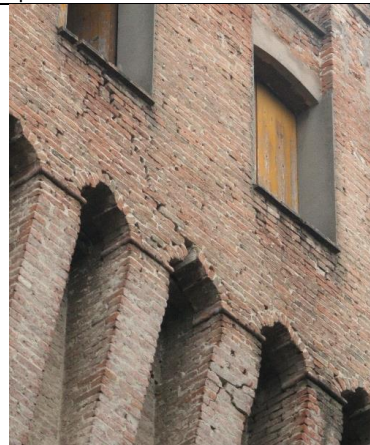
Scivolamento dei conci, che compongono l'arco, alla fase di ultimo spostamento con parti al limite del crollo.



Castello dei Ronchi, Finale Emilia



Rocca estense, San Felice sul Panaro



Castello Galeazza, Crevalcore

LIVELLO DI DANNO 5

Crollo totale dell'arco o di buona parte dei conci che lo compongono.



Castello dei Ronchi, Crevalcore



Rocca estense, San Felice sul Panaro



Torrione di San Catervo, Tolentino

<p>M36 T</p> 	<p>RIBALTAMENTO DEL CANTONALE</p> <p>Il meccanismo si attiva con rotazioni fuori dal piano degli angoli murari, specialmente nella parte alta della torre, a causa di elementi spingenti. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da lesioni subverticali o arcuate, in prossimità degli angoli della parte sommitale della torre. Tali lesioni tendono a isolare una porzione di muratura angolare, con la conseguente possibile espulsione della stessa. La presenza di cerchiature sufficientemente diffuse e ancoraggi adeguati contribuiscono ad evitare lo sviluppo di tale meccanismo, riducendo l'altezza di libera inflessione dell'angolo; di contro le differenze nella tessitura muraria degli angoli, la presenza di capi-chiave interni alla muratura, di eventuali asimmetrie strutturali e di elementi spingenti sugli angoli (volte, coperture spingenti, cordoli in C.A.) favoriscono l'attivazione del meccanismo.</p>
---	--

LIVELLO DI DANNO 1
 Lievi lesioni subverticali o arcuate, in prossimità degli angoli della parte sommitale della torre. Tali lesioni sono visibili solo con un'osservazione accurata e si sviluppano lungo i giunti di malta.



Castello di Galeazza, Crevalcore

Rocca estense, San Felice sul Panaro

LIVELLO DI DANNO 2
 Lesioni subverticali o arcuate, ben visibili, in prossimità degli angoli della parte sommitale della torre, con lieve dislocazione dell'angolo.



Castello delle Rocche, Finale Emilia

Rocca dei Gonzaga, Novellara

Rocca estense, San Felice sul Panaro

LIVELLO DI DANNO 3

Evidenti lesioni subverticali o arcuate, con dislocazione e fuori piombo della porzione angolare. I crolli sono limitati.



Castello di Galeazza, Crevalcore



Castello delle Rocche, Finale Emilia



Mura di Durazzo, Albania

LIVELLO DI DANNO 4

Lesioni subverticali o arcuate passanti che isolano la porzione muraria angolare con spostamento dello stessa al limite del crollo e con crolli parziali.



Castello dei Ronchi, Crevalcore



Castello di Carpignano, San Severino



Castello delle Rocche, Finale Emilia

LIVELLO DI DANNO 5

Espulsione del cantonale nella parte sommitale della torre, con conseguente crollo totale del macro-elemento.



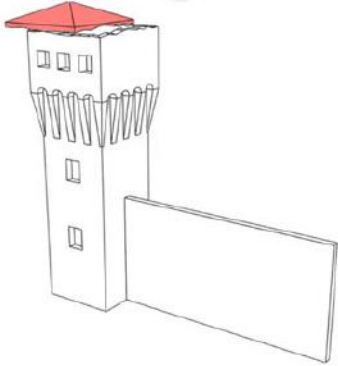
Castello delle Rocche, Finale Emilia



Torre dei Modenesi, Finale Emilia

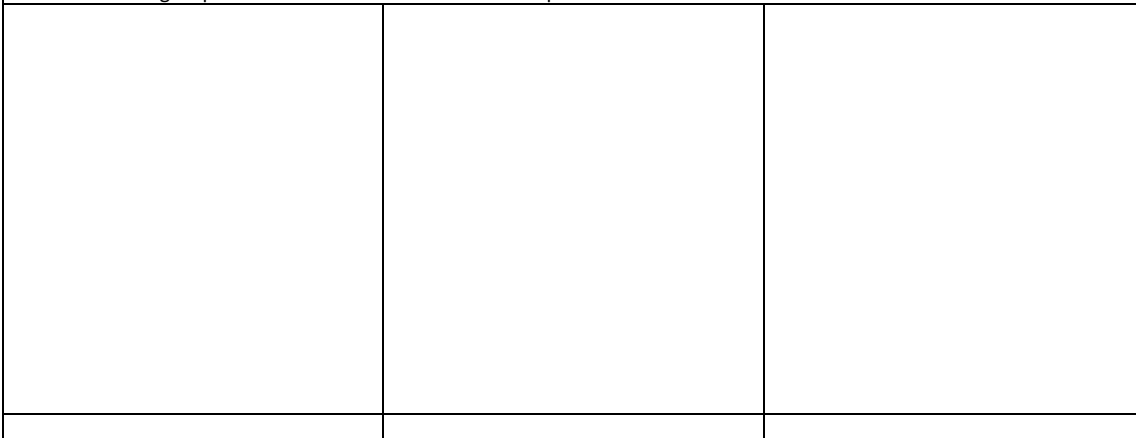


Rocca, Reggiolo

<p>M37 (T)</p> 	<p>SCORRIMENTO DELLA COPERTURA</p> <p>Il meccanismo si attiva per deformazioni a taglio nel piano per scorrimento orizzontale. Il quadro fessurativo che ne deriva è rappresentato da lesioni orizzontali lungo i giunti di malta, con conseguente scorrimento della copertura sulla porzione di muratura sottostante, lungo un piano orizzontale. Buoni architravi nelle aperture e la presenza di collegamenti tra elementi di copertura e muratura sottostante contribuiscono ad un buon comportamento di questo macro-elemento; di contro la presenza di coperture e cordoli rigidi e pesanti in C.A. favoriscono l'attivazione del meccanismo.</p>
<p>LIVELLO DI DANNO 1 Lievi lesioni orizzontali in corrispondenza dell'attacco degli elementi di copertura con il paramento verticale. Tali lesioni sono visibili ad una osservazione accurata e di limitata estensione.</p>	
<p>LIVELLO DI DANNO 2 Lesioni orizzontali in corrispondenza dell'attacco degli elementi di copertura con il paramento verticale, che rendono leggibile l'attivazione del meccanismo. Dislocazione lungo il piano di scorrimento.</p>	

LIVELLO DI DANNO 3

Gravi lesioni orizzontali in corrispondenza dell'attacco degli elementi di copertura con il paramento verticale, con evidente dislocazione lungo il piano di scorrimento e crolli limitati a porzioni non strutturali.



LIVELLO DI DANNO 4

Gravi lesioni orizzontali in corrispondenza dell'attacco degli elementi di copertura con il paramento verticale, con dislocazione lungo il piano di scorrimento al limite del collasso e crolli puntuali diffusi.



Mura di Norcia

LIVELLO DI DANNO 5

Collasso del macro-elemento o di una sua parte consistente.



