



Università Politecnica delle Marche
Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea magistrale in Ingegneria Edile - Architettura

Architetture fortificate: processi evolutivi, tecniche costruttive
e vulnerabilità.

Il caso studio della Rocca di Gradara
Parte 1

Fortified architectures: evolutionary processes, building
techniques and vulnerability.

The case study of Gradara's Fortress
Part 1

Relatore: Chiar.mo
Prof. Enrico Quagliarini

Tesi di Laurea di:
Ilaria Patrizi

A.A. 2020/2021

INDICE

INDICE.....	3
ELENCO DEGLI ALLEGATI.....	7
INTRODUZIONE	8
CAPITOLO 1 STATO DELL'ARTE	10
1.1 L'architettura fortificata	10
1.1.1 L'evoluzione dell'organismo fortificato	11
1.2 Ricerca scientifica sulle architetture fortificate.....	26
1.2.1 Metodo di ricerca	26
1.2.2 Classificazione geografica.....	28
1.2.3 I materiali nella storia	31
1.2.3.1 Database Blocchi.....	31
1.2.3.2 Database Malte.....	34
1.2.3.3 Tipologie di murature.....	37
1.2.4 Vulnerabilità sismica e meccanismi di danno.....	39
1.2.4.1 Principali meccanismi di danno nelle torri	40
1.2.4.2 Principali meccanismi di danno nelle mura e nei complementi difensivi.....	49
1.2.4.3 Principali meccanismi di danno negli edifici interni alla fortificazione	52
1.2.4.4 Abaco unito dei meccanismi di collasso delle architetture fortificate	57
1.2.4.5 Rilevazione danni nelle architetture fortificate nei recenti sismi	58
1.2.5 Efficacia degli interventi moderni	65
1.3 Il caso di studio: la Rocca di Gradara.....	76
1.3.1 Rilievo Geometrico.....	79
1.3.2 Evoluzione storica e tipologico-costruttiva della Rocca	80

1.3.2.1 Fase 1 - Dal "Periodo Romano" al Periodo dei "De Griffo".....	80
1.3.2.2 Fase 2 - "Prima Fase Malatestiana", Giovanni Malatesta	86
1.3.2.3 Fase 3 - "Seconda Fase Malatestiana"	93
1.3.2.4 Fase 4 - "Terza Fase Malatestiana", Sigismondo Malatesta.....	99
1.3.2.5 Fase 5 - "Periodo Sforzesco"	106
1.3.2.6 Fase 6 - Dal Periodo dei Della Rovere al restauro di Zanvettori .	112
1.3.2.7 <i>La Rocca fino ai giorni d'oggi</i>	120
1.3.3 Confronto della Rocca Demaniale di Gradara con altre Rocche	
Malatestiane	127
CAPITOLO 2 FASI E METODI	129
2.1 Fasi	129
2.1.1 Controllo del rilievo geometrico	129
2.1.2 Divisione in macrozone e macroelementi con relativa nomenclatura	130
2.1.3 Rilievo fotografico.....	136
2.1.4 Fotoraddrizzamento.....	137
2.1.5 Compilazione schede speditive di analisi tecnologica-costruttiva	138
2.1.6 Analisi delle murature attraverso la compilazione delle informazioni	
quantitative.....	144
2.1.6.1 Analisi dell'Indice di Qualità Muraria (IQM)	144
2.1.6.2 Blocchi: caratterizzazione tipologica e analisi dimensionale.....	150
2.1.6.3 Malta: individuazione tipologica e conservativa.....	152
2.1.6.4 Tessitura: analisi e catalogazione.....	153
2.1.6.5 Apparecchiatura: rilievo in situ delle sezioni aperte	154
2.1.6.6 Conservazione: analisi del degrado.....	154
2.1.6.7 Dissesti: analisi del quadro fessurativo	156
2.1.6.8 Interventi: individuazione e classificazione	156
2.2 Metodi	158
2.2.1 Rilievo della qualità muraria: adattamento del metodo "metro quadro"	
all'intero paramento.....	158
2.2.1.1 Metodologia di confronto dei parametri meccanici dell'IQM con	
quelli da normativa (NTC18)	161
2.2.2 Blocchi.....	164
2.2.2.1 Metodo I "Ortostati-Diatoni"	164
2.2.2.2 Metodo II "Combinatorio"	173
2.2.3 Dissesti	180
2.2.3.1 "Metodo Comparativo"	181

CAPITOLO 3 RISULTATI E DISCUSSIONE.....	186
3.1 Risultati schede speditive	186
3.1.1 Tipologia.....	186
3.1.2 Indice di qualità muraria.....	186
3.1.3 Geometrico	186
3.1.4 Fase storica.....	186
3.1.5 Blocchi.....	186
3.1.6 Malta.....	186
3.1.7 Tessitura	186
3.1.8 Apparecchiatura	186
3.1.9 Stato di conservazione.....	186
3.1.10 Dissesti	186
3.1.11 Interventi.....	186
3.2 Risultati sperimentali	186
3.2.1 Confronto parametri meccanici IQM e NTC18.....	186
3.2.2 Risultati analisi delle dimensioni dei blocchi.....	186
3.2.2.1 Risultati metodo "Ortostati-Diatoni"	186
3.2.2.2 Ipotesi tecnologico-costruttive.....	186
3.2.2.3 Risultati metodo "Combinatorio"	186
3.2.3 Risultati analisi delle apparecchiature	186
3.2.4 Risultati analisi del quadro fessurativo	186
3.2.4.1 Risultati metodo "Comparativo"	186
3.2.4.2 Risultati analisi dei meccanismi di danno	186
3.2.5 Ipotesi evolutive e storico costruttive del mastio.....	186
3.2.6 Proposte di carotaggi e prove endoscopiche	186
CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI	187
BIBLIOGRAFIA	187
INDICE DELLE FIGURE.....	195

INDICE DELLE TABELLE	201
INDICE DEI GRAFICI.....	204
RINGRAZIAMENTI	205

ELENCO DEGLI ALLEGATI

PARTE 1

Allegato 1 - Rilievo geometrico

Allegato 2 - Rilievo fotografico

Allegato 3 - Guida alla compilazione della scheda speditiva

INTRODUZIONE

Il presente lavoro si inserisce all'interno di uno studio bandito e finanziato dalla Direzione generale Musei del Ministero per i beni e le attività culturali e per il turismo (MIBACT) per *"lo studio del comportamento strutturale e analisi dello stato di conservazione, del degrado e dei dissesti"* della Rocca Demaniale di Gradara (PU), al quale hanno preso parte gruppi di lavoro dell'Università Politecnica delle Marche insieme agli altri poli universitari marchigiani quali UNIMC, UNICAM e UNIURB. Tali gruppi contribuiscono ad un approfondimento della conoscenza di questo manufatto che costituisce per il territorio regionale e nazionale un rilevante esempio di architettura fortificata.

Questa tesi, pensata per approfondire lo studio della muratura presente nella Rocca di Gradara, vuole chiarire innanzitutto gli aspetti principali che caratterizzano le tipologie architettoniche come del caso in questione, ovvero i manufatti fortificati, declinandoli nei diversi aspetti storici e tecnici, incluse anche le vulnerabilità frequentemente riscontrabili. Successivamente si procede inquadrando lo stato dell'arte del caso studio, dedotto grazie ai sopralluoghi effettuati e agli approfondimenti manualistici e di archivio e si prosegue poi scendendo nel dettaglio tecnico e delineando le fasi e i metodi necessari ad esaminare tutti gli aspetti relativi alla muratura storica, quali: la qualità muraria, gli elementi resistenti, la malta, l'apparecchiatura, la tessitura, il dissesto, il degrado e gli interventi. Si vuole infine unire tutte le singole analisi e i relativi risultati per dedurre di conseguenza ulteriori informazioni sul manufatto e per creare una base conoscitiva del manufatto concentrata sugli aspetti materici, tecnologici, costruttivi, di vulnerabilità e meccanismi di danno, andandone a ricercare le cause specifiche, quando possibile.

Con tale lavoro si intende perciò studiare e comprendere le tecniche, la storia, le funzioni e le specificità tecniche di un caso studio specifico all'interno di un contesto molto ampio, ma che può costituire un tassello per la comprensione, la

conservazione e il riuso di questi beni architettonici e ingegneristici che sono radicati nei territori nazionali, regionali e comunali e che costituiscono una fondamentale traccia della storia di una società. L'approccio di studio segue quanto riporta il bando stesso dove, a conferma dell'importanza della fase di conoscenza, si specifica che:

“La fase della conoscenza è di fondamentale importanza per qualsiasi progetto che riguardi il costruito storico, poiché ne determina la qualità e l'efficacia. Non deve mai, pertanto, essere compressa nei tempi e nell'impegno anche economico, come spesso avviene. Un'approfondita conoscenza del manufatto consente spesso, peraltro, risparmi nel contenimento degli interventi strutturali. Le indagini preliminari costituiscono esse stesse attività progettuale in quanto indirizzano il progetto e ne sono a loro volta indirizzate e devono quindi accompagnare l'attività ideativa dell'intervento. Per questo motivo è auspicabile che vengano effettuate dai progettisti stessi o comunque in stretta relazione con essi.

Le indagini devono analizzare il sito, il manufatto, la tecnica costruttiva, la struttura, gli impianti e il degrado.” [1].

Capitolo 1

STATO DELL'ARTE

1.1 L'architettura fortificata

Quello dell'architettura fortificata è un tema estremamente vasto, che comprende una tipologia di manufatti con caratteristiche autonome rispetto alle canoniche costruzioni civili, sia per la diversa destinazione d'uso e il diverso ruolo civile che hanno ricoperto sia per la vocazione ad essere sistemi di vita autonomi capaci di sintetizzare al loro interno tutte le funzioni proprie degli agglomerati cittadini; per tale motivo in questa prima parte si intende individuare le caratteristiche e i principali aspetti che descrivono questa tipologia architettonica. La nascita delle fortificazioni ha un'origine prettamente difensiva, infatti tali elementi venivano eretti per difendere città o territori da attacchi esterni, ma nel contempo hanno sempre svolto anche ruoli sociali, politici e amministrativi diventando dei punti di riferimento per le aree circostanti e imprimendo su di esse modifiche che sono rimaste visibili nel territorio e nel tessuto urbano anche dopo la loro distruzione o caduta militare. Le caratteristiche compositive delle fortificazioni sono state fortemente influenzate dagli aspetti geografici e regionali, perciò è spesso difficoltoso confrontare in maniera appropriata manufatti militari lontani date le loro differenze materiche e tecnologiche; queste caratteristiche hanno inoltre subito un forte cambiamento dovuto al necessario adattamento delle strutture difensive all'evolversi nei secoli dei sistemi offensivi via via più aggressivi ed invasivi. In un secondo momento la maggior parte dei sistemi fortificati ha perso l'originaria funzione militare adattandosi a residenza e assumendo un ruolo sempre più politico radicato nel territorio. Nella sezione seguente (§1.1.1) verranno analizzate le caratteristiche tipologiche ed architettoniche che descrivono l'evoluzione dei manufatti fortificati, ma prima si ritiene necessario riportare alcune tra le principali

fasi storiche e politiche che hanno caratterizzato la castellologia italiana e descritte nel testo di Ramelli [2]:

XII sec - Affermazione dei Comuni: prime grandi cinte murate e inizi della nuova urbanistica caratterizzata dalla difesa permanente militare

XIII sec - Trapianto della nobiltà dentro il centro comunale: avvento delle torri nobiliari cittadine e delle case torri. Nascita del concetto di rocca come fortificazione con permanenza esclusiva o quasi di forze armate

XIV sec - Ritorno al contado: avvento del castello feudale legato alle risorse agricole

XV sec - Trasformazione del Castello-Palazzo cittadino nella residenza del Signore

XVI sec - Nascita dei castelli minori legati a scacchiera o a catena che tengono un territorio e si integrano vicendevolmente

La perdita della funzione militare originaria in molti casi ha causato l'abbandono e il disuso di questi manufatti e nel tempo ne ha provocato un forte degrado, che oggi si traduce nella grande quantità di patrimonio storico in pessimo stato di conservazione che necessita di essere studiato e approfondito.

1.1.1 *L'evoluzione dell'organismo fortificato*

Si intende analizzare in questa sede l'evoluzione storica e compositiva delle fortificazioni, per conoscerne le parti principali che le costituiscono e le loro modificazioni subite nei secoli. Per poter comprendere questi manufatti è necessario innanzitutto specificare la loro principale funzione, ovvero quella di essere prima di tutto degli elementi difensivi, che nel tempo si sono adattati anche tipologicamente ai sistemi di attacco proposti. Nella seguente descrizione evolutiva e costruttiva bisogna inoltre considerare le peculiarità territoriali che influiscono non poco nella realizzazione di questi manufatti a livello materico, compositivo e tecnologico, elementi che vanno poi a caratterizzare i singoli casi studio.

È possibile creare una linea del tempo che va dal X al XV secolo per sintetizzare le principali fasi che hanno caratterizzato l'evoluzione delle fortificazioni.

X secolo: in questo secolo si assiste all'inizio del fenomeno dell'incastellamento. Le strutture fortificate primordiali tentavano di svilupparsi su porzioni di territorio naturalmente forti, come monti e rupi ma, come nel caso delle strutture emiliane, questo non era sempre possibile dato il territorio pianeggiante [3]. In primo luogo avveniva il recupero delle fortificazioni romane superstiti sulle quali si sarebbero erette successivamente le parti di nuova concezione [4]; questo fenomeno, secondo qualche ipotesi, potrebbe essere avvenuto anche nel caso studio della Rocca Demaniale di Gradara, in particolar modo nella parte relativa al mastio, ma si rimanda alla descrizione approfondita dello stesso nella prossima sezione. Inoltre in questo periodo la funzione abitativa era integrata direttamente nei locali adibiti ad uso militare.

Si riporta a titolo esemplificativo, nella Figura 1.1 il caso della Rocca di Castel Pagano in provincia di Foggia.



Figura 1.1 - Rocca di Castel Pagano (FG). Fonte [68]

XII secolo: qui sono documentate le prime costruzioni di fortificazioni in muratura, spesso accompagnate anche dalla presenza di un fossato semplice il quale poteva essere asciutto, allagato o allagabile sulla base della protezione desiderata. Già in questa fase è possibile trovare una indipendenza volumetrica della funzione residenziale attraverso l'inserimento del palatium [4]. I recinti difensivi

comprendevano spesso anche una torre centrale, elemento di avvistamento e segnalazione che dominava il complesso difensivo, solitamente più piccola rispetto alle altre torri presenti e con un ingresso rialzato dal suolo. A differenza delle torri difficilmente sono riscontrabili tracce delle antiche cinte difensive, e questo fa immaginare come queste erano probabilmente costruite di fretta, attraverso l'utilizzo di materiali degradabili e senza prestare attenzione alla posa in opera [3].

XIII secolo: l'arte fortificatoria in questo secolo è ai suoi massimi livelli e si possono distinguere in maniera decisa tutti i tratti distintivi del manufatto fortificato, ormai maturi. Questi sono la cinta muraria e le torri, elementi chiamati a dare altezza alla struttura, così da creare un vincolo forte allo scavalco dei nemici, principale metodo offensivo utilizzato; per tale motivo in questo stadio le cortine murarie non necessitavano di importanti spessori, i quali in questo periodo risultano infatti contenuti; conseguentemente a questo innalzamento, il fossato perde di importanza come elemento difensivo. In ultimo l'ingresso viene riportato al livello del suolo e protetto da ponti levatoi, androni e saracinesche, a differenza dei periodi antecedenti dove l'ingresso era posto in quota. [4]

Di seguito (Figura 1.2) si evidenzia la cinta muraria del Castello di Gradara, fortificazione che incarna il periodo della maturità di tali manufatti.