Rocca estense, San Felice sul Panaro

Castello dei Ronchi, Crevalcore

ALLEGATO 4

TABELLE ATTRIBUTI DEL GEO-DATABASE GIS

TABELLA ATTRIBUTI PER LA FEATURE CLASS CASTELLI DANNEGGIATI (in grigio alcuni dei campi provenienti dal Database WebGIS della Regione Emilia Romagna)

codice	nome	provincia	id_comune	comune	PALAZZO	TORRI	MURA
037048_8	Rocca	Bologna	037048	PIEVE DI CENTO	SI	1	SI
038008_313	Castello Estense	Ferrara	038008	FERRARA	SI	4	NO
038018_711	Castello Lambertini	Ferrara	038018	POGGIO RENATICO	SI	1	NO
038003_13	Forte estense	Ferrara	038003	BONDENO	SI	0	NO
038004_23	Rocca	Ferrara	038004	CENTO	SI	5	NO
036037_3	Castello	Modena	036037	SAN FELICE SUL PANARO	SI	5	SI
036044_1	Castello dei Pio	Modena	036044	SOLIERA	SI	2	NO
036022_12-13	Vecchio Castello Pico	Modena	036022	MIRANDOLA	SI	0	NO
036005_20	Castello dei principi Pio	Modena	036005	CARPI	SI	2	NO
035032_1	Castello	Reggio Emilia	035032	REGGIOLO	SI	5	SI
035037_2	Rocca Estense e relative pertinenze	Reggio Emilia	035037	SAN MARTINO IN RIO	SI	1	NO
037024_2	Torre Galeazza	Bologna	037024	CREVALCORE	SI	2	NO
037038_1	Castello dei Manzoli	Bologna	037038	MINERBIO	SI	5	SI
037005_1	Castello già dei Bentivoglio	Bologna	037005	BENTIVOGLIO	SI	0	SI
036012_5	Castello	Modena	036012	FINALE EMILIA	SI	4	NO
035021_7	Castello Guidotti, pertinenze agricole e cortilive	Reggio Emilia	035021	FABBRICO	SI	0	NO
037038_4	Rocca di Minerbio	Bologna	037038	MINERBIO	SI	0	NO
038003_883	Castello in Santa Bianca di Bondeno	Ferrara	038003	BONDENO	SI	3	SI
035028_1	Rocca dei Gonzaga	Reggio Emilia	035028	NOVELLARA	SI	1	SI
037053_8	Villa La Giovannina e pertinenze	Bologna	037053	SAN GIOVANNI IN PERSICETO	SI	5	SI
036012_13	Castello Carrobbio	Modena	036012	FINALE EMILIA	SI	3	NO

TABELLA ATTRIBUTI DEL BENE COMPONENTE MURA DI CINTA

Cod_mura	Cod_SABAP_BO	N_mura	comune	Spessore	Lunghezza	Altezza	Merli	Beccatelli	Torre_ad	Altri_el_addossati	Camminamenti	Copertura	pgv_max	pga_max	psa03_max	psa10_max	psa30_max
037048_8_MC1	037048_8	MC1	PIEVE DI CENTO	0,9	48	9	NO	NO	SI	NO	NO	NO	12	0,12	0,40	0,12	0,02
037048_8_MC2	037048_8	MC2	PIEVE DI CENTO	0,9	7,5	9	NO	NO	SI	NO	NO	NO	12	0,12	0,40	0,12	0,02
036037_3_MC1	036037_3	MC1	S. FELICE SUL PANARO	2	17	8,6	NO	SI	SI	SI	NO	NO	62	0,32	0,72	0,68	0,12
036037_3_MC2	036037_3	MC2	S. FELICE SUL PANARO	1	12	11,59	SI	SI	SI	SI	SI	SI	62	0,32	0,72	0,68	0,12
036005_20_MC1	036005_20	MC1	CARPI	0,8	8,6		NO	NO	SI	NO	NO	NO	18	0,12	0,32	0,12	0,02
035032_1_MC2	035032_1	MC2	REGGIOLO	1,5	31	14	SI	NO	SI	NO	NO	NO	20	0,12	0,36	0,08	0,02
035032_1_MC3	035032_1	MC3	REGGIOLO	1,5	27	14	SI	NO	SI	NO	NO	NO	20	0,12	0,36	0,08	0,02
035032_1_MC4	035032_1	MC4	REGGIOLO	1,5	31	14	SI	NO	SI	SI	NO	NO	20	0,12	0,36	0,08	0,02
035032_1_MC5	035032_1	MC5	REGGIOLO	1,5	35	14	SI	NO	SI	SI	NO	NO	20	0,12	0,36	0,08	0,02
037038_1_MC1	037038_1	MC1	MINERBIO		60		SI	SI	SI	SI	SI	NO	6	0,04	0,12	0,04	0,02
037005_1_MC1	037005_1	MC1	BENTIVOGLIO	1	325	6,4	SI	NO	SI	NO	NO	NO	6	0,08	0,16	0,08	0,02
035021_7_MC1	035021_7	MC1	FABBRICO	0,6	31	3	NO	NO	SI	NO	NO	NO	22	0,12	0,36	0,16	0,02
038003_883_MC1	038003_883	MC1	BONDENO	0,7	10		NO	NO	SI	SI	NO	NO	24	0,16	0,36	0,04	0,04
035028_1_MC1	035028_1	MC1	NOVELLARA	4	42	14	SI	NO	SI	SI	SI	SI	4	0,08	0,16	0,04	0,02
037053_8_MC1	037053_8	MC1	SAN G.IN PERSICETO	0,6	133	3	SI	SI	SI	NO	NO	NO	14	0,16	0,44	0,16	0,04

Cod_mura	Cod_SABAP_BO	M10	M11	M12-13	M14	M15	M16	M18	M19	M21	M22-23	M24	M25	M26_M28	M27	M32	M33	M34-35	d	n	I_danno
037048_8_MC1	037048_8	NA	NA	2	NA	NA	NA	NA	1	0	2	2	0	0	0	NA	NA	NA	12	7	0,342857143
037048_8_MC2	037048_8	NA	2,00	NA	NA	NA	NA	NA	1	0	0	2	2	0	0	NA	NA	NA			
036037_3_MC1	036037_3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1	1	0	0	0	0	3	NA	NA	1	35	8	0,875
036037_3_MC2	036037_3	3,00	NA	2	NA	1,00	1,00	NA	1	4	0	0	4	4	5	0	5	4			
036005_20_MC1	036005_20	NA		NA	NA	NA	NA	NA	0	NA	0	0	0	0	0	NA	NA	NA	0	5	0
035032_1_MC2	035032_1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	NA	0	0	0	1	4	0	3	NA	36	9	0,8
035032_1_MC3	035032_1	NA	2,00	2	NA	NA	NA	NA	0	NA	0	0	0	4	4	0	5	NA			
035032_1_MC4	035032_1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	NA	0	0	0	2	4	0	4	NA			
035032_1_MC5	035032_1	NA	NA	1	NA	NA	NA	NA	0	2	0	0	0	2	2	0	3	NA			
037038_1_MC1	037038_1	NA		0	NA	NA	NA	0	0	0	0	0	0	3	1	0	1	0	4	7	0,114285714
037005_1_MC1	037005_1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	0	3	0	0	0	0	0	1	NA	4	6	0,133333333
035021_7_MC1	035021_7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	2	1	0	0	0	1	NA	NA	NA	4	4	0,2
038003_883_MC1	038003_883	NA		1	NA	NA	NA	NA	0	NA	0	0	0	1	2	NA	NA	NA	3	5	0,12
035028_1_MC1	035028_1		NA	NA	NA			NA	3	0	0	0	0	0	0	2	2	NA	5	7	0,142857143
037053_8_MC1	037053_8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	NA	3	0	0	1	0	0	3	1	8	7	0,228571429