Figura 1.2 - Cinta esterna del Castello di Gradara. Fonte [5]

XIV secolo: a livello evolutivo in questa fase non vengono registrate importanti novità e si definisce per questo una "stasi apparente". Si tende principalmente ad accentuare i caratteri residenziali, considerati fondamentali per l'immagine esterna e per gli aspetti di confortevolezza. È importante sottolineare in questo periodo l'introduzione dell'arma da fuoco, che cambia totalmente i connotati dei sistemi di offesa e che costringe così anche le architetture fortificate ad adattarsi; questo adattamento avviene attraverso due principali sistemi: la riduzione progressiva dell'altezza delle strutture e soprattutto il graduale aumento degli spessori murari che si trasformano così da ostacolo da scavalcare ad ostacolo da abbattere. Questo inspessimento murario avviene nel tempo andando ad adattare gli elementi esistenti e compiendo un'operazione di aggiunta, così come avviene anche nella Rocca presa in esame per questa tesi. Dato l'abbassamento delle strutture, per ridurre ulteriormente l'effetto dell'artiglieria, viene riutilizzato il sistema del fossato. Gli edifici interni a carattere residenziale, come il palatium, modificano i propri connotati crescendo in altezza ed assumendo conformazioni planimetriche più complesse. Allo stesso modo diventa più articolato anche il sistema di protezione dell'ingresso che prevede l'inserimento di nuove strutture anteposte alle fortificazioni. [4]

XV secolo: l'architettura fortificata di questo periodo viene chiamata "della Transizione", dal momento in cui vengono sperimentate nuove soluzioni di difesa statica per contrastare un'efficacia sempre più visibile delle armi da fuoco e una maggiore esperienza del nemico. [4]

"Nella seconda metà del XV secolo l'Italia si porta all'avanguardia della tecnica fortificatoria. Appare un effimero - dal 1460 al 1500 circa - "stato di equilibrio transitorio" col tipo della rocca.

Contemporaneamente inizia la divaricazione tra le funzioni residenziale e difensiva: palazzo e rocca [...] non costituiranno più un unico complesso edilizio" [5].

Nasce così il concetto moderno di "Rocca", ovvero un manufatto adibito quasi esclusivamente a scopi militari, nonostante poi nella realtà dei casi studio anche la funzione residenziale assuma un ruolo fondamentale.

Insieme all'evoluzione generale delle rocche è utile concentrarsi anche sulle singole componenti che le costituiscono e che, insieme all'intero organismo, si sono trasformate nel tempo sia costruttivamente che tecnologicamente. Si possono distinguere innanzitutto i "macroelementi primari" [4], ovvero tutte le principali strutture fisiche e spaziali che definiscono l'edificio fortificato, quali:

- Mastio
- Palatium
- Cinta muraria
- Torri
- Ingressi
- Fossato e ponte levatoio

In seconda battuta si aggiungono i complementi difensivi, quei componenti che identificano e costituiscono il corredo difensivo dei macroelementi primari sopra elencati. I principali sono:

- La merlatura
- Il cammino di ronda
- L'apparato a sporgere
- La scarpa muraria
- Le feritoie
- Le bombardiere

In questa sede verranno approfonditi solamente quei componenti che sono tecnologicamente rilevanti nella lettura di un manufatto quali il mastio, il palatium, le torri, l'apparato a sporgere, la merlatura e la scarpa muraria.

Mastio: il primo macroelemento a cui porre attenzione è il mastio, *"l'elemento più alto, più massiccio, più solido e più munito di tutto lo spazio difensivo"* [4]. Questa tipologia di torre nasce e si afferma nel X secolo ed è molto diffusa in numerose rocche medioevali; inizialmente la sua funzione è analoga a quella di una

semplice torre, ma nel tempo diventa un vero e proprio rifugio ultimo in caso di assedio, dotato di tutti gli elementi per essere indipendente rispetto al resto delle volumetrie presenti. Associato ad una cinta muraria, ha delle caratteristiche generiche che sono facilmente riscontrabili e lo possono definire come un elemento tipologico a sé stante. Esso è infatti solitamente caratterizzato da una pianta quadrilatera, circolare o poligonale e ha un'articolazione su più livelli comunicanti tra loro attraverso botole o scale, il tutto attraverso un'organizzazione interna molto semplice. Solitamente al piano più alto trovava spazio l'alloggio del castellano e nella quota più bassa era spesso ubicata una riserva d'acqua, di viveri e di munizioni [3], come mostrato in Figura 1.4 e Figura 1.5. Un'altra importante caratteristica è evidenziata dall'ingresso posto in quota, servito all'occorrenza da una scala retraibile così da creare un vero e proprio vincolo fisico all'ingresso dei nemici all'interno [4]. Costituendo quindi l'ultimo rifugio per i difensori, esso godeva di una autonomia sia difensiva che residenziale. Nel mastio della Rocca di Gradara verranno riscontrate tutte queste caratteristiche, successivamente arricchite da degli elementi propri del caso studio, come la configurazione della torre "a canna", che verrà analizzata nella sezione dello stato dell'arte.

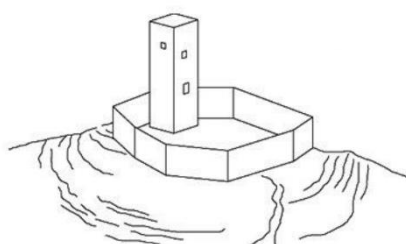


Figura 1.4 - Macroelemento Mastio. Fonte [4]



Figura 1.3 - Organizzazione interna Mastio. Fonte [4]

Palatium: il secondo elemento analizzato è il palatium, uno spazio volumetricamente indipendente dal mastio ma spesso in connessione diretta con esso e con una vocazione prettamente residenziale, solitamente sviluppata su

due livelli. Nei primi sviluppi il palatium era spoglio di complementi decorativi ma munito di elementi per la difesa dello stesso; nel tempo la funzione decorativa e di immagine, prima del palatium e poi di tutta la residenza stessa, ha avuto molto più peso rispetto alla fortificazione del singolo volume.

Le caratteristiche che contraddistinguono questa unità tipologica (Figura 1.5 e Figura 1.6) sono: la presenza di un impianto quadrilatero, la vicinanza o talvolta adiacenza con il mastio con il quale ha sempre un collegamento diretto, la presenza di aperture principali sul lato interno generalmente orientato a sud e l'organizzazione su due livelli che avevano una distinzione funzionale tra stalle e alloggi per gli armigeri al piano terra e spazi di rappresentanza e vita del feudatario nel primo piano [4].

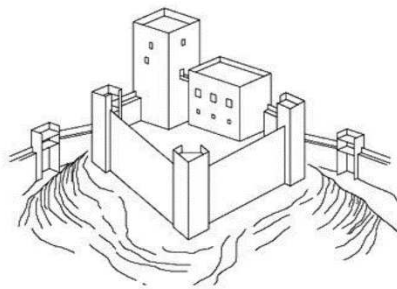


Figura 1.5 - Macroelemento Palatium. Fonte [4]

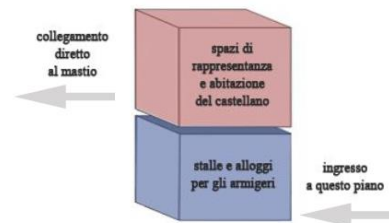


Figura 1.6 - Organizzazione interna Palatium. Fonte [4]

Torri e cinta muraria: dallo schema primordiale costituito da mastio e cinta muraria l'evoluzione dell'architettura fortificata vede l'avvento delle torri, elementi caratteristici e rappresentativi che arricchiscono il manufatto e che vengono posizionati lungo la cinta stessa. Si distinguono principalmente in perimetrali ed angolari sulla base della diversa posizione occupata nel complesso fortificato, addossate alle facciate delle cortine o poste tra due corpi perpendicolari. Esse costituiscono delle unità fondamentali di difesa del perimetro del costruito e, sin dal primo utilizzo, il loro posizionamento era funzione della gittata media di balestre ed archi [3], come mostrato in Figura 1.7.

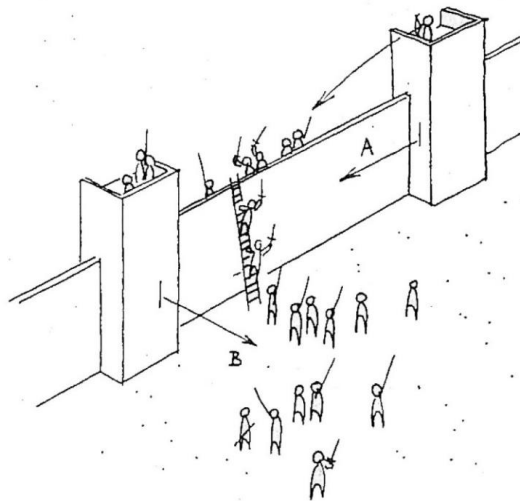


Figura 1.7 - Schema difensivo delle torri. Fonte [3]

Fungevano quindi da elementi per la vedetta, presidi di rinforzo angolare e compartimentazione e volumi adibiti alla difesa attiva. Come già descritto in precedenza, l'architettura fortificata nel tempo si è trasformata per rispondere ai diversi sistemi di offesa proposti dal nemico; anche le torri hanno subito importanti cambiamenti tipologici per far fronte alla medesima problematica. Nel XI secolo le torri si presentavano a pianta quadrangolare e posizionate a filo delle cortine con un'altezza pari o leggermente superiore ad esse. Nel XII-XIII secolo queste unità subiscono un innalzamento così da diventare un ostacolo allo scavalcamento, conseguentemente al perfezionamento delle macchine d'assedio, e vengono dotate di complementi difensivi quali merli, cammini di ronda, apparati a sporgere. Oltre all'aumento delle altezze, si assiste anche ad una tendenza a posizionarsi non più a filo delle cortine murarie, bensì all'esterno di esse. Con l'avvento dell'arma da fuoco si assiste, oltre che ad un ritorno ad altezze più contenute, ad un'accentuazione della sporgenza verso l'esterno e ad un aumento importante dello spessore murario come ostacolo all'arma da fuoco, accompagnato dall'aggiunta di una scarpa muraria alla base [4]. L'ultimo importante processo subito dalle torri, nel XIV-XV secolo, fu sia quello di un'estremizzazione sempre più forte dei cambiamenti avvenuti con l'avvento dell'artiglieria, ma soprattutto quello del cambiamento di impostazione della torre stessa attraverso un passaggio dalla forma quadrilatera a quella circolare

(Figura 1.8), passando per un'impostazione talvolta poligonale, segnando così l'avvento dei torrioni largamente diffusi nei periodi successivi.

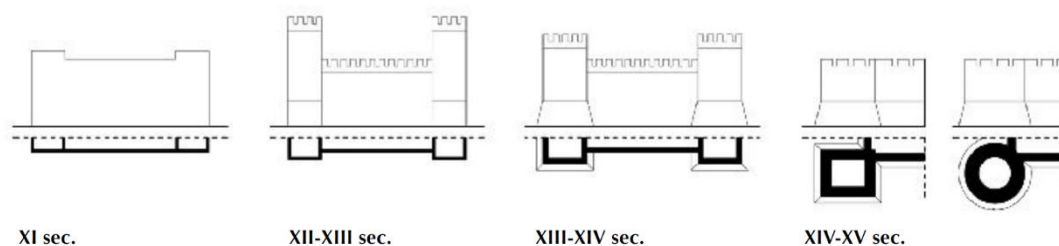


Figura 1.8 - Evoluzione del macroelemento torre. Fonte [4]

Il passaggio da un impianto quadrilatero ad uno circolare permetteva innanzitutto una resistenza uniforme dell'elemento stesso dal momento in cui veniva rimosso l'elemento angolare debole e offriva inoltre un maggiore campo di tiro a sfavore degli assediati.

Questa trasformazione è riassumibile quindi attraverso un processo che ha visto una riduzione progressiva delle altezze ed un aumento degli spessori. La Figura 1.9 riporta un esempio grafico [6] di tale evoluzione riguardante proprio il caso studio della Rocca Demaniale di Gradara, di come tale complesso si sia probabilmente trasformato nel tempo seguendo il processo evolutivo canonico sopra descritto.

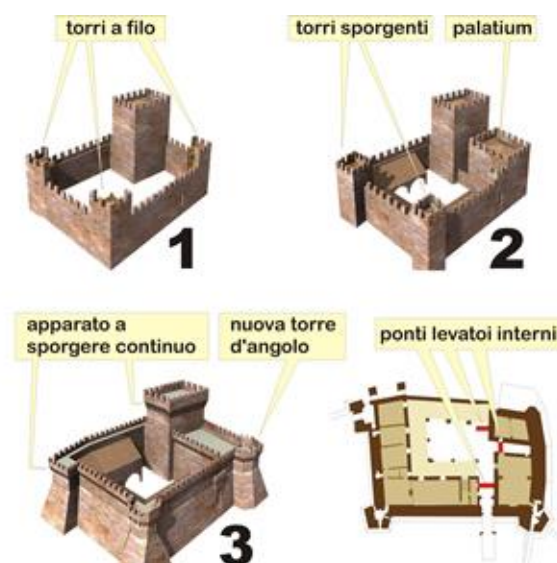


Figura 1.9 - Evoluzione compositiva della Rocca di Gradara. Fonte [5]

Nel principio che ha dettato la trasformazione dell'assetto delle torri e delle cortine non bisogna poi dimenticare l'evoluzione del criterio costruttivo sulla base delle esperienze di assedio; infatti *"le tradizionali torri a pianta quadrangolare determinavano, in corrispondenza delle parti basamentali delle cortine murarie, due triangoli molto pericolosi, in quanto coperti alla vista dei difensori"* [3]. Nel tempo si è quindi notato come alcune soluzioni di posizionamento e forma delle torri permettevano di avere visibilità di campo e angoli di lancio migliori, e questo studio ha quindi portato alla definizione di circuiti murari [7] tipo che permettessero il maggior campo visivo possibile dei difensori (Figura 1.10).

"Si noterà, a questo punto, che il tracciato convesso della cinta offre maggior resistenza all'urto degli arieti o dei proiettili per un evidente effetto-volta nelle sezioni orizzontali che si instaura, resistenza tanto più preziosa in quanto spesso il manufatto risulta poco omogeneo e peggio collegato da malte deficienti" [2].

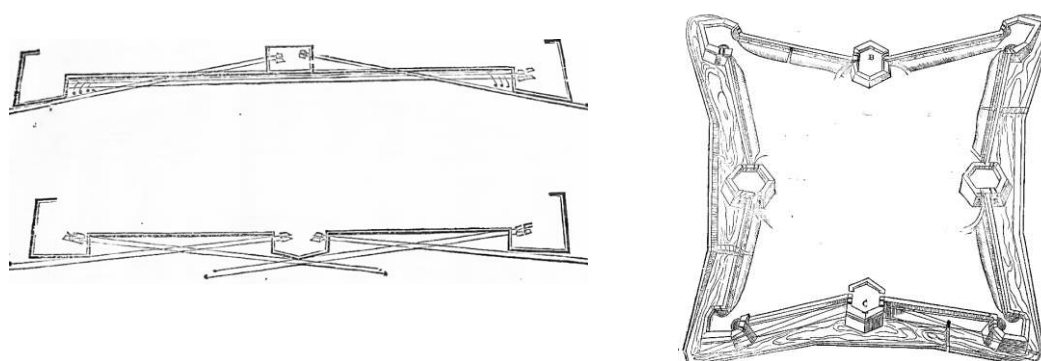


Figura 1.10 - Criterio dei tracciati murari. Fonte [7]

Per permettere queste evoluzioni tipologiche, le rocche di transizione utilizzavano espedienti di diverso tipo e uno tra tutti, per ampliare gli spessori murari, era quello dell'utilizzo di terrapieni, ai piani più bassi, per avere maggiori garanzie contro i colpi inferti dalle armi da fuoco. Questo espediente veniva realizzato attraverso la creazione di setti murari perpendicolari ai lati esterni e la luce creata veniva successivamente riempita da materiale costipabile, come terra e sabbia (Figura 1.11). Si realizzavano così dei veri e propri muri contro terra con elevati spessori e alti valori di resistenza meccanica [3] [7].

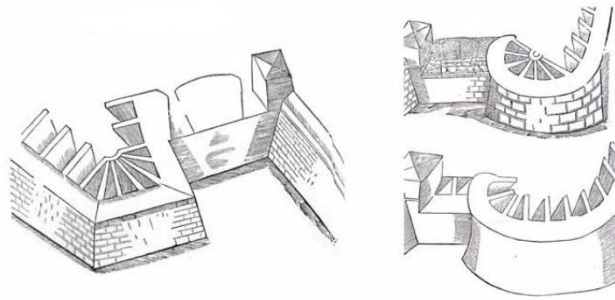


Figura 1.11 – Setti murari per l'ampliamento degli spessori. Fonte [7]

Come già descritto precedentemente, i sistemi difensivi nel tempo si sono adattati ai progressi delle tecniche d'offesa, ma non è stato specificato come questi adattamenti potessero essere resi possibili senza l'interruzione dell'attività quotidiana e dell'efficienza dei manufatti fortificati; il testo di Ramelli [2] descrive in una sequenza i passi principali che rendevano tale trasformazione possibile:

- Si antepone la terra battuta; molto spesso venivano realizzati muretti bassissimi esterni a sostegno della scarpa a rinterro molle creata per assorbire i proiettili
- Si rinterra dietro il muro inserendo rinforzi sussidiari più interni poco più alti di quelli perimetrali, come ad esempio i "raddoppi" o "ritirate" o "seconde linee" atte a tamponare delle possibili via aperte all'attaccante

Risulta quindi chiaro come le trasformazioni di queste architetture non potessero avvenire mediante importanti demolizioni bensì, per questioni difensive, si operava attraverso l'aggiunta di elementi esterni ed è per tale motivo che le stratigrafie delle rocche risultano estremamente complesse e diversificate, poiché segno dell'evoluzione del manufatto nei secoli.

Apparato a sporgere: per quanto riguarda i complementi difensivi è utile ricordare l'apparato a sporgere, ovvero l'insieme di tutti quegli elementi che fuoriescono esternamente dal filo della fortificazione. Questo sistema nacque per colpire gli assediati dall'alto delle mura senza necessità di esporsi; tali apparati potevano essere sia provvisori, in legno o permanenti in pietra o muratura, in questo caso l'apparato era sorretto dai "beccatelli", elementi a mensola sporgenti dal

paramento murario che permettevano l'appoggio della struttura sporgente. Per meglio comprendere l'utilità di questo espediente, è utile specificare la differenza tra i due tipi di difesa utilizzati nelle fortificazioni: il tiro piombante e il tiro radente, graficizzati nella Figura 1.12 - Tiro piombante e tiro radente. Fonte . Il primo, effettuato dall'alto delle mura, acquisiva la sua vera utilità solo quando i nemici avevano raggiunto i piedi della cortina e permetteva di colpire solo il punto mirato senza possibilità di ampliare il campo visivo, mentre il secondo, quello radente, sfruttava le traiettorie orizzontali aumentando l'efficacia di tiro dal momento che il bersaglio diventava quello più probabile *"degli infiniti oggetti disposti lungo la linea di mira, con effetto utile pari alla gittata dell'arma"* [2]. Lo svantaggio di questa seconda tecnica risiedeva nella necessità di prevedere feritoie e aperture nella parte basse delle murature creando un inevitabile indebolimento delle stesse, per tale motivo la combinazione delle due tecniche di difesa si rivelava vincente e spesso veniva preferita la difesa piombante dall'alto per questioni sia di sicurezza sia psicologiche, garantendo l'effetto sorpresa al momento della scalata del nemico che si vedeva gettati addosso materiali di basso costo, facilmente reperibili ma efficaci allo scopo prefissato [2].

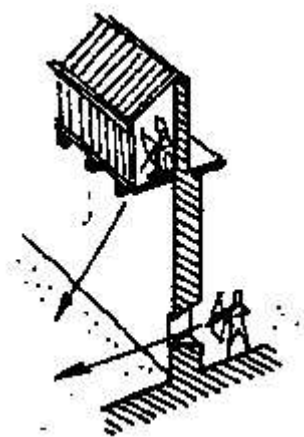


Figura 1.12 - Tiro piombante e tiro radente. Fonte [5]

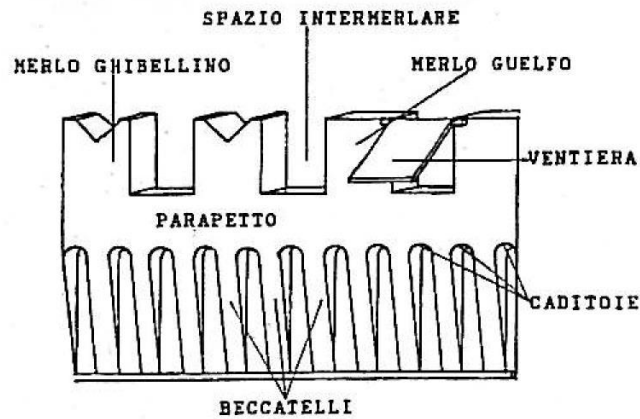


Figura 1.13 - Componenti dell'apparato a sporgere

Utilizzato per rendere possibile tale difesa piombante, l'apparato a sporgere, è caratterizzato tipologicamente dall'essere costruito per lo più su mensole, travi o archi, avere caditoie per la gettata di proiettili e l'essere dotato di parapetto merlato. La Figura 1.13 sintetizza tali componenti dell'apparato.

Merlature: l'ultimo elemento sopra descritto contiene un altro complemento difensivo estremamente presente nella Rocca di Gradara, oggetto di questa relazione. Le merlature erano delle masse coprenti caratterizzate da un'alternanza di vuoti e pieni chiamati merli e atte a rendere sicuro l'affacciarsi del difensore grazie anche alla presenza di ventiere di legno incernierate sui merli (Figura 1.13 - Componenti dell'apparato a sporgere). Tali merli avevano poi una sagoma di estremità di vario tipo, anche in base al contesto geografico, che poteva essere rettangolare, bifida o rastremata a doppio spiovente. Come succede negli altri elementi tipici delle architetture fortificate, anche i merli subirono nel tempo una trasformazione compositiva; in questo caso in un primo momento venivano costruiti a filo della cortina esterna, come naturale prosecuzione dell'ultima elevazione, solo in un secondo momento vennero portati in aggetto grazie all'utilizzo di beccatelli o di archi di scarico sostenuti da contrafforti esterni o mensole.

Scarpa muraria: ulteriore complemento difensivo di rilevante importanza anche nel caso studio di questa tesi è la scarpa muraria, aggiunta ai piedi delle cortine per poter resistere in maniera adeguata alle sollecitazioni impartite dalle armi da fuoco

e con un'inclinazione tale da non permettere la risalita degli assediati. Il suo impiego diventa sistematico a partire dalla metà del Trecento e nei casi più frequenti veniva realizzata in muratura o pietra con la tecnica del sacco murario [4]; in Figura 1.14 viene sintetizzata l'evoluzione e la trasformazione di tale complemento nel tempo.

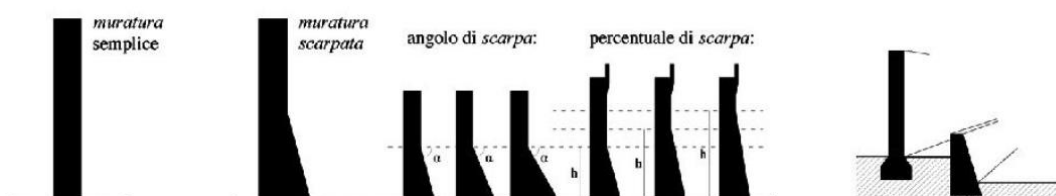


Figura 1.14 - Evoluzione della scarpa muraria. Fonte [4]

Nella Figura 1.15 è possibile vedere come le diverse combinazioni di apparato a sporgere, merli e scarpa costituissero diversi sistemi di difesa contro l'assediante.

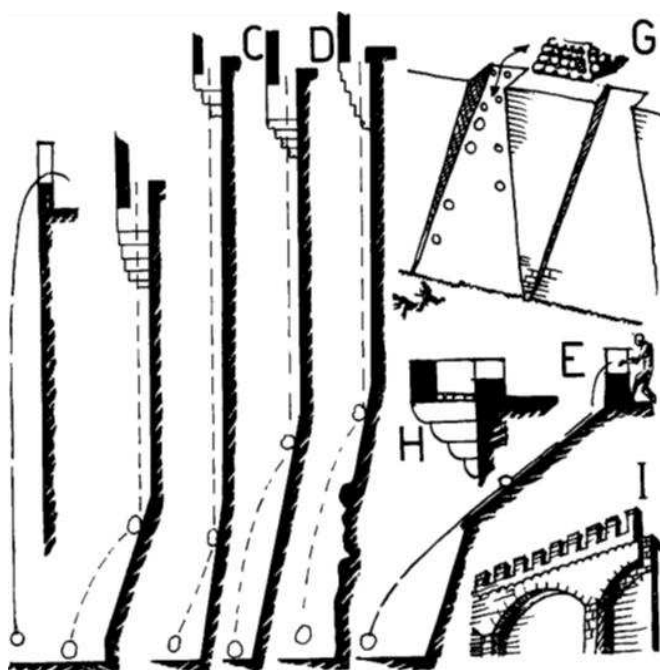


Figura 1.15 - Tipologie di difesa piombante. Fonte [2]

"A - B - C - D: effetti di difesa piombante con merli a filo, merli a sbalzo e varia scarpatura. Si noti che il merlo a sbalzo non è sempre indice di più evoluta tecnica

militare e che non appena col merlo a filo si poteva battere bene il bersaglio antistante, la maggiore stabilità ne consigliava la conservazione.

E: caditoia inclinata e incamiciata

G: la tremenda caditoia ad imbuto rovescio

H: merlo a doppio filo e a sbalzo su beccatelli con vuoti e pieni sfalsati, doppio corridoio di ronda e possibilità assicurata di rapide sovrastrutture di fortuna per lo più lignee aggiunte al momento del bisogno

I: merlature su archi paralleli alla cortina e sostenuti da sbalzi o da contrafforti distanziati." [2].

1.2 Ricerca scientifica sulle architetture fortificate

Data la scarsa documentazione presente in letteratura sulle vulnerabilità e sui meccanismi di danno propri delle architetture fortificate, si è resa necessaria una ricerca scientifica mirata a conoscere quanto più possibile tali manufatti e approfondendo numerosi aspetti tra cui le vulnerabilità specifiche degli edifici muniti, con l'obiettivo di andarne a definire un database non presente oggi in letteratura ma già codificato per le tipologie costruttive di chiese e palazzi. Partendo da questo obiettivo e utilizzando i principali motori di ricerca di articoli scientifici con il metodo spiegato di seguito (§1.2.1), lo studio si è poi articolato in più punti toccando diversi aspetti quali:

- L'evoluzione temporale e costruttiva dei manufatti
- La classificazione geografica
- I materiali utilizzati nella storia
- I principali meccanismi di danno
- I principali interventi moderni effettuati sulle architetture fortificate e la loro relativa efficacia

Questi diversi argomenti hanno gettato le basi per una conoscenza più approfondita ed orizzontale degli edifici fortificati, diventando un utile punto di partenza per il successivo studio del caso specifico della Rocca Demaniale di Gradara, manufatto estremamente complesso che ha sintetizzato tutte le tipicità approfondite in questa sede.

1.2.1 Metodo di ricerca

Il seguente studio è stato condotto seguendo cinque principali passi. Il primo è stato quello della scelta delle parole chiave, *key words*, da utilizzare per avere dei risultati mirati sulla base degli argomenti precedentemente definiti; vengono riportate per chiarezza le principali parole utilizzate nella ricerca:

- Fortified Architecture

- Fortified Structure
- Massive Defensive Structure
- Mortar
- Masonry
- Seismic vulnerability analysis
- Archaeometric analysis
- Construction technique

Un secondo passo ha riguardato la scelta delle banche dati da utilizzare per la ricerca. Queste piattaforme online forniscono l'accesso ad un ampio database bibliografico di pubblicazioni scientifiche ed articoli riguardanti la ricerca. Di seguito un rapido elenco di quelle impiegate:

- Science Direct, casa editrice Elsevier
- Scopus, casa editrice Elsevier
- Database di MDPI
- Database di Indawi Publishing Corporation
- Piattaforma di autori Research Gate

Come step successivo è stata condotta un'attenta analisi dei vari articoli trovati e sono stati presi in considerazione solo gli aspetti utili ai fini degli argomenti di seguito approfonditi. Nella scelta degli articoli un'attenzione particolare è stata posta alla data della pubblicazione, che preferibilmente doveva rientrare nell'ultimo decennio per una migliore attendibilità dei dati.

Il quarto passo è stato quello della ricerca bibliografica; dopo aver studiato quindi i singoli articoli e aver selezionato i più utili, è stata condotta una ricerca di nuovi articoli e fonti attraverso la stessa bibliografia di quelli utilizzati, procedendo così in maniera inversa ma mirata rispetto ai precisi ambiti di interesse. In tal modo è stato possibile effettuare un approfondimento maggiore degli argomenti trattati.

Infine l'ultima fase ha riguardato una rielaborazione dei dati. Una volta ottenute quindi le informazioni necessarie, queste sono state rielaborate, accorpate e restituite.

1.2.2 *Classificazione geografica*

Tra i vari articoli analizzati per questo primo approfondimento se ne distinguono alcuni che identificano le caratteristiche principali delle fortificazioni in Italia in base alla localizzazione geografica, come nel caso di *"Analysis of damage mechanism suffered by Italian fortified buildings hit by earthquakes in the last 40 years"* [8], in cui si evidenzia lo studio del comportamento sismico di edifici fortificati, i cui risultati hanno mostrato un buon accordo con l'esistente; in *"Integrated approach for seismic vulnerability analysis of historic massive defensive structures"* [9] è spiegato un approccio integrato multidisciplinare per analizzare le vulnerabilità strutturali difensive storiche massicce; ed infine in *"Collapse investigation of the Arquata del Tronto medieval fortress after the 2016 Central Italy seismic sequence"* è presente un'indagine sui crolli locali della fortezza medievale di Arquata del Tronto che si sono verificati a causa della sequenza sismica del Centro Italia 2016 [10].