TABELLA ATTRIBUTI DEL BENE COMPONENTE PALAZZO

Cod_Palazzo	cod_SABAP_BO	N_palazzo	comune	Pianta	Elevazione	Disp_muri_interni	Disp_aperture	Forma_pianta	Larghezza	Lunghezza	Superficie	Altezza	Piani_ft	Piani_int	Tipo_muri
037048_8_P1	037048_8	P1	PIEVE DI CENTO	Regolare	Regolare	Regolare	Regolare	Rettangolare	6	20	120	10,00	3	0	Mattoni
038008_313_P1	038008_313	P1	FERRARA	Regolare	Irregolare	Irregolare	Regolare	Altro	30	32	960	22,30	2	1	Mattoni
038008_313_P2	038008_313	P2	FERRARA	Regolare	Regolare	Regolare	Regolare	Rettangolare	10	35	350	22,3	3	1	Mattoni
038008_313_P3	038008_313	P3	FERRARA	Regolare	Regolare	Regolare	Regolare	Rettangolare	10	32,5	325	22,3	3	1	Mattoni
038008_313_P4	038008_313	P4	FERRARA	Regolare	Regolare	Regolare	Regolare	Rettangolare	10	31,3	313	22,3	5	1	Mattoni
038018_711_P1	038018_711	P1	POGGIO RENATICO	Regolare	Regolare	Regolare	Regolare	Corte	38	40	1520	15,00	2	1	Mattoni
038003_13_P1	038003_13	P1	BONDENO	Regolare	Regolare	Regolare	Regolare	Stella	16	16	256	13,57	3	1	Mattoni
038004_23_P1	038004_23	P1	CENTO	Regolare	Regolare	Regolare	Regolare	Corte	32	38	1216	11,00	2	1	Mattoni
036037_3_P1	036037_3	P1	SAN FELICE SUL PANARO	Regolare	Regolare	Regolare	Irregolare	L	10	24	235	14,00	3	1	Mattoni
036044_1_P1	036044_1	P1	SOLIERA	Irregolare	Irregolare	Irregolare	Irregolare	Altro	16	25	400	17,50	2	1	Mattoni
036022_12-13_P1	036022_12-13	P1	MIRANDOLA	Irregolare	Irregolare	Regolare	Irregolare	Altro	30	90	2700	19	5	0	Mattoni
036022_12-13_P2	036022_12-13	P2	MIRANDOLA	Regolare	Regolare	Regolare	Regolare	Rettangolare	16	18	288	13	3	0	Mattoni
036005_20_P1	036005_20	P1	CARPI	Irregolare	Irregolare	Irregolare	Irregolare	Corte	30	40	1200	25	2	0	Mattoni
036005_20_P2	036005_20	P2	CARPI	Regolare	Irregolare	Regolare	Irregolare	Rettangolare	12	40	480		3	0	Mattoni
036005_20_P3	036005_20	P3	CARPI	Regolare	Regolare	Irregolare	Irregolare	Rettangolare	14	23	320	13	2	0	Mattoni
036046_6_P1	036046_6	P1	VIGNOLA	Irregolare	Regolare	Regolare	Regolare	Altro	10	10	100		1	0	Mattoni
036040_3_P1	036040_3	P1	SASSUOLO	Irregolare	Irregolare	Regolare	Regolare	L	42	20	840	13,50	4	0	Mattoni
035032_1_P1	035032_1	P1	REGGIOLO	Regolare	Regolare	Regolare	Regolare	L	8	57	517	9,60	1	0	Mattoni
035037_2_P1	035037_2	P1	SAN MARTINO IN RIO	Irregolare	Irregolare	Regolare	Irregolare	Altro	17	80	1360	15	3	0	Mattoni
037024_2_P1	037024_2	P1	CREVALCORE	Irregolare	Regolare	Regolare	Regolare	Altro	7	117	819	12	3	0	Mattoni
037038_1_P1	037038_1	P1	MINERBIO	Regolare	Regolare	Regolare	Regolare	Corte	30	40	1200	12	1	1	Mattoni
037005_1_P1	037005_1	P1	BENTIVOGLIO	Regolare	Regolare	Regolare	Regolare	Corte	53	65	3445	11,40	3	0	Mattoni
037005_1_P2	037005_1	P2	BENTIVOGLIO	Regolare	Regolare	Regolare	Regolare	Rettangolare	13	58	754		2	0	Mattoni
036012_5_P1	036012_5	P1	FINALE EMILIA	Regolare	Regolare	Regolare	Regolare	L	23	38	874	18	3	1	Mattoni
035021_7_P1	035021_7	P1	FABBRICO	Regolare	Regolare	Regolare	Regolare	Corte	52	54	2808	9,50	2	0	Mattoni
037038_4_P1	037038_4	P1	MINERBIO	Regolare	Regolare	Regolare	Regolare	Corte	30	34	1020	11	2	1	Mattoni
038003_883_P1	038003_883	P1	BONDENO	Regolare	Regolare	Regolare	Regolare	C	13	95	1235	10	3	0	Mattoni
038003_883_P2	038003_883	P2	BONDENO	Regolare	Regolare	Regolare	Regolare	C	9	75	675	7	3	0	Mattoni
035028_1_P1	035028_1	P1	NOVELLARA	Regolare	Irregolare	Regolare	Irregolare	Corte	7	128	896	15,50	3	1	Mattoni
037053_8_P1	037053_8	P1	SAN GIOVANNI IN PERSICETO	Regolare	Regolare	Regolare	Regolare	Rettangolare	23	25,60	589	14	2	1	Mattoni
036012_13_P1	036012_13	P1	FINALE EMILIA	Irregolare	Regolare	Regolare	Regolare	Corte	25	61	1525	13	5	0	Mattoni