Nello specifico sono stati studiati attentamente e presi in considerazione 750 castelli e 8 eventi sismici succedutesi negli ultimi decenni (1976 in Friuli, 1980 in Irpinia, 1997 in Umbria, 2002 in Molise, 2008 in Emilia-Romagna, 2009 all'Aquila, 2012 in Emilia-Romagna, 2016 nelle Marche), fondamentali per capire i danni osservati nei castelli ed avere un confronto con varie caratteristiche in termini di suolo, materiali, tipologie edilizie e stato di conservazione [8].

Attraverso questi articoli, successivamente, è stato possibile realizzare un abaco in cui sono state sintetizzate, schematizzate e catalogate le caratteristiche principali delle architetture fortificate in Italia in base alla loro localizzazione geografica, tramite lo studio degli eventi sismici.

Di seguito è riportata la mappa sismica con l'individuazione degli eventi sismici presi in esame e il relativo abaco con la specifica delle caratteristiche delle fortificazioni suddivise per zone.

Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale

La Carta della pericolosità sismica realizzata dall'Ingv è pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale si basa sull'accelerazione massima del suolo prevista conseguente alle onde sismiche (S) in suoli omogenei rigidi entro una profondità di 30 metri. L'Italia è stata suddivisa in quattro zone di pericolosità

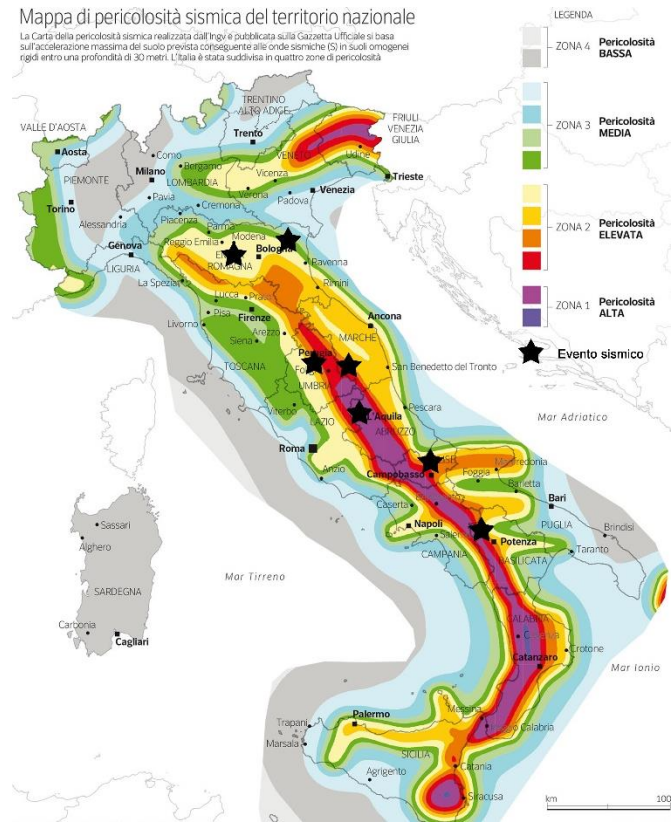


Figura 1.16 – Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale. Fonte immagine: [11]

Tabella 1.1 - Abaco delle caratteristiche identificative delle architetture fortificate in Italia.
 Fonti [8], [9], [10]

Regioni	Peculiarità costruttive
Friuli	<ul style="list-style-type: none"> • Castelli in pietra • Pianta quadrata • Torre principale circondata da edifici minori • Castelli trasformati in palazzi
Irpinia	<ul style="list-style-type: none"> • Piccoli castelli • Presenza del solo mastio • Muratura in pietra con blocchi arrotondati disposti in pareti a tre teste
Umbria	<ul style="list-style-type: none"> • Castelli in pietra e muratura • Mastio principale, con elementi sporgenti • Torri angolari regolari
Emilia-Romagna	<ul style="list-style-type: none"> • Mattoni o muratura mista, uso di pietre rotonde • Configurazione spaziale complessa
Abruzzo	<ul style="list-style-type: none"> • Castelli in pietra o muratura • Configurazione spaziale complessa
Molise	<ul style="list-style-type: none"> • Castelli in pietra o in muratura mista • Torri angolari circolari
Marche	<ul style="list-style-type: none"> • Castelli in muratura o in muratura mista • Mastio principale con elementi sporgenti • Torri angolari poligonali o circolari • Configurazioni spaziali regolari

1.2.3 I materiali nella storia

È stata condotta una ricerca a livello materico, per cercare di capire dove venivano prelevati i materiali primari per la costruzione di un manufatto, e come poi questi venivano impiegati. In particolare, l'analisi ha preso in considerazione i due elementi che costituiscono la muratura, ovvero i blocchi e le malte, e attraverso confronti tra vari articoli scientifici è stato possibile catalogare le tipologie di murature esistenti e le principali problematiche a livello di degrado.

1.2.3.1 Database Blocchi

Attraverso la consultazione di un manuale [12] è stato redatto un database (Tabella 1.2) che ha raggruppato all'interno varie tipologie di blocchi e pietre rintracciabili nelle zone tra Marche ed Emilia-Romagna e in varie tipologie di manufatti (Rocche, Castelli, Palazzi, Mura cittadine).

Nella catalogazione è stata poi fatta un'ulteriore specifica nella classificazione tipologica dei materiali, nell'utilizzo e nell'impiego degli stessi, il tutto associato ad una breve descrizione.

Di seguito è riportato il database dei blocchi.

Tabella 1.2 - Database materico: blocchi. Fonte [12]

Materiale	Classificazione tipologica	Utilizzo	Descrizione	Impiego
B.1 Calcere Massiccio	Calcere	Strutturale Decorativo	Calcari microcristallini bianco-rosato con variazioni di beige. Presenza di vuoti interstiziali.	Italia centrale. Applicazione da epoca romana. (Porta di Augusto a Fano; Chiesa di San Michele a Fano Figura 1.17 - a).
B.2 Corniola	Calcere	Strutturale	Sequenza stratificata di calcari micritici grigi con sfumature verso grigio e avorio.	Epoca romana per ponti della Via Flaminia nel tratto della Gola del Furlo. (Ponte Abbazia di San Vincenzo al Furlo).

<p>B.3 Rosso Ammonitico (Rosso di Verona)</p>	<p>Calcare</p>	<p>Decorativo</p>	<p>Calcare nodulare, compatto con frattura concoide dal colore rosso vivo, rosso scuro, talvolta anche rosso mattonne.</p>	<p>(Portale di San Francesco a Pesaro (Figura 1.17 - b), Chiesa di San Domenico a Urbino)</p>
<p>B.4 Scaglia bianca e rossa</p>	<p>Calcare</p>	<p>Strutturale Decorativo</p>	<p>Costituito da marne e calcari. Colorazione che varia dal bianco al rosa, rosso e rosso vinato. Trattato in fornaci di Urbino, Urbania, Fossombrone, Fermignano e Fano</p>	<p>Antichità: tombe, stipiti, lastre, lesene. Medioevo: mura di Urbino, ponte e torre di Fermignano. Rinascimento: decorazioni interne Palazzo Ducale di Urbino (Figura 1.17 - c) e Urbania. Epoca moderna: pietra decorativa e materiale da costruzione.</p>
<p>B.5 Bisciario</p>	<p>Calcare</p>	<p>Strutturale</p>	<p>Alternanza di marne e calcari compatti con silicizzazioni diffuse. Caratteristici strati di sabbia vulcanica nella parte inferiore della formazione.</p>	<p>Materiale per fondazioni: edifici del centro storico di Urbino. Materiale da costruzione: rifacimento delle mura di Urbino.</p>
<p>B.6 Schlier</p>	<p>Calcare Argilla</p>	<p>Strutturale</p>	<p>Alternanza di marne calcaree bianche e grigie. Argille denominate "bentonite" /" pietra saponaria".</p>	<p>Insieme al Bisciario (B5) utilizzate per realizzazione del sacco delle mura di Urbino.</p>

B.7 Colombacci	Argilla Arenaria	Strutturale Decorativo	Possono essere: argille marnose azzurre con rari interstrati sabbiosi, arenarie torbide cementate, passanti a marne argillose e siltose, cementate.	Sviluppo della "pietra di S.Ippolito" (marmo), come pietra decorativa (Palazzo Ducale di Urbino). Realizzazione delle mura romane di Pesaro e Fano. Impiego generico in soglie, stipiti, nell'architettura povera delle case coloniche.
B.8 Laterizi	Argilla	Strutturale	Da depositi alluvionali di argille siltose-sabbiose della Valle del Metauro. Fornaci di Calpino e Fermignano.	(Palazzo Ducale di Urbino, Palazzo Ducale di Urbania, Rocca Costanza di Pesaro, Mura rinascimentali delle Marche ed Emilia- Romagna).
B.9 Crostone Travertinoso	Travertino	Strutturale	Particolare travertino sulla sponda settentrionale del fiume Metauro.	(Mura romane di Urbino, muratura di borghi, chiese, case coloniche e Fermignano e Canavaccio).
B.10 Cogoli	Arenaria	Decorativo	Arnioni di arenaria compatta e dalla forma rotondeggiante. Costituiti da cemento carbonatico che li rende tenaci. Forte presenza a Gabicce.	Nella zona di Urbania e Fermignano (Figura 1.17 - e). Utilizzati per selciati e mura, ed in sostituzione di ciottoli fluviali, pietre da taglio e mattoni.



Figura 1.17 - a) Foro di Augusto, Fano; b) Portale di S. Francesco, Pesaro; c) Palazzo ducale di Urbino, Urbino; d) Torre di Fermignano. Fonte immagini: [12]

1.2.3.2 Database Malte

Come già preannunciato, la stessa tipologia di ricerca è stata effettuata per le malte. È stato preso come riferimento un articolo scientifico intitolato *“Archaeometric analysis of building mortars used in the historic centre of Siena (Italy) between the 13th and 16th centuries”* [13] in cui viene descritta un’attenta analisi archeometrica svolta su 23 campioni di murature appartenenti a cinque edifici monumentali (Cattedrale, Municipio, mura della città, Chiesa Medicea di Santa Maria della Scala). Ciò ha portato ad una prima banca dati compositiva e tecnologica delle antiche malte senesi permettendo una verifica della variazione nel tempo della fornitura di materie prime per la produzione di leganti.

Dopo un'accurata ricerca, campioni di riferimento di rocce selezionate (Calcere Cavernoso, Montagnola Marmi Senesi, Calcere di Alberese) sono stati raccolti nella zona della Montagnola Senese e dal settore meridionale delle colline del Chianti (rispettivamente ad ovest e a nord est di Siena).

Analizzando con la stessa sostanza chimica i materiali estrapolati, si è potuto individuare possibili tipologie di materie prime utilizzate per la produzione della calce legante.

Le malte sono state realizzate principalmente con leganti di calce e aggregati limoso-sabbiosi. Questi ultimi sono stati ottenuti da depositi pliocenici (arenarie e sabbie compattate) che spuntano sotto e intorno allo storico centro.

Le caratteristiche di preparazione di tutte le malte sono risultate molto simili, come suggerito dai rapporti legante/aggregato e dalla granulometria distribuzioni degli aggregati [13].

Questo articolo, in particolare, giustifica e spiega il fatto che per le varie costruzioni di manufatti antichi di ogni genere, i materiali venivano prelevati per la totalità da zone limitrofe, per fattori di comodità e di economicità.

Di seguito, in Tabella 1.3, è riportato il database delle malte.

Tabella 1.3 - Database materico: malte. Fonte [13]

Materiale	Foto	Descrizione	Utilizzo
<p>M.1 Malta da muratura a sacco</p>		<p>Calcare cavernoso costituito da cristalli idiomorfi di quarzo e albite. Fornitura di sabbie da località nella periferia ad ovest di Siena (San Prospero, Laterino, Due Porte, Tressa). Depositi locali del Pilocene come fonte di aggregati.</p>	<p>Cattedrale (cripta, volte, pareti divisorie). (Figura 1.18 - a)</p>
<p>M.2 Malta all'interno di una buca portaia</p>		<p>Realizzata con leganti di calce e aggregati limoso-sabbiosi</p>	<p>Palazzo pubblico (facciata centrale, facciata occidentale). (Figura 1.18 - b)</p>
<p>M.3 Malta da allettamento Tipo 1</p>		<p>Calcare Alberese marnoso derivante da depositi del Monte Morello. Contenuto di CaCO₃ che varia dal 55 al 90%. La frazione non carbonatica è rappresentata da minerali argillosi, quarzo e feldspati.</p>	<p>Ospedale di Santa Maria della Scala. (contrafforte verso il cortile, Palazzo del Rettore, parete della stalla, parete stanze ospedale). (Figura 1.18 - c)</p>

<p>M.4 Malta da allettamento Tipo 2</p>		<p>Aggregati di calcite, attraversati da vene di calcite. Scarsa presenza di grani di carbonato a vantaggio del quarzo-feldspatico. Tutti i componenti derivano dai depositi pliocenici.</p>	<p>Mura della città (Porta Pispini, fonte di Follonica). (Figura 1.18 - d)</p>
<p>M.5 Malta da allettamento Tipo 3</p>		<p>Scarsa presenza di grani di carbonato a vantaggio del quarzo-feldspatico. Tutti i componenti derivano dai depositi pliocenici.</p>	<p>Mura della città (Bastione Peruzzi, fonte di Follonica). (Figura 1.18 - e)</p>
<p>M.6 Malta da allettamento Tipo 4</p>		<p>Provenienza dalla Montagnola Senese, rocce metamorfiche. Scarsa presenza di grani di carbonato a vantaggio del quarzo-feldspatico. Tutti i componenti derivano dai depositi pliocenici.</p>	<p>Mura della città (mura del Bastione meridionale). (Figura 1.18 - f)</p>



Figura 1.18 - a) Cripta della Cattedrale di Siena; b) Palazzo pubblico di Siena; c) Pareti della stalla dell’Ospedale di Santa Maria della Scala; d) Porta Pispini; e) Bastione Peruzzi; f) Fortezza Medicea. Fonte immagini [13].

1.2.3.3 Tipologie di murature

Per concludere la sezione relativa ai materiali, è stato infine redatto un ultimo abaco in cui vengono esplicitate le tipologie di murature in edifici storici in relazione al comportamento meccanico atteso. I risultati sono stati ricavanti tramite alcuni articoli scientifici, ovvero *“Integrated approach for seismic vulnerability analysis of historic massive defensive structures”* [9] in cui viene utilizzato un approccio multidisciplinare integrato per analizzare le vulnerabilità nelle strutture massicce storico-difensive; *“Collapse investigation of the Arquata del Tronto medieval fortress after the 2016 Central Italy seismic sequence”* [10] dove è presente un’indagine sui

crolli locali della fortezza medievale di Arquata del Tronto che si sono verificati a causa della sequenza sismica del Centro Italia 2016; ed infine *“Damage assessment of fortresses after the 2012 Emilia earthquake (Italy)”* [14] che mette in relazione in meccanismi di danno sismico insieme alle tipologie di paramenti murari esistenti nelle fortezze.

Di seguito è riportato l’abaco delle principali tipologie di murature.