Cod_Palazzo	comune	Logge_porticati	Solaio_ligneo	Solaio_voltato	Solaio_altro	Merli	Beccatelli	Altri_el_aggettanti	El_sveltanti	Mura_cinta_addossate	Corpi_annessi
037048_8_P1	PIEVE DI CENTO	NO	SI			NO	NO	NO	NO	SI	NO
038008_313_P1	FERRARA	SI	SI	SI		NO	SI	NO	NO	NO	SI
038008_313_P2	FERRARA	NO	SI	SI		NO	SI	NO	NO	NO	SI
038008_313_P3	FERRARA	NO	SI	SI		NO	SI	NO	NO	NO	SI
038008_313_P4	FERRARA	NO	SI	SI		NO	SI	NO	NO	NO	SI
038018_711_P1	POGGIO RENATICO	SI	SI	SI	SAP , cannicciato	NO	NO	SI	NO	NO	NO
038003_13_P1	BONDENO	NO	SI	SI		SI		SI	SI	NO	NO
038004_23_P1	CENTO	NO	SI	SI		SI	SI	NO	NO	NO	NO
036037_3_P1	SAN FELICE SUL PANARO	SI	SI	SI	laterocemento	SI	SI	SI	NO	SI	SI
036044_1_P1	SOLIERA	SI	SI	SI	cannicciato	NO	SI	SI	NO	NO	SI
036022_12- 13_P1	MIRANDOLA	SI	SI	SI	voltine	NO	NO	NO	SI	SI	SI
036022_12- 13_P2	MIRANDOLA	NO	SI			SI	NO	NO	NO	SI	SI
036005_20_P1	CARPI	SI	SI	SI		NO	NO	NO	NO	SI	SI
036005_20_P2	CARPI	SI	SI			NO	NO			SI	SI
036005_20_P3	CARPI	NO	SI			NO	NO			SI	SI
036046_6_P1	VIGNOLA	NO	SI	SI		SI	SI				SI
036040_3_P1	SASSUOLO	NO	SI	SI	laterocemento	NO	NO	SI	NO	SI	
035032_1_P1	REGGIOLO	NO	SI	NO		NO	NO	NO	NO	SI	NO
035037_2_P1	SAN MARTINO IN RIO	NO	SI	SI	cannicciato	SI	SI	NO	NO	NO	SI
037024_2_P1	CREVALCORE	SI	SI	SI	cannicciato	SI	NO	SI	NO	NO	SI
037038_1_P1	MINERBIO	SI	SI	SI		SI	NO	NO	NO	NO	SI (ponte)
037005_1_P1	BENTIVOGLIO	SI	SI	SI	voltine	NO	NO	NO	SI	NO	SI
037005_1_P2	BENTIVOGLIO	NO	14	SI		NO	NO	NO	NO	SI	SI
036012_5_P1	FINALE EMILIA	SI	SI	SI		SI	SI	NO	NO	NO	NO
035021_7_P1	FABBRICO	SI	SI	SI		NO	NO	NO	NO	NO	NO
037038_4_P1	MINERBIO	SI	SI	SI		SI	NO	NO	NO	NO	SI
038003_883_P1	BONDENO	NO	SI	SI		NO	NO	NO	NO	NO	NO
038003_883_P2	BONDENO	NO	SI	SI		NO	NO	NO	NO	NO	SI
035028_1_P1	NOVELLARA	SI	SI	SI		SI	SI	NO	NO	NO	SI (teatro)
037053_8_P1	SAN GIOVANNI IN PERSICETO	NO	SI	SI		NO	NO	SI	SO	NO	NO
036012_13_P1	FINALE EMILIA	SI	SI	SI		SI	NO	SI	NO	NO	SI

Cod_Palazzo	Pgv_max	Pga_max	Psa03_max	Psa10_max	Psa30_max	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M24	M25	M32	M33	M34-35	d	n	Indice danno	
037048_8_P1	12	0,12	0,40	0,12	0,02	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	11	0,036363636	
038008_313_P1	8	0,08	0,16	0,08	0,02	0	0	0	0	2	2	2	1	0	0	0	0	0	3	0	2	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	15	24	0,125
038008_313_P2	8	0,08	0,16	0,08	0,02	0	0	0	0	2	2	2	1		0	0	2	0	0	5	2		NA	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	17	24	0,141666667
038008_313_P3	8	0,08	0,16	0,08	0,02	3	0	0	0	2	2	2	1	NA	0	0	0	0	NA	0	2		NA	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	13	22	0,118181818
038008_313_P4	8	0,08	0,16	0,08	0,02	3		0	0	2	2	2	1	NA	0	0	0	0	3	3	2	0	NA	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	19	23	0,165217391
038018_711_P1	10	0,08	0,20	0,08	0,02	4	2	2	0	3	3	5	0	3	1	4	3	0	3	2	0	0	5	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	43	24	0,358333333
038003_13_P1	18	0,16	0,32	0,16	0,02	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	4	4	4	3	0	3	3	5	0	NA	NA	1	0	0	3	0	3	39	25	0,312	
038004_23_P1	14	0,12	0,44	0,16	0,04	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	NA	2	2	0	0	2	0	1	0	1	16	26	0,123076923	
036037_3_P1	62	0,32	0,72	0,68	0,12	0	0	0	0	3	2	2	0	2	1	2	2	1	0	0	0	0	NA	1	3	2	0	1	1	NA	NA	2	25	23	0,217391304	
036044_1_P1	8	0,12	0,28	0,08	0,04	0	0	0	0	4	2	2	0	1	0	5	0	5	3	0	2	0	NA	0	0	0	0	1	0	NA	NA	0	25	25	0,2	
036022_12-13_P1	50	0,28	0,68	0,56	0,12	4	4	0	2	4	3	3	0	4	4	5	3	2	3	0	2	3	NA	5	4	2	4	4	4	NA	NA	NA	69	24	0,575	
036022_12-13_P2	50	0,28	0,68	0,56	0,12	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0	0	0	2	2	0	0	0	24	25	0,192	
036005_20_P1	18	0,12	0,32	0,12	0,02	0	0	0	0	2	3	2	0	NA	0	2	0	2	3	1	2	0	NA	2	2	NA	0	2	1	NA	NA	NA	24	24	0,2	
036005_20_P2	18	0,12	0,32	0,12	0,02	0	0	0	0	0	0	4	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0	0	0	2	1	NA	NA	NA	11	24	0,091666667	
036005_20_P3	18	0,12	0,32	0,12	0,02	0	0	0	0	0	2	2	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	NA	0	0	0	0	2	2	NA	NA	NA	11	24	0,091666667	
036046_6_P1	4	0,04	0,08	0,04	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	0	
036040_3_P1	2	0,04	0,08	0,04	0,02	2	2	2	2	1	1	1	0	0	0	4	4	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	24	0,208333333
035032_1_P1	20	0,12	0,36	0,08	0,02	3	0	0	0	4	4	0	0	5	5	0	0	0	4	4	4	0	NA	0	0	0	0	1	1	NA	NA	NA	35	25	0,28	
035037_2_P1	6	0,08	0,16	0,08	0,02	0	0	0	0	2	2	2	0	2	1	0	2	2	2	0	2	0	2	2	2	2	1	1	1	0	0	0	28	27	0,207407407	
037024_2_P1	24	0,16	0,52	0,20	0,04	5	0	5	3	3	3	4	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	0	0	0	0	0	5	NA	90	26	0,692307692	
037038_1_P1	6	0,04	0,12	0,04	0,02	0	0	0	0	0	0	2	1	0	2	0	2	0	NA	0	0	0	NA	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	11	24	0,091666667
037005_1_P1	6	0,08	0,16	0,08	0,02	2	0	0	1	0	1	2	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	2	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	15	24	0,125
037005_1_P2	6	0,08	0,16	0,08	0,02	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	0	1	1	0	0	0	0	0	10	24	0,083333333
036012_5_P1	34	0,22	0,48	0,28	0,04	0	1	0	3	2	2	1	0	4	0	0	0	3	0	0	4	0	NA	1	1	0	0	2	0	0	2	2	28	26	0,215384615	
035021_7_P1	22	0,12	0,36	0,16	0,02	0	0	0	0	1	1	1	0	2	3	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	24	0,1
037038_4_P1	6	0,04	0,12	0,04	0,02	0	0	3	0	0	2	2	0	0	2	0	3	2	1	0	0	0	NA	2	2	0	0	0	2	0	0	0	0	21	25	0,168
038003_883_P1	24	0,16	0,36	0,04	0,04	0	0	0	0	4	3	3	0	3	3	0	0	0	0	2	2	0	5	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	27	24	0,225
038003_883_P2	24	0,16	0,36	0,04	0,04	0	0	0	0	4	0	4	0	0	0	1	1	1	0	2	4	0	NA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	23	0,147826087
035028_1_P1	4	0,08	0,16	0,04	0,02	0	0	0	1	1	3	1	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	NA	2	2	2	0	0	0	2	2	2	21	26	0,161538462	
037053_8_P1	14	0,16	0,44	0,16	0,04	0	0	0	0	3	3	3	0	2	0	2	2	2	0	0	0	0	5	2	4	4	0	0	0	0	0	0	0	32	23	0,27826087
036012_13_P1	62	0,24	0,60	0,68	0,08	0	0	2	0	0	2	2	0	3	0	4	0	0	4	3	3	0	NA	0	4	0	1	0	0			NA	28	25	0,224	