Tabella 1.4 - Abaco principali tipologie di murature negli edifici e fortezze storiche. Fonti [9], [10], [14]

Tipologia di muratura	Caratteristiche principali
Mattoni pieni e malta di calce	Presentano le migliori caratteristiche a compressione, taglio, modulo elastico e modulo tangenziale.
Mattoni di riutilizzo e malta di calce povera	Sono i peggiori dati i bassissimi valori a compressione, taglio, modulo elastico e modulo tangenziale.
Blocchi di pietra calcarea squadrata	Hanno caratteristiche medie tra mattoni pieni e malta di calce e mattoni di riutilizzo e malta di calce povera.
Mattoni di argilla e in strati sottili di malta di calce	Proprietà abbastanza omogenee e buono stato di conservazione.
Muratura a sacco	Costituisce gli elementi massicci, caratterizzata da un assetto compatto con pochissimi vuoti e caratteristiche uniformi lungo lo spessore.

La stima dei parametri meccanici è stata effettuata in base alla tipologia e alle condizioni della muratura (valutate mediante ispezioni visive e prove endoscopiche), seguendo le indicazioni fornite dal codice strutturale italiano e dalle linee guida. Altri approcci per la caratterizzazione del materiale sono stati giudicati inefficaci, ad esempio il collaudo diretto con martinetti piatti fornisce dati solo sulla parte esterna dello strato esterno, l'estrazione di carotaggi indisturbati in profondità sufficienti per le prove di laboratorio non è fattibile a causa della natura delle murature [9].

La muratura, inoltre, è per lo più priva di intonaco; è stato quindi facilitato il progressivo degrado superficiale dei giunti di malta e una condizione di umidità che ha reso possibile l'infiltrazione della pioggia nella struttura [10].

La falda acquifera in genere è poco profonda e le fortezze si trovano in prossimità di fiumi o fossati, per cui in molti casi è presente una significativa umidità di risalita capillare.

Il degrado, la cui normativa di riferimento è la UNI 11182:2006, che ha sostituito la NORMAL 1/88 [15], ha influenzato nel tempo in maniera importante la vulnerabilità degli edifici.

1.2.4 *Vulnerabilità sismica e meccanismi di danno*

Come già descritto, l'obiettivo primario di tale ricerca scientifica è quello di andare a definire uno schema generale di vulnerabilità specifiche e meccanismi di danno validi per i manufatti fortificati. Per fare ciò si è resa necessaria una ricerca combinata di più aspetti che coinvolgessero sia i meccanismi di danno generici della muratura portante sia un confronto tra i danni riscontrati su casi specifici di Rocche a seguito del terremoto che hanno offerto la possibilità di creare una casistica dei danni più frequenti.

Tra i numerosi articoli analizzati, quelli che più si sono rivelati determinanti a tal scopo sono quelli in cui venivano messi a confronto più casi studio a seguito di eventi sismici, come nei casi di *"Damage assessment of fortress after the 2012 Emilia earthquake (Italy)"* [14] e *"Analysis of damage mechanism suffered by Italian fortified buildings hit by earthquakes in the last 40 years"* [8], i quali fornivano una proposta di meccanismi di danno frequenti sulla base dei danni osservati. Inoltre il Dipartimento della Protezione Civile ha fornito un'altra utile fonte, *"Damage survey form for the cultural heritage palaces and churches"* [16], che ha permesso di andare ad unire ai meccanismi di danno riscontrati nei macroelementi tipici delle fortificazioni anche quelli propri di chiese e palazzi.

La creazione di tale abaco dei meccanismi di danno riferito alle architetture fortificate viene quindi qui di seguito schematizzato ed articolato nei principali elementi che compongono tali manufatti, i quali possono avere un comportamento

per quanto possibile indipendente dalle altre componenti: le torri, le mura e i complementi difensivi, gli edifici interni.

1.2.4.1 Principali meccanismi di danno nelle torri

Tra i macroelementi principali costituenti gli edifici fortificati e descritti nel § 1.1.1 troviamo le torri, fortemente presenti nella composizione di tali manufatti. Nella maggioranza dei casi queste torri si presentano coronate da merloni e costituite da blocchi di muratura [14]; non bisogna poi dimenticare le numerose trasformazioni che questi elementi hanno subito nel corso dei secoli (demolizioni, ampliamenti...) per l'avvento dell'arma da fuoco o per l'evoluzione di tali edifici in palazzi fortificati vocati principalmente alla residenzialità.

Di seguito vengono descritti i caratteri generali delle torri che sono state prese in considerazione per l'analisi delle vulnerabilità specifiche.

Questi macroelementi sono caratterizzati da una pianta quadrata che nell'ultimo livello si presenta ampliata, grazie alla presenza di mensole in muratura che assicurano la tenuta dell'apparato a sporgere, e da un coronamento sommitale formato da merlature e da una passerella perimetrale inserita nello spessore ricavato tra l'impianto di base e l'ampliamento dell'apparato a sporgere, utilizzata per la difesa piombante. Anche la copertura, inizialmente situata solo nella parte centrale della torre, ha subito degli ampliamenti che hanno portato con sé a una nuova modellazione dei merli e all'utilizzo di archi per il collegamento della copertura alla parte più estrema della torre. Per ciò che riguarda le pareti, queste non si presentano mai troppo snelle (a volte hanno spessori considerevoli compresi tra gli 80 e i 120 cm) e generalmente non sono allineate con le mura perimetrali della fortezza stessa; per scopi difensivi tali pareti sono dotate di poche aperture, di piccole dimensioni e allineate nella parte centrale [14]. Costruttivamente la muratura è costituita da mattoni pieni e malta di calce, anche se talvolta la parte centrale si presenta meno compatta, sconnessa e costituita da materiale di minor pregio, come mostrato nella Figura 1.19, la quale spiegherebbe il motivo per cui molto spesso le cortine murarie hanno un movimento indipendente l'una dalle altre.



Figura 1.19 - Dettaglio di sezione costruttiva con mancato ammorsamento. Fonte [14]

Va inoltre specificato che la muratura, essendo spesso priva di intonaco, ha portato con sé un progressivo degrado superficiale dei giunti di malta che, accompagnato da valori di umidità non trascurabili, ha posto le condizioni per l'ingresso di pioggia nella struttura.

Andando ad analizzare nello specifico le vulnerabilità sismiche del macroelemento torre, va innanzitutto presa in considerazione la collocazione di tale oggetto all'interno della fortificazione, per comprendere al meglio l'interazione con gli elementi vicini. Come succede infatti nelle torri angolari, le quali sono connesse alle pareti perimetrali molto spesso senza continuità e allineamento, si possono riscontrare due fenomeni [14]:

- una concentrazione dello stress che provoca flessione sulle pareti della torre
- la presenza di vincoli eccentrici che possono determinare una risposta torsionale dell'elemento

Queste unità, nella loro risposta sismica, sono quindi fortemente influenzate dalle diverse caratteristiche delle mura perimetrali con le quali interagiscono, più snelle e di minore altezza; si determina così una diversa risposta dinamica che prevede uno sforzo di taglio sulle mura e una tensione di flessione sulle torri. Nel caso in cui tra questi due elementi sia presente una forte connessione, la risposta si modifica in

conseguenza a un congruente spostamento lungo tale linea di contatto che diventa sede di fessurazioni, come evidenziato nei due casi studio proposti in Figura 1.20.

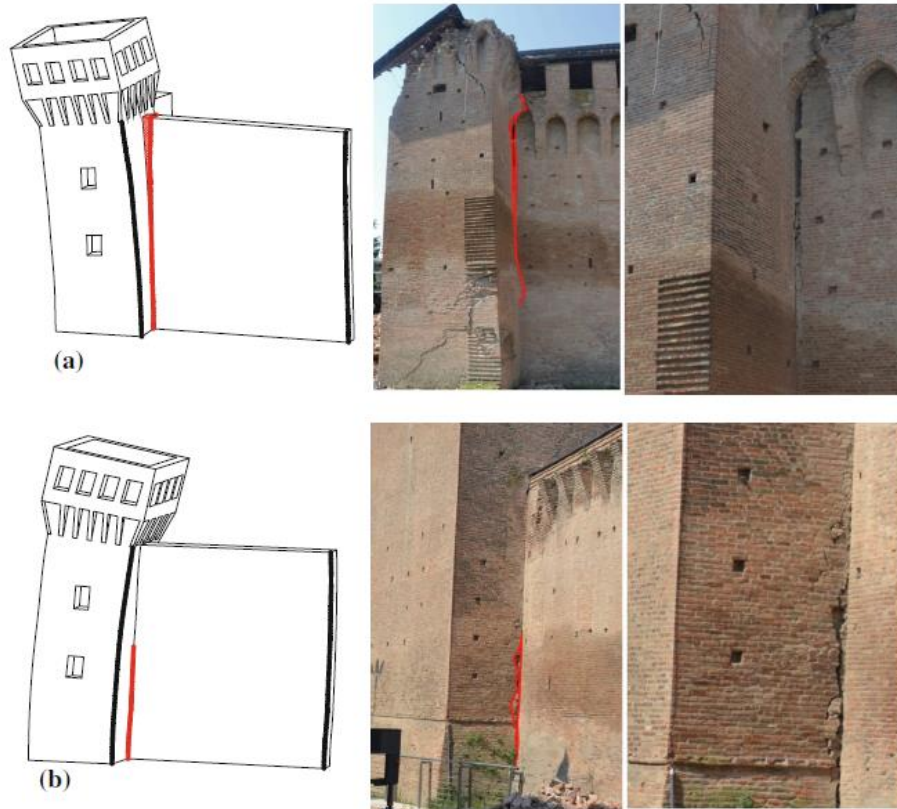


Figura 1.20 - Risposta sismica di torri connesse alle mura perimetrali. Fonte [14]

Il punto (a) evidenzia una situazione in cui l'azione sismica tende ad aprire la struttura separandone gli elementi nella parte sommitale, con una conseguente deformazione e lesione che segue questo andamento accentuandosi verso l'alto [14].

La fessura del caso (b) evidenzia invece una situazione di concentrazione di sollecitazioni e di martellamento nella parte più alta del contatto tra la torre e la cortina perimetrale che si traduce in una fessura nella zona più bassa a causa delle capacità della torre di piegarsi rispetto alla cortina più bassa [14].

Date quindi queste diverse risposte sulla base della condizione locale della torre analizzata, si è reso necessario un approfondimento nella ricerca scientifica per andarvi ad inserire anche i diversi modelli di torre presenti in letteratura per ciò che concerne le analisi sismiche, dove i più ricorrenti sono:

- modello di torre isolata
- modello di torre vincolata

Si è osservato che il primo modello può essere ricondotto ad un sistema pseudo-duttile, la cui resistenza dipende principalmente dalla capacità deformativa della struttura, a differenza invece del secondo modello che diventa un sistema quasi-fragile a causa della riduzione dello spostamento ultimo impedito dall'aumento sempre più consistente di vincoli che determina un importante valore di taglio ultimo alla base e fa così dipendere la capacità della struttura alla resistenza meccanica della stessa [17]. Inoltre è possibile fare una distinzione dei differenti quadri fessurativi sulla base delle rigidità dei vincoli imposti in fase di modellazione, graficizzati nella Figura 1.21. Nonostante questo studio sia stato condotto sul caso specifico della torre Chigi di San Gimignano (SI), è possibile comunque fare delle considerazioni a carattere generale. Osservando una torre isolata (TI) con gradi di vincolo via via crescenti, il quadro fessurativo si evolve da una condizione diffusa presente nella parte bassa (a), dove agiscono tensioni di pressoflessione, ad una più localizzata in prossimità delle quote di arrivo degli elementi più bassi adiacenti (b), da dove si sviluppano sollecitazioni di taglio e quindi fessure diagonali che interagiscono con quelle di pressoflessione prima descritte [17]. L'articolo in questione trova quindi nel caso di minor vincolo la situazione di maggior rischio che giustifica attraverso due motivazioni: *“la prima è che, confinando la torre, si ha una maggiore capacità in termini di taglio rispetto alla torre isolata, la seconda si basa sull'osservazione del quadro tensionale e fessurativo a rottura, in cui si riscontra che per bassi valori del grado di confinamento, risulta maggiormente impegnata la parte bassa della torre costituita da materiale più scadente rispetto alla parte superiore. Infatti, all'aumentare della rigidità del complesso, il grado di sicurezza aumenta in relazione al cambiamento dello stato tensionale a rottura che in questo caso riguarda la parte alta della struttura, in cui la muratura ha migliori caratteristiche meccaniche”* [17].

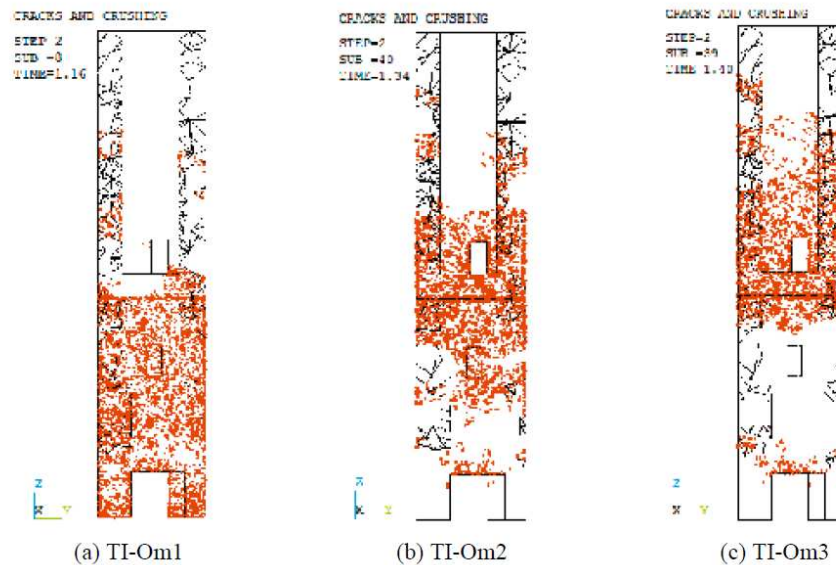


Figura 1.21 - Quadro fessurativo a collasso: influenza della rigidità dei vincoli. Fonte [17]

Nonostante la condizione sopra descritta sia influenzata dalle specificità del caso, questa differente risposta al modificarsi dei modelli di torre trova un analogo riscontro anche nello studio dei danni nelle fortificazioni emiliane dopo il terremoto del 2012 [14]. In questo contesto i modelli analizzati erano:

- (a) modello di torre isolata
- (b) modello di torre con pareti corte adiacenti - altezza 9 m, lunghezze 14 m e 6,6 m
- (c) modello di torre con pareti alte adiacenti - altezza 15 m, lunghezze 14 m e 6,6 m

La torre in tutti e 3 i casi era modellata con un'altezza di 21 m, lato 6 m, spessore di base 1,10 m e spessore superiore 0,60 m; matericamente era composta da muratura in mattoni con malta di calce, tetto in legno e soletta in cemento armato per essere rappresentativa delle condizioni della maggior parte delle torri analizzate nell'articolo. Anche in questo caso, osservando la Figura 1.22, la quale ci mostra la risposta dei tre modelli all'azione sismica, nel caso di torre isolata (a) la sollecitazione massima si ritrova nella base dove il taglio è maggiore, a differenza

della condizione di buona connessione (c), dove il massimo valore di sollecitazione è osservato nella zona superiore in corrispondenza dell'incontro della quota più alta dell'elemento adiacente con la torre [14].