TABELLA ATTRIBUTI DEL BENE COMPONENTE TORRE

ID_torri	Cod_SABAP_BO	N_torri	comune	larghezza	lunghezza	altezza	forma_pianta	posizione	corpo_scal	solai_lignei	solai_voltati	solai_altro	beccatelli	merli	Torre portaia
037048_8_T1	037048_8	T1	PIEVE DI CENTO	7,8	7,8	22	quadrangolare	sporgente	NO	SI	SI		NO	NO	NO
038008_313_T1	038008_313	T1	FERRARA	12,3	12,3	50,7	quadrangolare	angolo	SI	SI	SI	NO	SI	NO	NO
038008_313_T2	038008_313	T2	FERRARA	13,5	13,5	51	quadrangolare	angolo	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO
038008_313_T3	038008_313	T3	FERRARA	11,7	12	51	quadrangolare	angolo	NO	SI	SI		SI	NO	NO
038008_313_T4	038008_313	T4	FERRARA	11,8	12,3	50,3	quadrangolare	angolo	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO
038018_711_T1	038018_711	T1	POGGIO RENATICO	7	7	23	quadrangolare	sporgente	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
038004_23_T1	038004_23	T1	CENTO	8,6	8,6	34	quadrangolare	sporgente					SI	SI	SI
038004_23_T2	038004_23	T2	CENTO	6	6,3	14	quadrangolare	angolo					SI	SI	NO
038004_23_T3	038004_23	T3	CENTO	6	6,3	14	quadrangolare	angolo					SI	SI	NO
038004_23_T4	038004_23	T4	CENTO	6,3	9	14	quadrangolare	sporgente					SI	SI	NO
038004_23_T5	038004_23	T5	CENTO	6,3	6	14	quadrangolare	angolo					SI	SI	NO
036037_3_T1	036037_3	T1	SAN FELICE SUL PANARO	6	5	15,3	quadrangolare	angolo		SI	SI		SI	SI	NO
036037_3_T2	036037_3	T2	SAN FELICE SUL PANARO	10	10	29,3	quadrangolare	angolo	SI	SI	SI		SI	SI	NO
036037_3_T3	036037_3	T3	SAN FELICE SUL PANARO	4,7	6,5	15,7	quadrangolare	angolo		SI	SI		SI	SI	NO
036037_3_T4	036037_3	T4	SAN FELICE SUL PANARO	5,5	5,6	15,5	quadrangolare	angolo		SI	SI		SI	SI	NO
036037_3_T5	036037_3	T5	SAN FELICE SUL PANARO	6,7	6,6	17,1	quadrangolare	sporgente		SI	SI	SI	SI	SI	SI
036044_1_T1	036044_1	T1	SOLIERA	6,4	8,4	23	quadrangolare	inglobata	NO	SI	SI		NO	NO	SI
036044_1_T2	036044_1	T2	SOLIERA	5,2	5,3	20,3	quadrangolare	angolo	NO	SI	SI		SI	NO	NO
036022_12-13_T1	036022_12-13	T1	MIRANDOLA	15	15		quadrangolare	inglobata		SI			SI	SI	NO
036005_20_T1	036005_20	T1	CARPI	21,5	18,5	26	quadrangolare	angolo	SI	SI	SI		NO	SI	NO
036005_20_T2	036005_20	T2	CARPI	8	7,5	34	quadrangolare	sporgente	NO	SI	SI		NO	NO	SI
036005_20_T3	036005_20	T3	CARPI	7,6	7,3	32	quadrangolare	inglobata	NO	SI	SI		NO	SI	NO
036040_3_T1	036040_3	T1	SASSUOLO	7	6,3		quadrangolare	sporgente	NO	SI	NO	SI	NO	NO	NO
035032_1_T1	035032_1	T1	REGGIOLO	8	8	21	aperta	inglobata	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO
035032_1_T2	035032_1	T2	REGGIOLO	8	7	21	aperta	inglobata	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO
035032_1_T3	035032_1	T3	REGGIOLO	8	8	21	quadrangolare	angolo	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO
035032_1_T4	035032_1	T4	REGGIOLO	6	5,5	21	quadrangolare	inglobata	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI
035032_1_T5	035032_1	T5	REGGIOLO	7,5	7,5	21	quadrangolare	angolo	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO
035032_1_T6	035032_1	T6	REGGIOLO	10,5	10,5	34	quadrangolare	isolata					NO	SI	NO
035037_2_T1	035037_2	T1	SAN MARTINO IN RIO	9,5	8	23,7	quadrangolare	angolo	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO
037038_1_T1	037038_1	T1	CREVALCORE	6,4	3	16,36	quadrangolare	inglobata	NO	SI	SI		SI	SI	SI
037038_1_T2	037038_1	T2	CREVALCORE	13,75	9,42	35	quadrangolare	sporgente	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
037038_1_T1	037038_1	T1	MINERBIO	2,5	2,5		quadrangolare	inglobata	SI	SI			SI	SI	NO
037038_1_T2	037038_1	T2	MINERBIO	2	2		quadrangolare	angolo	NO	SI			SI	SI	NO
037038_1_T3	037038_1	T3	MINERBIO	2	2		quadrangolare	angolo	NO	SI			SI	SI	NO

037038_1_T4	037038_1	T4	MINERBIO	3	3,5		quadrangolare	sporgente	SI	SI			SI	SI	NO
037005_1_T1	037005_1	T1	BENTIVOGLIO	14	13	10	quadrangolare	isolata	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI
036012_5_T1	036012_5	T1	FINALE EMILIA	7	7	22	quadrangolare	angolo		SI	SI		SI	SI	NO
036012_5_T2	036012_5	T2	FINALE EMILIA	7	7,4	22	quadrangolare	angolo		SI	SI		SI	SI	NO
036012_5_T3	036012_5	T3	FINALE EMILIA	8,5	9	22	quadrangolare	angolo		SI	SI		SI	SI	NO
036012_5_T4	036012_5	T4	FINALE EMILIA	7	7	22	quadrangolare	angolo		SI	SI		SI	NO	NO
037038_4_T1	037038_4	T1	MINERBIO	4,7	4,85	16,3	quadrangolare	angolo	SI	SI	SI		NO	SI	NO
037038_4_T2	037038_4	T2	MINERBIO	4,8	4,8	13	quadrangolare	angolo	SI	SI	SI		NO	SI	NO
038003_883_T1	038003_883	T1	BONDENO	9	13,3		quadrangolare	angolo	NO	SI			NO	NO	NO
038003_883_T2	038003_883	T2	BONDENO	9	13,3		quadrangolare	angolo	NO	SI			NO	NO	NO
038003_883_T3	038003_883	T3	BONDENO	11,3	13,6	8,4	quadrangolare	isolato	NO	SI	SI		NO	NO	NO
035028_1_T1	035028_1	T1	NOVELLARA	14	6	37	quadrangolare	sporgente	SI	SI	SI		NO	NO	SI
037053_8_T1	037053_8	T1	SAN GIOVANNI IN PERSICETO	5,5	5,5	18,5	quadrangolare	angolo	NO	SI	SI		SI	SI	NO
037053_8_T2	037053_8	T2	SAN GIOVANNI IN PERSICETO	5,5	5,5	18,5	quadrangolare	angolo	NO	SI	SI		SI	SI	NO
037053_8_T3	037053_8	T3	SAN GIOVANNI IN PERSICETO	5,5	5,5	18,5	quadrangolare	angolo	NO	SI	SI		SI	SI	NO
037053_8_T4	037053_8	T4	SAN GIOVANNI IN PERSICETO	5,5	5,5	18,5	quadrangolare	angolo	SI	SI	SI		SI	SI	NO
037053_8_T5	037053_8	T5	SAN GIOVANNI IN PERSICETO				quadrangolare	angolo					SI	SI	NO
036012_13_T1	036012_13	T1	FINALE EMILIA				circolare	angolo					SI	SI	NO
036012_13_T2	036012_13	T2	FINALE EMILIA				circolare	angolo					SI	SI	NO
036012_13_T3	036012_13	T3	FINALE EMILIA				circolare	angolo					SI	SI	NO
036039_1_T1	036039_1	T1	SAN PROSPERO				quadrangolare	angolo		SI			NO	NO	NO
036039_1_T2	036039_1	T2	SAN PROSPERO				quadrangolare	angolo		SI			NO	NO	NO
037024_4_T1	037024_4	T1	CREVALCORE				quadrangolare	angolo		SI			SI	NO	NO
037024_4_T1	037024_4	T1	CREVALCORE				quadrangolare	sporgente		SI			NO	NO	SI
037024_8_T2	037024_8	T2	CREVALCORE				quadrangolare	sporgente		SI			SI	NO	SI