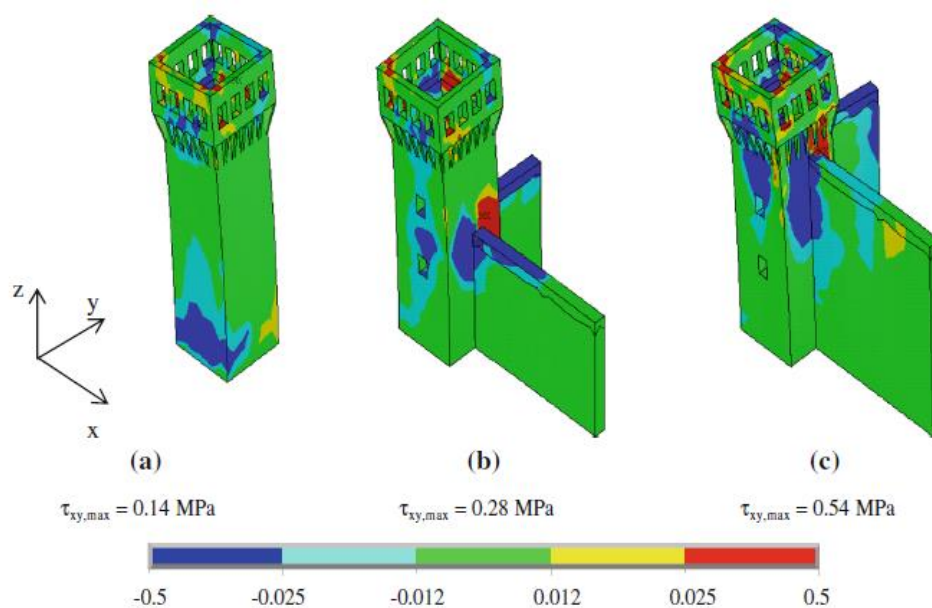


Figura 1.22 - Tensioni di sollecitazione da sisma nei modelli di torre isolata (a), torre vincolata da pareti corte (b), torre vincolata da pareti alte (c). Fonte [14]

Un'ulteriore differenziazione di comportamento dei modelli è registrabile anche nella parte sommitale caratterizzata dalla presenza di merlature, evidenziata nella Figura 1.23; questa zona, nelle fortificazioni sottoposte a sisma, come verrà analizzato successivamente, risulta segnata spesso da forti danni e lesioni. Nel caso di torre isolata, il comportamento a presso-flessione comporta nella parte superiore un taglio che si concentra nella parte centrale. Nel caso di torre connessa con la fortezza, il taglio sommitale diventa più rilevante e diffuso e ciò viene evidenziato non solo dalle lesioni oblique, ma anche e soprattutto dalle deformazioni delle aperture poste tra i merli.

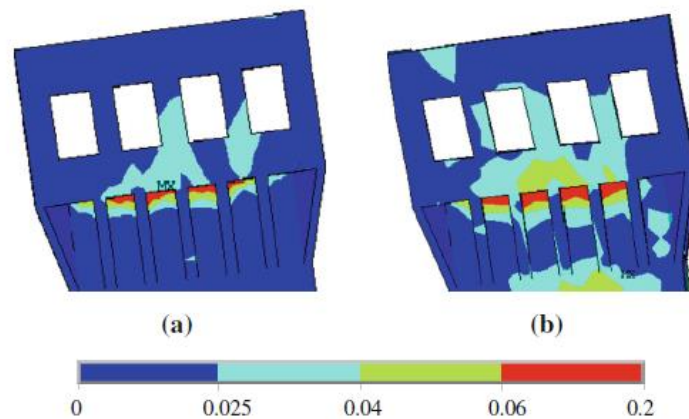


Figura 1.23 - Tensioni di sollecitazione nella parte sommitale della torre nei modelli di torre isolata (a) e di torre vincolata (b). Fonte [14]

Per completezza, prima di procedere alla stesura dei meccanismi di danno nelle torri, si fa riferimento ad altri due articoli, *"Assessment of seismic vulnerability of historical defensive walls"* [18] e *"An integrated Survey Experience for Assessing the Seismic Vulnerability of Senigallia's Fortress (Italy): Documentation for Conservation and FEM Modeling"* [19] i quali fanno riferimento alla Rocca Roveresca di Senigallia, per andare ad indagare la vulnerabilità specifica anche della tipologia del torrione, avente caratteristiche tipologiche differenti dai tipi di torre sopra analizzati.

In prima battuta vengono suddivise le tipologie di muratura presenti nei torrioni, mostrate in Figura 1.24, sulla base del loro comportamento meccanico ipotizzato attraverso parametri meccanici tabulati.

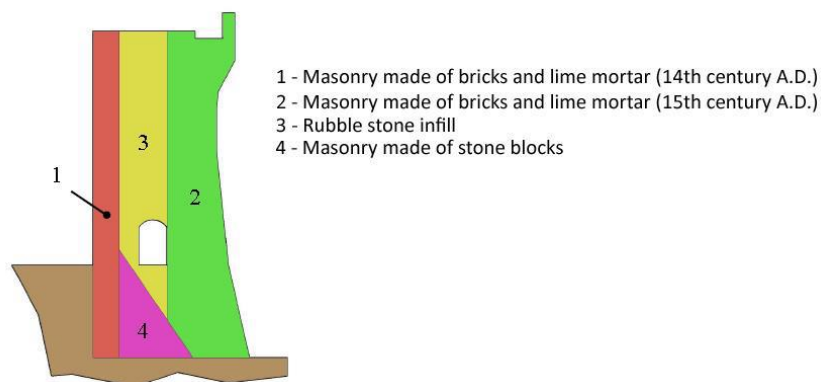


Figura 1.24 - Tipologie di muratura presenti nei torrioni della Rocca di Senigallia. Fonte [18]

Queste tipologie sono:

- muratura in blocchi di pietra squadrati, situati nelle parti inferiori più datate
- muratura in mattoni di argilla e sottili strati di malta, del XV secolo, con proprietà omogenee
- muratura in macerie, costituente gli elementi massicci, caratterizzata da una disposizione compatta

Sulla base di questa stratigrafia lo studio evidenzia alcuni aspetti: un'influenza non trascurabile del riempimento in pietrisco poco coeso sul meccanismo di collasso e un problema di disgregazione della muratura che può verificarsi nelle prime fasi di ribaltamento a seconda della qualità muraria [18].

L'analisi sismica, graficizzata nella Figura 1.25, ha evidenziato una produzione di sollecitazioni non simmetriche prodotte dalle azioni gravitazionali amplificate dalle azioni sismiche, con alcune concentrazioni ai bordi delle pareti delle camere interne [19].

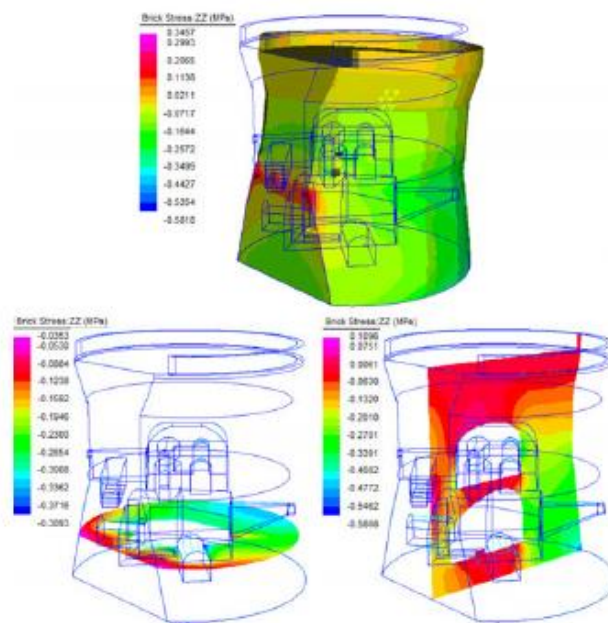
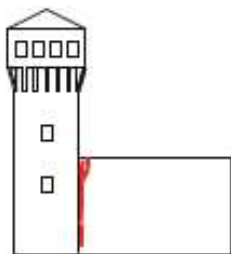
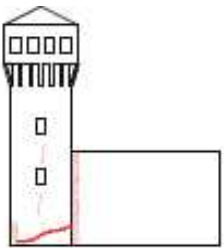
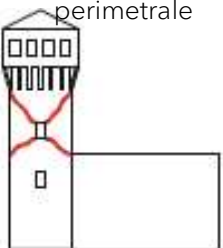
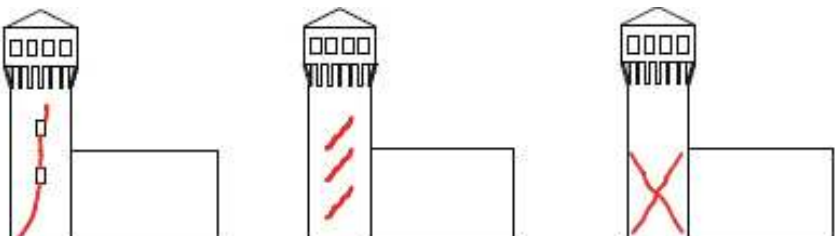
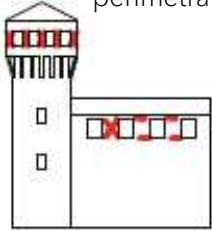
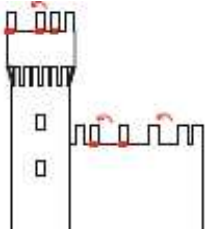
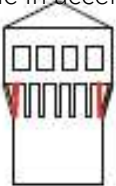

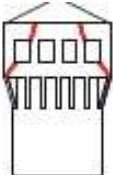
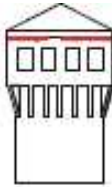
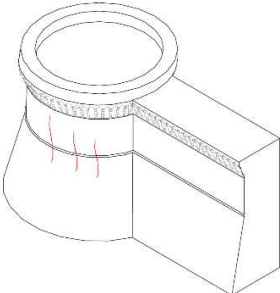


Figura 1.25 - Sollecitazioni prodotte sul torrione da azioni sismiche e gravitazionali. Fonte [19]

Si riporta nella Tabella 1.5 il primo abaco dei meccanismi di collasso relativo al primo elemento analizzato delle fortificazioni, le torri, derivato dalla rielaborazione dei modi di danno individuati negli articoli sopra descritti.

Tabella 1.5 - Abaco dei meccanismi di collasso delle torri

Abaco dei meccanismi di collasso delle torri (T)		
1. Interazione torre-perimetro	<p>a. Fessure lungo il collegamento tra torre e cortina perimetrale</p> 	
2. Corpo principale [14]	<p>a. Danno alla base della torre dovuto alla combinazione di compressione e flessione</p> 	<p>b. Crepe di taglio sopra il livello della cortina perimetrale</p> 
	<p>c. Fessure di taglio con possibili effetti torsionali quando torre è ben collegata al muro della fortezza</p>	
		

3. Parte superiore [14]	a. Danni nel piano: flessione o crepe di taglio nelle merlature o nei muri perimetrali	b. Danni fuori piano delle merlature: ribaltamento di elementi in rilievo
		
3. Parte superiore [14]	c. Danneggiamento di elementi sporgenti dovuto a alta componente verticale in accelerazione	d. Danni per irregolarità in elevazione
		
4. Tetto [14]	a. Danni dovuti alla spinta del tetto negli angoli della torre o nella parte superiore del muro perimetrale	b. Scorrimento tra parete in muratura e cordolo in cemento armato
		
5. Corpo del torrione	a. Fenomeni di spinta sulle pareti con impianto circolare dei torrioni d'angolo nei quali sono evidenziali quadri fessurativi sub-verticali.	
		

1.2.4.2 Principali meccanismi di danno nelle mura e nei complementi difensivi

Lo sviluppo delle architetture fortificate, per quasi tutti gli elementi, ha spesso visto un passaggio da configurazioni rudimentali e provvisorie in legno ad evoluzioni permanenti in muratura; come accade ad esempio negli apparati a

sporgere. Le evoluzioni riscontrate hanno riguardato principalmente il passaggio da un sistema di protezione passiva ad una difesa attiva con l'avvento dell'arma da fuoco, la quale ha portato alla creazione di pareti costruite con rapporti altezza-spessore inferiori per aumentare la stabilità contro le azioni orizzontali [8]. Ulteriormente questi manufatti sono stati nel tempo adattati a residenze, apportando delle modifiche importanti come l'aumento delle aperture, l'inserimento di tetti sopra le merlature, con la trasformazione delle stesse in finestre e cambiamenti nell'organizzazione dello spazio interno [8].

L'articolazione sempre più complessa degli elementi e della composizione delle fortificazioni, con forti irregolarità sia in pianta che in alzato, ha portato con sé la formazione di vulnerabilità specifiche localizzate su altri elementi caratterizzanti le architetture fortificate quali: le cortine murarie, le merlature, gli elementi sporgenti e le fondazioni.

Tra gli studi condotti sulle vulnerabilità degli edifici fortificati, l'articolo *"Force-Based Seismic Evaluation of Retrofitting Interventions of Historic Masonry Castel by 3D Rigid Block Limit Analysis"* [20] ha riscontrato che il meccanismo più debole in tali elementi, soprattutto nelle cortine murarie, è attivato per il carico fuori piano nel caso in cui la connessione tra pareti trasversali risulti poco efficace, attivando così meccanismi di ribaltamento globali. Per i carichi nel piano invece, come mostrato in Figura 1.26, i meccanismi analizzati sono attivati dalla presenza di aperture o a seguito della variazione dello spessore delle pareti [20].

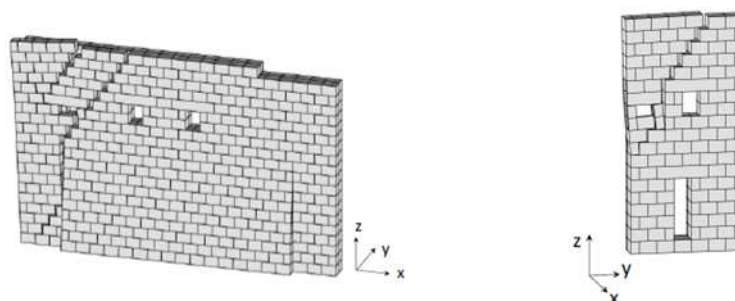
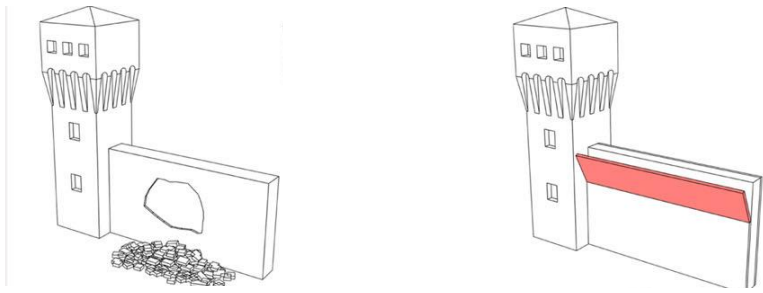
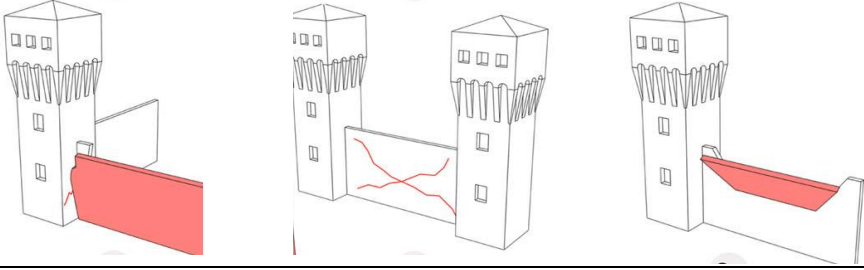
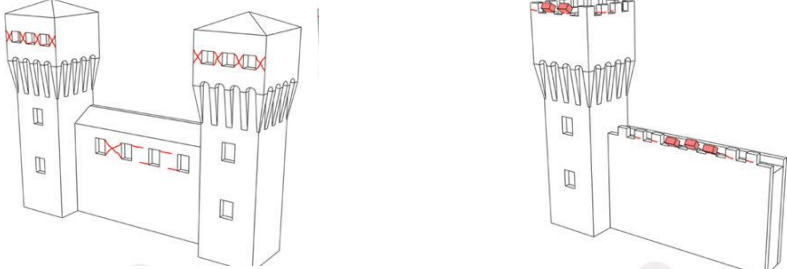


Figura 1.26 - Meccanismi nel piano influenzati dalla presenza di aperture. Fonte [20]

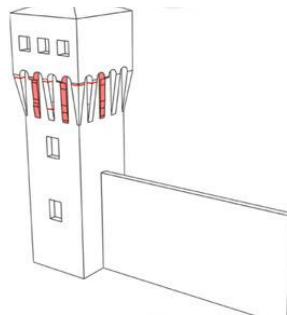
Di seguito, nella Tabella 1.6, si vanno a schematizzare i meccanismi individuati i macroelementi e complementi difensivi sopra citati.