ID_torri	comune	pgv_max	pga_max	psa03_max	psa10_max	psa30_max	M10-11	M12-13	M14	M18	M19	M21	M22	M24	M25	M29	M30	M31	M32	M33	M34-35	M36	M37	d	n	ld
037048_8_T1	PIEVE DI CENTO	12	0,12	0,40	0,12	0,02	0	0	NA	NA	4	NA	1	0	0	0	3	0	NA	NA	NA	0	0	8	8	0,2
038008_313_T1	FERRARA	8	0,08	0,16	0,08	0,02	1		0	5	2	NA	1	0	0	2	2	2	NA	NA	3	3	0	19	10	0,38
038008_313_T2	FERRARA	8	0,08	0,16	0,08	0,02	1		NA	5	2	NA	1	0	0	2	2	2	NA	NA	3	3	0	19	9	0,4222222222
038008_313_T3	FERRARA	8	0,08	0,16	0,08	0,02	4		0	3	2	NA	1	0	0	2	3	2	NA	NA	3	2	0	20	10	0,4
038008_313_T4	FERRARA	8	0,08	0,16	0,08	0,02	1		0	3	2	NA	1	0	0	2	3	2	NA	NA	3	2	0	17	10	0,34
038018_711_T1	POGGIO RENATICO	10	0,08	0,20	0,08	0,02	4	5	NA	NA	4	NA	0	5	5	5	5	0	5	5	5	5	5	34	9	0,7555555556
038004_23_T1	CENTO	14	0,12	0,44	0,16	0,04	0	0	0	4	3	NA	0	3	0	0	2	2	0	0	0	0	0	14	11	0,254545455
038004_23_T2	CENTO	14	0,12	0,44	0,16	0,04	0	0	NA	NA	1	NA	0	1	0	2	0	0	3	0	0	0	0	7	9	0,1555555556
038004_23_T3	CENTO	14	0,12	0,44	0,16	0,04	0	0	NA	NA	1	NA	0	1	0	0	2	2	3	0	0	1	2	11	9	0,2444444444
038004_23_T4	CENTO	14	0,12	0,44	0,16	0,04	0	0	NA	NA	1	NA	0	1	0	0	0	0	3	0	0	2	2	7	9	0,1555555556
038004_23_T5	CENTO	14	0,12	0,44	0,16	0,04	0	0	NA	NA	1	NA	0	1	0	0	2	2	4	0	3	1	2	15	9	0,3333333333
036037_3_T1	S. FELICE SUL PANARO	62	0,32	0,72	0,68	0,12	3	5	2	NA	5	NA	0	4	5	4	4	0	5	0	5	5	5	36	10	0,72
036037_3_T2	S. FELICE SUL PANARO	62	0,32	0,72	0,68	0,12	3	5	0	NA	5	NA	0	4	5	4	4	4	4	0	2	2	0	31	10	0,62
036037_3_T3	S. FELICE SUL PANARO	62	0,32	0,72	0,68	0,12	3	5	2	NA	5	NA	0	4	5	4	4	0	5	0	5	5	5	36	10	0,72
036037_3_T4	S. FELICE SUL PANARO	62	0,32	0,72	0,68	0,12	5	3	2	NA	5	NA	0	4	5	4	4	0	5	0	5	5	5	36	10	0,72
036037_3_T5	S. FELICE SUL PANARO	62	0,32	0,72	0,68	0,12	5	5	NA	NA	5	NA	0	4	5	5	5	0	5	0	5	5	5	35	9	0,7777777778
036044_1_T1	SOLIERA	8	0,12	0,28	0,08	0,04	0	2	NA	3	1	2	0	0	0	3	2	3	NA	NA	NA	3	0	17	9	0,3777777778
036044_1_T2	SOLIERA	8	0,12	0,28	0,08	0,04	0	2	NA	3	0	NA	0	0	1	0	3	3	NA	NA	0	3	0	15	9	0,3333333333
036022_12-13_T1	MIRANDOLA	50	0,28	0,68	0,56	0,12	0	0	0	5	0	NA	0	0	0	2	2	2	2	0	2	2	0	15	11	0,272727273
036005_20_T1	CARPI	18	0,12	0,32	0,12	0,02	2	3	0	5	0	NA	0	0	0	0	2	3	0	5	NA	0	0	18	10	0,36
036005_20_T2	CARPI	18	0,12	0,32	0,12	0,02	2	2	NA	0	0	NA	0	0	0	3	2	3	NA	NA	NA	0	0	8	8	0,2
036005_20_T3	CARPI	18	0,12	0,32	0,12	0,02	3	3	NA	NA	0	NA	0	0	5	0	0	3	0	5	NA	0	0	16	8	0,4
036040_3_T1	SASSUOLO	2	0,04	0,08	0,04	0,02	NA	NA	NA	NA	0	NA	3	0	0	3	3	3	NA	NA	NA	1	0	10	6	0,3333333333
035032_1_T1	REGGIOLO	20	0,12	0,36	0,08	0,02	NA	NA	NA	NA	2	NA	0	0	0	0	3	3	0	4	NA	NA	NA	12	6	0,4
035032_1_T2	REGGIOLO	20	0,12	0,36	0,08	0,02	NA	NA	NA	NA	2	NA	0	0	0	0	3	0	0	4	NA	NA	NA	9	6	0,3
035032_1_T3	REGGIOLO	20	0,12	0,36	0,08	0,02	NA	NA	NA	NA	2	NA	0	0	0	2	3	3	0	4	NA	NA	NA	12	6	0,4
035032_1_T4	REGGIOLO	20	0,12	0,36	0,08	0,02	NA	NA	NA	NA	2	NA	0	0	0	0	3	0	0	4	NA	NA	NA	9	6	0,3
035032_1_T5	REGGIOLO	20	0,12	0,36	0,08	0,02	NA	NA	NA	NA	2	NA	0	0	0	0	3	3	0	4	NA	NA	NA	12	6	0,4
035032_1_T6	REGGIOLO	20	0,12	0,36	0,08	0,02	0	0		NA	2	NA	0	0	0	0	0	0	0	4	NA	NA	NA	6	8	0,15
035037_2_T1	SAN MARTINO IN RIO	6	0,08	0,16	0,08	0,02	2	2		NA	2	NA	0	0	0	0	2	0	0	2	0	NA	NA	8	9	0,1777777778
037038_1_T1	CREVALCORE	24	0,16	0,52	0,20	0,04	5	5	NA	NA	0	NA	0	3	3	3	3	3	0	5	4	3	0	26	9	0,5777777778

037038_1_T2	CREVALCORE	24	0,16	0,52	0,20	0,04	5	4		5	0	NA	0	5	5	3	4	2	0	5	5	5	0	36	11	0,654545455	
037038_1_T1	MINERBIO	6	0,04	0,12	0,04	0,02	0	0	3	0	0	NA	0	0	0	0	0	0	0	3	0	NA	NA	6	10	0,12	
037038_1_T2	MINERBIO	6	0,04	0,12	0,04	0,02	0	0	NA	NA	0	NA	0	0	0	0	0	2	0	3	0	NA	NA	5	8	0,125	
037038_1_T3	MINERBIO	6	0,04	0,12	0,04	0,02	0	0		NA	0	NA	0	0	0	0	0	0	3	0	1	NA	4	9	0,088888889		
037038_1_T4	MINERBIO	6	0,04	0,12	0,04	0,02	0	0	3	NA	0	NA	0	0	0	0	0	0	3	0	NA	NA	6	9	0,133333333		
037005_1_T1	BENTIVOGLIO	6	0,08	0,16	0,08	0,02	0	2	0	NA	1	NA	0	0	0	0	0	0	2	NA	0	0	5	9	0,111111111		
036012_5_T1	FINALE EMILIA	34	0,22	0,48	0,28	0,04	5			NA	3	NA	0	2	2	0	0	0	3	0	3	3	0	19	10	0,38	
036012_5_T2	FINALE EMILIA	34	0,22	0,48	0,28	0,04	5			NA	3	NA	0	2	2	0	0	0	4	0	3	3	0	20	10	0,4	
036012_5_T3	FINALE EMILIA	34	0,22	0,48	0,28	0,04	5			NA	3	NA	0	2	2	3	4	4	5	5	5	5	0	33	10	0,66	
036012_5_T4	FINALE EMILIA	34	0,22	0,48	0,28	0,04	5	5		5	5	NA	0	5	5	5	5	5		5	5	5	5	40	11	0,727272727	
037038_4_T1	MINERBIO	6	0,04	0,12	0,04	0,02	0	0		2	3	NA	0	1	0	3	0	2	0	0	0	0	0	11	11	0,2	
037038_4_T2	MINERBIO	6	0,04	0,12	0,04	0,02	0	0		2	3	NA	0	1	0	3	0	2	0	0	0	0	0	11	11	0,2	
038003_883_T1	BONDENO	24	0,16	0,36	0,04	0,04	0	0	NA	NA			0			0	0	1	1	0	NA	1	1	3	9	0,066666667	
038003_883_T2	BONDENO	24	0,16	0,36	0,04	0,04	0	0	NA	NA			0			0	0	1	1	0	NA	1	1	3	9	0,066666667	
038003_883_T3	BONDENO	24	0,16	0,36	0,04	0,04	0	2		NA			0			4	3	3	NA	NA	NA	0	0	9	9	0,2	
035028_1_T1	NOVELLARA	4	0,08	0,16	0,04	0,02	0	0	0	0	2	NA	0	0	0	1	0	0	NA	NA	NA	0	0	3	9	0,066666667	
037053_8_T1	SAN GIOVANNI IN PERSICETO	14	0,16	0,44	0,16	0,04	1	3	3	NA	3	NA	0	0	0	0	3	3	0	5	2	1	0	23	10	0,46	
037053_8_T2	SAN GIOVANNI IN PERSICETO	14	0,16	0,44	0,16	0,04	1	3	NA	NA	3	NA	0	0	0	0	3	3	0	5	0	0	0	17	9	0,377777778	
037053_8_T3	SAN GIOVANNI IN PERSICETO	14	0,16	0,44	0,16	0,04	1	3	NA	NA	3	NA	0	0	0	0	3	3	0	5	0	3	0	20	9	0,444444444	
037053_8_T4	SAN GIOVANNI IN PERSICETO	14	0,16	0,44	0,16	0,04	1	3	NA	NA	3	NA	0	0	0	0	3	3	0	0	3	3	0	18	9	0,4	
037053_8_T5	SAN GIOVANNI IN PERSICETO	14	0,16	0,44	0,16	0,04				4	3	NA	0	0	0	0	0	0	5	2	0	0	14	11	0,254545455		
036012_13_T1	FINALE EMILIA	62	0,24	0,60	0,68	0,08	0	0	0	NA			3			4	0	0	0	5	0	0	0	12	11	0,218181818	
036012_13_T2	FINALE EMILIA	62	0,24	0,60	0,68	0,08	0	0	0	NA			3			4	0	0	0	5	0	0	0	12	11	0,218181818	
036012_13_T3	FINALE EMILIA	62	0,24	0,60	0,68	0,08	0	0	0	NA			0			4	0	0	0	5	0	0	0	9	11	0,163636364	
036039_1_T1	SAN PROSPERO	30	0,20	0,40	0,40	0,04	NA	NA	NA	5	0	0	0	0	0	0	4	4	NA	NA	NA	3	0	16	8	0,4	
036039_1_T2	SAN PROSPERO	30	0,20	0,40	0,40	0,04	NA	NA	NA	5	0	0	0	0	0	0	4	4	NA	NA	NA	3	0	16	8	0,4	
037024_4_T1	CREVALCORE	24	0,20	0,44	0,20	0,02	NA	NA	NA	NA	2	3	0	0	0	0	0	3	NA	NA	3	4	0	15	8	0,375	
037024_4_T1	CREVALCORE	24	0,20	0,44	0,20	0,02	NA	NA	NA	NA	0	NA	0	0	0	0	2	NA	NA	NA	NA	5	5	7	5	0,28	
037024_8_T2	CREVALCORE	24	0,20	0,60	0,24	0,02	NA	NA	NA	5	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	11	10	0,22