Tabella 1.6 - Abaco dei meccanismi di collasso delle mura e dei complementi difensivi

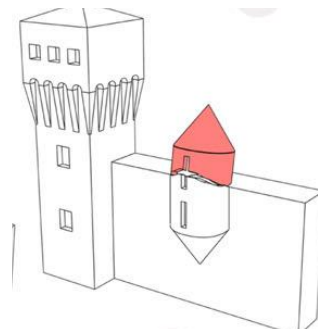
Abaco dei meccanismi di collasso delle mura e dei complementi difensivi (M)	
	a. Sgretolamento della muratura b. Delaminazione del rivestimento
1. Muratura [8]	 <p>The diagram illustrates two failure modes for masonry. On the left, a tower section is shown with a crumbling block of masonry falling away, with rubble on the ground. On the right, a tower section is shown with a red layer (representing a facing or plaster) peeling away from the main masonry structure.</p>
	<p>a. Crepe causate dal differente comportamento dinamico tra torre e parete b. Fessure di taglio c. Ribaltamento fuori dal piano dell'intera parete o delle sue porzioni</p>
2. Pareti [8]	 <p>The diagram illustrates three failure modes for walls. On the left, a wall is shown with a vertical crack and a red shaded area at its base, indicating flexural or shear cracks. In the middle, a wall is shown with diagonal shear cracks. On the right, a wall is shown with a large red shaded area at its base, indicating overturning out of its plane.</p>
	<p>a. Crepe flessionali o di taglio nel piano b. Ribaltamento</p>
3. Merlature [8]	 <p>The diagram illustrates two failure modes for crenellations. On the left, two towers are shown with red 'X' marks on their crenellations, indicating damage. On the right, a tower is shown with a red shaded area on its crenellations, indicating damage or delamination.</p>

4. Elementi sporgenti [8]

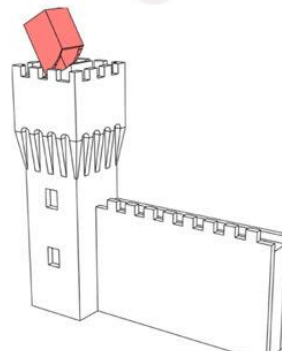
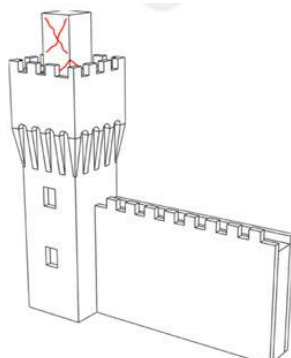
a. Danni ai beccatelli eventualmente aggravati dalla componente verticale di accelerazione



b. Danni alle torrette sporgenti

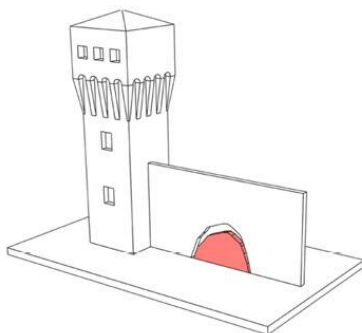


c. Danni alle sentinelle, pinnacoli ed altri elementi sporgenti

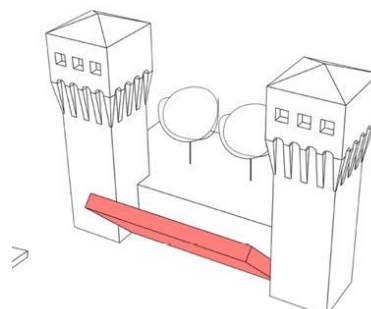


5. Fondazione [8]

a. Caduta della roccia di fondazione o insediamento del terreno



b. Ribaltamento delle pareti causato dalla spinta dinamica del terreno



1.2.4.3 Principali meccanismi di danno negli edifici interni alla fortificazione

Come già descritto nelle sezioni precedenti, per ciò che concerne la classificazione dei meccanismi di danno delle architetture fortificate, è stato utile suddividere questi complessi in porzioni più piccole e indipendenti a livello sismico e ricondurre i relativi modi di danno a casi già studiati in letteratura. Sono state quindi indagate le vulnerabilità specifiche delle torri, delle cortine murarie, delle merlature, degli apparati a sporgere e delle fondazioni; i restanti elementi che

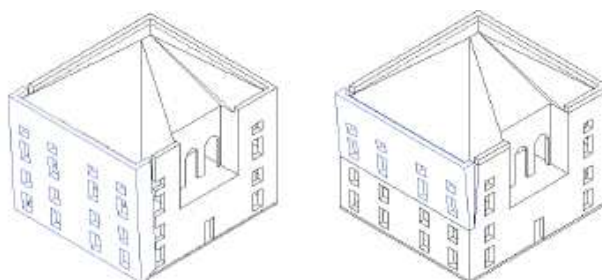
compongono i complessi fortificati sono sicuramente gli edifici interni, evoluti nel tempo insieme alla fortificazione stessa e oggetto di modifiche nei secoli. Tali elementi, edificati per la maggior parte dei casi in muratura, sono solitamente caratterizzati da meccanismi di danneggiamento tipici dei palazzi [14]. Il Dipartimento della Protezione Civile nel 2006 ha stilato una classifica dei principali modi di danno per i palazzi, “*modulo di rilevazione dei danni*” [16], che è stata presa come base per rielaborare l’abaco di seguito riportato (Tabella 1.7).

Tabella 1.7 - Abaco dei meccanismi di collasso degli edifici interni alla fortificazione

Abaco dei meccanismi di collassi degli edifici interni alla fortificazione (E)

1. Pareti [16]

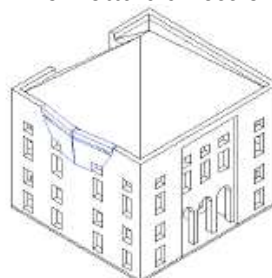
a. Ribaltamento globale o parziale



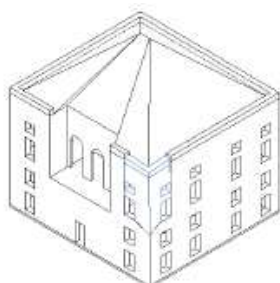
b. Instabilità verticale



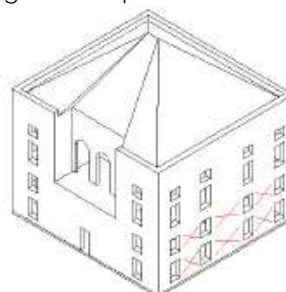
c. Rottura a flessione



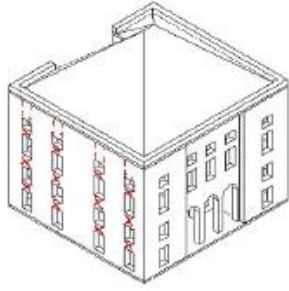
d. Ribaltamento del cantonale



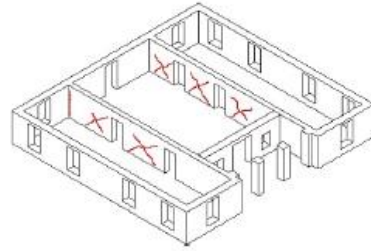
e. Taglio nelle pareti esterne (maschi)



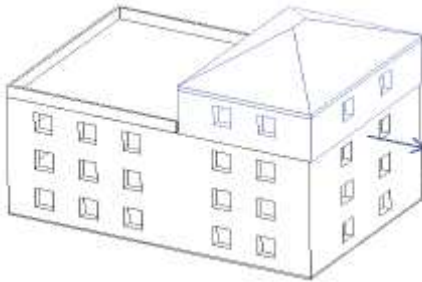
f. Taglio nelle pareti esterne (fasce)



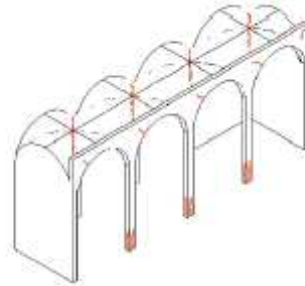
g. Taglio nelle pareti interne



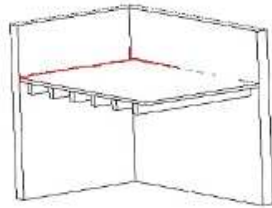
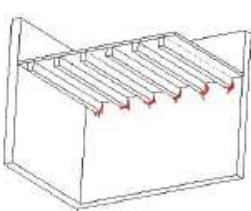
h. Scorrimento di piano



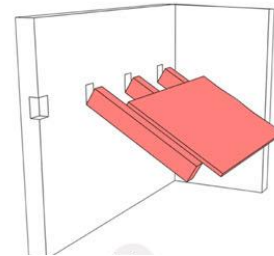
i. Danno ai porticati/logge



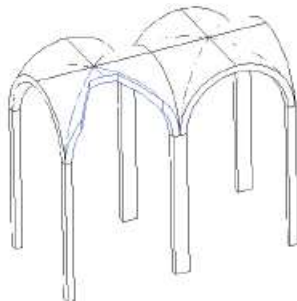
a. Sfilamento testa delle travi e martellamento



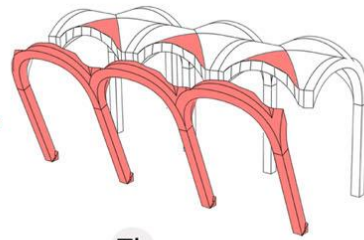
b. Danni ai solai per travi deteriorate



c. Collapsi locali dell'impalcato della volta

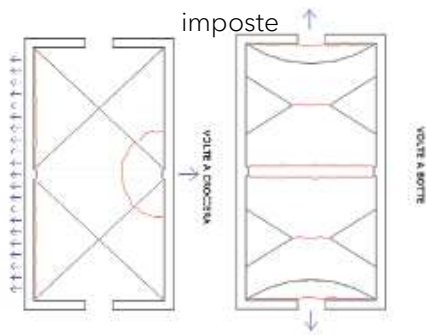


d. Danni alle volte per movimento degli elementi di supporto

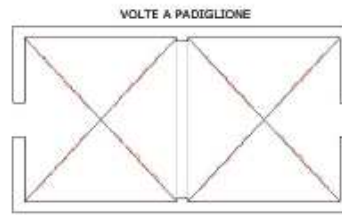


2.Orizzontamenti [16] [8]

e. Danno alle volte per rotazione delle

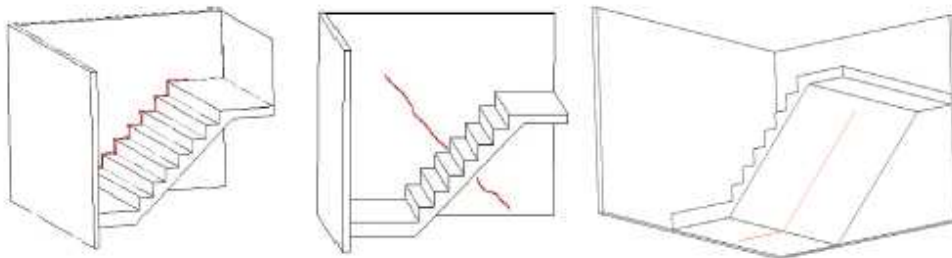


f. Danno alle volte per deformazione di piano



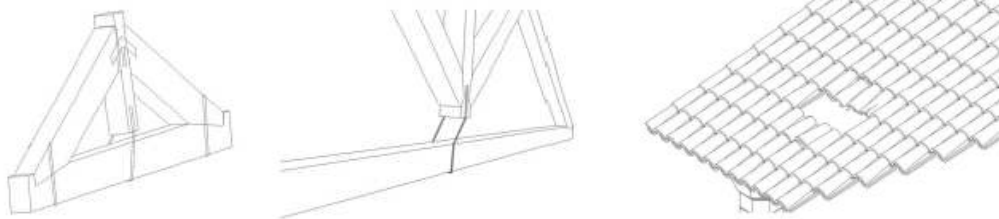
a. Danni alle scale

3.Scale [16]



a. Danno negli elementi di copertura

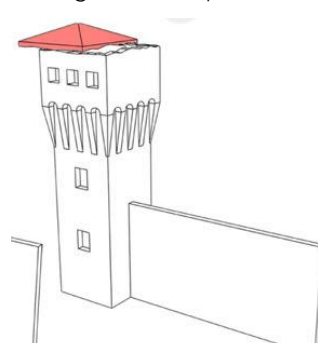
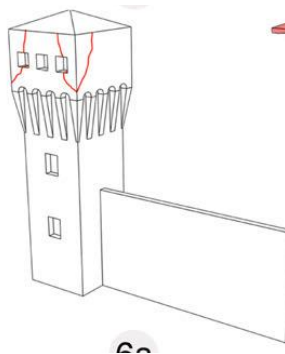
b. Danno al manto di copertura



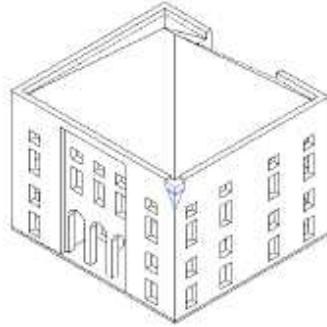
4.Coperture [16] [8]

c. Danni negli angoli nelle parti sommitali a causa del tetto spingente

d. Danni da taglio tra il tetto e le pareti, in particolare in caso di interventi di irrigidimento postumi