TABELLA ATTRIBUTI CASTELLI DI PARMA

codice	nome	comune	PGA (g)	mslm	Palazzo	Torri	Disposiz_torre	Mura	Merli	M_svet	Beccatelli	Garitta	Torrette	Loggia	Fossato	Altri_corpi	Materiale	Rudere	Forma	Sito
034002_1	Antico Castello, detto Rocca di Bardi	BARDI	0,1805	625	SI	3	angolo, sporgente	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	pietra squadrata	NO	corde	Su rilievo
034002_10	Castello (resti) di Gravago	BARDI	0,1913	625														SI		
034003_1	Castello di Montarsiccio	BEDONIA	0,1834	500														SI		
034004_13	Forte di Berceto	BERCETO	0,1911	808	NO			SI									pietra squadrata	SI		In pendio
034004_4	Avanzi del Castello di Berceto	BERCETO	0,1909	808	NO	5	angolo										pietra squadrata	SI		Su rilievo
034004_5	Avanzi del Castello di Pietramogolana	BERCETO	0,1683	808	NO												pietra squadrata	SI		Su rilievo
034007_4	Castello e Torre dell' Orologio	BUSSETO	0,1160	40	SI	4	angolo; sporgente	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	laterizi	NO	corde	In piano
034008_1	I ruderi del Castello di Vigolone	CALESTANO	0,1609	417														SI		
034008_2	Castello di Ravarano	CALESTANO	0,1630	417	SI	1	sporgente	NO	NO		NO	NO	NO	NO	NO	SI	pietra squadrata	NO	irregolare	In pendio
034011_1	Castello di Compiano	COMPIANO	0,1967	519	SI	4	angolo	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	pietra squadrata	NO	corde	Su rilievo
034012_2	Castello di Corniglio	CORNIGLIO	0,1905	690	SI	0		NO	NO		NO	NO	SI	NO	NO	SI	pietra sbozzata	NO	L, irregolare	In pendio
034012_8	Rocca di Bosco	CORNIGLIO	0,1995	690													pietra squadrata	SI		Su rilievo
034013_3	Castello di Felino	FELINO	0,1565	185	SI	3	angolo; sporgente	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	NO	mista (sassi-laterizi)	NO	corde	In pendio
034015_2	Rocca Sanvitale	FONTANELLATO	0,1394	45	SI	1	sporgente	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	laterizi	NO	corde	In piano
034018_3	Castello di Torrechiara	LANGHIRANO	0,1568	265	SI	6	angolo; sporgente	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	NO	NO	mista (sassi-laterizi)	NO	corde	Su rilievo
034020_1	Castello di Varano Marchesi	MEDESANO	0,1562	136	NO	0		SI	NO		NO	NO	NO	NO	NO	NO	pietra squadrata	SI		Su rilievo

034020_2	Avanzi del Castello di Roccalanzona	MEDESANO	0,1570	136	NO	0		SI	NO		NO	NO	NO	NO	NO	NO	mista (sassi-laterizi)	SI		Su rilievo
034023_01	Castello	MONTECHIARUGOLO	0,1553	128	SI	1	inglobata	SI	SI	NO	SI	NO	NO	SI	SI	NO	laterizi	NO	corte	Su rilievo
034025_1	Castello di Costamezzana	NOCETO	0,1554	76	NO	1	isolata	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	mista (sassi-laterizi)	NO	quadrata	In pendio
034025_3	Castello	NOCETO	0,1523	76	SI	1	sporgente	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	NO	NO	laterizi	NO	corte	In piano
034025_4	Rocca di Castelguelfo	NOCETO	0,1488	76	SI	4	angolo; sporgente	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	NO	NO	mista (sassi-laterizi)	NO	corte	In piano
034027_126	Rocca di Panocchia	PARMA	0,1565	57	SI	2	angolo	NO	NO		SI	NO	SI	SI	NO	SI	mista (sassi-laterizi)	NO	C	In piano
034027_57	Avanzi del Castello o Cittadella	PARMA	0,1438	57	NO	0		SI	NO		NO	NO	NO	NO	SI	NO	laterizi	NO	stella	In piano
034027_84	Torrione di Baganzola	PARMA	0,1268	57	NO	1	isolata	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	laterizi	NO	quadrata	In piano
034028_1	Avanzi del Castello presso Grotta	PELEGRINO PARMENSE	0,1510	410														SI		
034028_3	Castello di Careno	PELEGRINO PARMENSE	0,1560	410	SI	1	sporgente	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	mista (sassi-laterizi)	NO	quadrata	Su rilievo
034029_1	Avanzi della Rocca	POLESINE ZIBELLO	0,0982	35	SI	2	angolo	NO	NO		NO	NO	NO	NO	NO	NO	laterizi	NO	L	In piano
034030_1	Castello	ROCCABIANCA	0,0894	32	SI	1	sporgente	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	NO	laterizi	NO	corte	In piano
034031_10	Rocca di San Vitale Baganza	SALA BAGANZA	0,1569	162	SI	1	angolo	NO	SI	NO	NO	NO	SI	NO	NO	SI	sasso	NO	irregolare	In pendio
034031_11	Antico Castello di Segalara	SALA BAGANZA	0,1562	162	SI	0		NO	NO		NO	NO	SI	SI	NO	SI	mista (sassi-laterizi)	NO	C	In pendio
034031_5a	Rocca di S. Lorenzo e giardino	SALA BAGANZA	0,1561	162	SI	1	angolo	SI	NO		SI	NO	NO	SI	SI	NO	mista (sassi-laterizi)	NO	corte	In pendio
034032_2	Castello di Bargone	SALSOMAGGIORE TERME	0,1539	157	SI	1	inglobata	NO	NO		SI	NO	NO		NO	NO	laterizi	NO	corte	Su rilievo

034032_3	Castello di Scipione	SALSOMAGGIORE TERME	0,1507	157	SI	1	angolo	SI	NO		NO	NO	NO	SI	NO	SI	mista (sassi-laterizi)	NO	L	Su rilievo
034032_4	Castello di Tabiano e pertinenze	SALSOMAGGIORE TERME	0,1551	157	SI	1	inglobata	NO	SI	SI	NO	NO	NO	SI	NO	SI	mista (sassi-laterizi)	NO	C	Su rilievo
034032_6	Castello di Gallinella	SALSOMAGGIORE TERME	0,1542	157	SI	1	sporgente	SI	NO		SI	NO	NO	NO	NO	NO	pietra squadrata	NO	corte	In pendio
034033_04	Rocca dei Rossi	SAN SECONDO PARMENSE	0,1163	38	SI	1	isolata	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	NO	SI	laterizi	NO	corte	In piano
034034_1	Rocca	SISSA TRECASALI	0,0967	33	SI	1	inglobata	NO	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO	SI	laterizi	NO	corte	In piano
034035_02	Avanzi del Castello di Oriano	SOLIGNANO	0,1595	232	NO	0		SI	NO		NO	NO	NO	NO	NO	NO		SI		Su rilievo
034035_03	Avanzi del Castello di Specchio	SOLIGNANO	0,1609	232	NO	0		SI	NO		NO	NO	NO	NO	NO	NO		SI		Su rilievo
034035_04	Avanzi del Castello di Solignano	SOLIGNANO	0,1618	232	NO	0		SI	NO		NO	NO	NO	NO	NO	NO		SI		Su rilievo
034036_01	Castello Meli - Lupi	SORAGNA	0,1310	47	SI	4	angolo	NO	NO		NO	NO	NO	NO	SI	NO	laterizi	NO	corte	In piano
034039_04	Avanzi del Castello	TIZZANO VAL PARMA	0,1626	814													pietra squadrata	SI		Su rilievo
034042_1	Avanzi del Castello	TRAVERSETOLO	0,1576	176	NO	1	isolata	NO	NO		NO	NO	NO	NO	NO	NO	pietra squadrata	SI		In piano
034044_1	Castello di Pieve di Gusaliggio	VALMOZZOLA	0,1871	565													pietra squadrata	SI	rudere	Su rilievo
034045_01	Castello	VARANO DE' MELEGARI	0,1577	190	SI	4	angolo; sporgente	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO	NO	mista (sassi-laterizi)	NO	corte	In pendio
034046_01	Castello di Varsi	VARSÌ	0,1617	412	SI	2	isolata, sporgente	SI	NO		NO	NO	NO	NO	NO	SI	pietra sbozzata	NO	L	In pendio
034046_2	Castello di Roccavarsi	VARSÌ	0,1660	412													pietra sbozzata	SI		Su rilievo