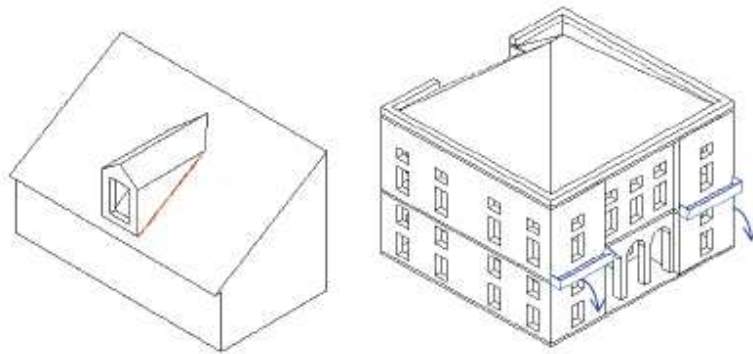


e. Ribaltamento delle fasce sottotetto e del timpano



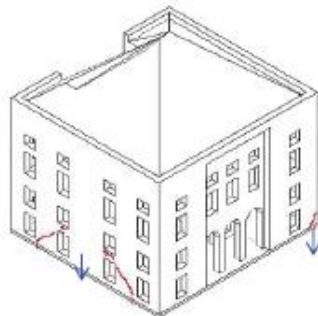
a. Danni agli elementi aggettanti

5. Elementi aggettanti [16]



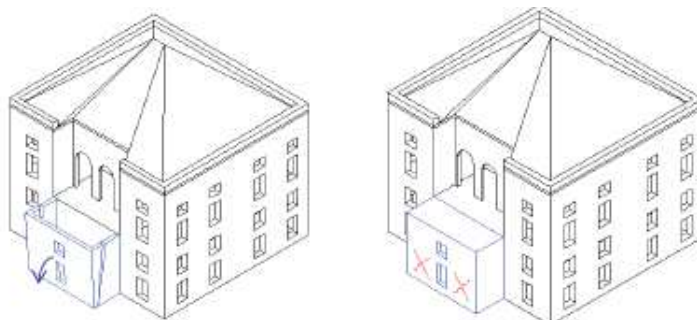
a. Cedimento

6. Fondazioni [16]

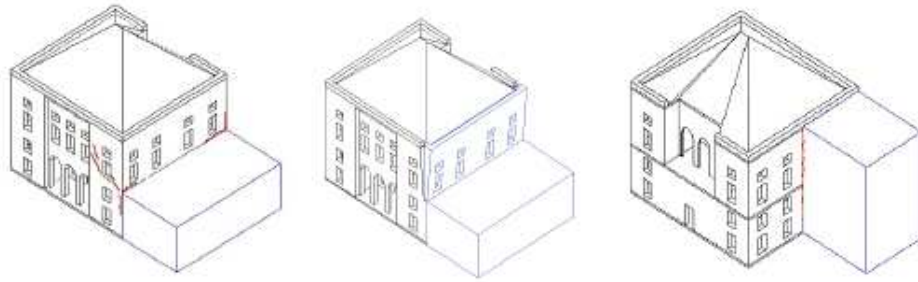


a. Danno nei corpi annessi

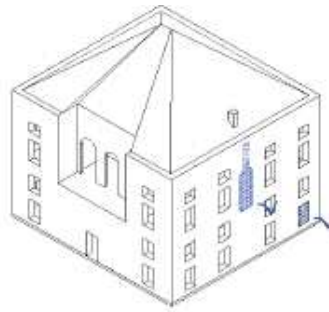
7. Corpi annessi [16]



a. Danni per irregolarità di forma



b. Collapsi locali per irregolarità costruttive e del materiale



1.2.4.4 Abaco unito dei meccanismi di collasso delle architetture fortificate

Grazie alla rielaborazione dei vari articoli citati, i quali prendevano in considerazione solo alcune porzioni dei manufatti fortificati nell'analisi dei modi di danno, è stato possibile raggiungere l'obiettivo della ricerca scientifica e creare quindi in questa sede un database generico dei cinematismi propri delle fortificazioni.

Unendo tutti i meccanismi di collasso sopra individuati viene di seguito proposta una catalogazione tramite dei codici univoci per avere una visione d'insieme dei cinematismi attivabili nelle architetture fortificate, suddivisi per le categorie già descritte nelle sezioni precedenti (§1.2.4.1, §1.2.4.2, §1.2.4.3). Nella Tabella 1.8 è riportata tale classificazione.

Tabella 1.8 – Abaco unito dei meccanismi di collasso delle architetture fortificate - codici

Abaco unito dei meccanismi di collasso delle architetture fortificate		
MACROELEMENTO	ZONA	MECCANISMI
Torri (T)	Interazione torre-perimetro	T1a
	Corpo principale	T2a ; T2b ; T2c
	Parte superiore	T3a ; T3b ; T3c ; T3d
	Tetto	T4a ; T4b
	Torrione	T5a
Mura e complementi difensivi (M)	Muratura	M1a ; M1b
	Pareti	M2a ; M2b ; M2c
	Merlature	M3a ; M3b
	Elementi sporgenti	M4a ; M4b ; M4c
	Fondazione	M5a ; M5b
Edifici interni (E)	Pareti	E1a ; E1b ; E1c ; E1d ; E1e ; E1f ; E1g ; E1h ; E1i
	Orizzontamenti	E2a ; E2b ; E2c ; E2d ; E2e ; E2f
	Scale	E3a
	Coperture	E4a ; E4b ; E4c
	Elementi aggettanti	E5a
	Fondazioni	E6a
	Corpi annessi	E7a
	Vari	E8a ; E8b

Segue un ulteriore approfondimento sull'analisi dei danni effettivamente riscontrati su numerosi casi studio proposti in letteratura per completare la visione d'insieme e conoscenza dei manufatti fortificati.

1.2.4.5 Rilevazione danni nelle architetture fortificate nei recenti sismi

Numerosi articoli presenti in letteratura e già presi in considerazione nella presente ricerca scientifica hanno analizzato e classificato i danni rilevati sulle architetture fortificate nel territorio italiano a seguito di eventi sismici significativi. Tale studio permette non solo di conoscere e approfondire caso per caso i cinematismi attivati

e già descritti sopra (§1.2.4.1, §1.2.4.2, §1.2.4.3), ma anche e soprattutto di conoscere, sulla base dei danni riscontrati più frequentemente, quelle che sono le zone più a rischio nelle architetture fortificate per intervenire su di esse ed avere un controllo per quanto possibile completo sulla conservazione di tali manufatti storici. Un ulteriore aspetto che può essere compreso tramite l'osservazione dei danni nelle fortificazioni, e che verrà analizzato più approfonditamente nella prossima sezione, è una visione critica degli interventi di restauro e recupero eseguiti negli anni per indagare sugli effetti, benefici o dannosi, di tali esecuzioni proposte negli anni.

Di seguito vengono rielaborate alcune tabelle (Tabella 1.9, Tabella 1.10, Tabella 1.11, Tabella 1.12, Tabella 1.13) presentate negli articoli di letteratura sopra citati, in particolar modo si è deciso di riportare le indagini relative alle zone geografiche comprendenti o vicine al caso studio di questa tesi, la Rocca Demaniale di Gradara, per poter fare un'analisi dei danni ricorrenti su tipologie di fortificazione quanto più vicine possibile a livello costruttivo e tipologico.

Tali tabelle sono suddivise sulla base dei singoli eventi sismici registrati e relative zone geografiche di epicentro [8]. Per ogni fortezza analizzata vengono specificati alcuni aspetti utili a comprendere le specificità del caso:

- Provincia
- Tecnica costruttiva: mattoni (M), pietra (P), tufo (T), misto (MX)
- Torri: non presenti (N), circolari (C), rettangolari (R)
- Merlature: sì (S), no (N)
- Stato attuale: rovina (R), in uso (U), abbandonato (A)
- PGA Max: massima accelerazione al suolo registrata in [g]
- Morfologia territoriale: piana (T1), leggermente pendente (T2), fortemente pendente (T3), cresta (T4)

A queste informazioni si aggiungono poi gli effettivi danni registrati e riferiti all'abaco dei meccanismi di collasso delle architetture fortificate (Tabella 1.8).

Tabella 1.9 - Danni nelle architetture fortificate di Umbria e Marche a seguito del sisma del 1997

Fortezza	Provincia	Tecnica costruttiva	Torri	Merlature	Elementi sporgenti	Stato attuale	PGA Max	Morfologia	Meccanismi di collasso		
									Torri	Mura e complementi difensivi	Edifici interni
Torre civica di Fermignano	PU	MX	R	N	S		0.08	T1	T2c		E2d
Castello di Lanciano, Castelraimondo	MC	M	R	S	S	U	0.16	T1		M2a	E2d
										M2b	
										M4c	
Castello di Spindoli, Fiuminata		P	R	N	N	R	0.28	T4		M1b	E2d
Fortezza di Acquaviva Picena	AP	M	R	S	S	U	0.04	T3	T2b		
Castello di Rocca Montevermine		M	R	S	S	U	0.08	T3		M2c	
										M4a	

Tabella 1.10 - Danni nelle architetture fortificate in Emilia a seguito del sisma del 2008

Fortezza	Provincia	Tecnica costruttiva	Torri	Merlature	Elementi sporgenti	Stato attuale	PGA Max	Morfologia	Meccanismi di collasso		
									Torri	Mura e complementi difensivi	Edifici interni
Castello di Torrechiana	PR	MX	R	S	S	U	0.08	T4	T2c	M2a	E2d
										M4a	
Rocca dei Terzi, Sissa	RE	M	R	S	S	U	0.08	T1	T2c		E2d
Rocca di Sanvitale Baganza, Sala Baganza		MX	R	N	S	U	0.10	T1	T2c	M2a	E2d

Rocca di Bianello, Quattro Castella	MX	R	N	N	U	0.12	T3	T2c	E4c
								T2b	E2d

Tabella 1.11 - Danni nelle architetture fortificate in Emilia a seguito del sisma del 2012

Fortezza	Provincia	Tecnica costruttiva	Torri	Merlature	Elementi sporgenti	Stato attuale	PGA Max	Morfologia	Meccanismi di collasso		
									Torri	Mura e componenti difensivi	Edifici interni
Castello di Palata Pepoli, Crevalcore	BO	M	R	N	S	U	0.29	T1	M3a		
									M4b		
Castello di Galeazza		M	R	S	S	U	0.24	T1	M2c		
									M3b		
									M4a		
									M4b		
Castello della Giovannina, San Giovanni in Persiceto		M	R	S	S	U	0.21	T1	T2b	M3b	E2b
									T2c	M4b	E2d
Castello dei Ronchi, Crevalcore		M	R	S	S	U	0.21	T1	T2b	M4a	E4c
											E4d
									T2c		E2b
Castello Lambertini, Poggio Renatico		M	R	S	S	U	0.09	T1	T2a		
									T2b		
Rocca Possente, Stellata di Bondeno		M	N	S	S	U	0.17	T1			E4c
											E2d
Castello dei Pio a Carpi	MO	M	R C	S	S	U	0.19	T1	T2c	M3b	E2b

										T2a	M4b M4c	E2d
Rocca di Finale Emilia		M	R	S	S	U	0.29	T1		T2a	M2a	E4c
											M3a	
										T2c	M3b M4a	
Castello Pico della Mirandola, Mirandola		M	N	S	S	U	0.30	T1			M1b	E4c
											M2b	E2b
											M2c	E2d
Rocca di San Felice sul Panaro		M	R	S	S	U	0.32	T1		T2c	M1b	E4d
											M2a	
											M2c	E2b
											M3a	
											M3b	E2d
											M4a	
Rocca Campori a Soliera		M	R	N	S	U	0.14	T1		T2b		E2d
Rocca di San Pietro in Elda, San Prospero		M	R	N	N	A	0.20	T1		T2c		
											T2b	
Rocca di Reggiolo	RE	M	R	S	N	U	0.10	T1		T2c	M2c	
											M3a	
											M3b	
Torre Matildica di Galliano, Governolo	MN	M	R	S	N	U	0.08	T1			M2a	
											M5a	
Palazzo Ducale Gonzaghese, Revere		M	R	S	S	U	0.12	T1		T2c	M4c	

Torre civica, Sermide	M	R	S	S	U	0.16	T1		M4c
Torre Prigione, Gonzaga	M	R	S	N	U	0.12	T1	T2c	M3a

Tabella 1.12 - Danni nelle architetture fortificate in Abruzzo a seguito del sisma del 2009

Fortezza	Provincia	Tecnica costruttiva	Torri	Merlature	Elementi sporgenti	Stato attuale	PGA Max	Morfologia	Meccanismi di collasso	
									Torri	Mura e complementi difensivi
Forte Spagnolo, L'Aquila	AQ	P	N	N	N	U	0.36	T1	M2b	E2b
									M2c	E2d
Castello di Barisciano		P	R	N	N	R	0.12	T4	T2c	M1a
Castello di Ocre		P	R	N	N	R	0.24	T4		M2b
										M2c

Tabella 1.13 - Danni nelle architetture fortificate nel Centro Italia a seguito del sisma del 2016

Fortezza	Provincia	Tecnica costruttiva	Torri	Merlature	Elementi sporgenti	Stato attuale	PGA Max	Morfologia	Meccanismi di collasso	
									Torri	Mura e complementi difensivi
Castello Pallotta, Caldarola	MC	MX	R	S	S	U	0.12	T2	T2b	M2c
										M4a
Castello di Brunforte, Loro Piceno		M	R	S	N	A	0.08	T2	T2c	

Rocca di San Filippo, S. Angelo in Pontamo		M	R	S	S	A	0.08	T2		M4c	E4c
Castello delle Rancia, Tolentino	MC	M	R	S	S	U	0.08	T1	T2c	M3b	
Mura e porte fortificate, Tolentino	MC	MX	R	S	S	U	0.08	T1		M3b	E4c
										M4a	
Castello di Carpignano, San Severino Marche		P	R	N	N	R	0.08	T2	T2c	M1b	
Castel Fantellino, Ussita		P	R	N	S	U	0.52	T4	T2b		
Rocca di Arquata del Tronto	AP	MX	R	S	S	U	0.44	T1		M3b	
										M4b	
Castel di Luco, Acquasanta Terme		P	N	N	N	U	0.24	T1		M2b	
										M2c	
Mura di Norcia	PG	P	R	N	S	U	0.36	T1	T2c	M1b	
										M2c	
										M5b	

Nelle tabelle sopra riportate (Tabella 1.9, Tabella 1.10, Tabella 1.11, Tabella 1.12, Tabella 1.13) sono stati evidenziati i meccanismi che più frequentemente si sono verificati nelle fortificazioni analizzate [8]. Questi sinteticamente sono:

- E2d: danni alle volte, causati solitamente da movimenti degli elementi di supporto
- T2c: Fessure di taglio nel corpo principale delle torri con possibili effetti torsionali in caso di buona connessione alle pareti
- M3b: ribaltamento delle merlature

Questi danni coinvolgono principalmente le volte, le merlature e le torri. Tale risultato è confermato anche in altre fonti, sia che esse prendano in considerazione manufatti della stessa zona geografica sopra analizzata, come nel caso di *“Architetture fortificate e terremoto: influenza delle tecniche costruttive sui meccanismi di danno”* [3], sia che si analizzi una zona più lontana, come nel caso di *“Le architetture fortificate del Friuli Venezia Giulia colpite dal sisma del 1976. Studi e osservazioni su alcuni interventi realizzati, anche con riferimento alla circolare n.26 del 2/12/2010 relativa alla valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale”* [21]. Si può dedurre quindi che i meccanismi più diffusi, che portano al collasso parti della struttura, riguardano perdite di equilibrio con conseguenti ribaltamenti fuori dal piano nel momento in cui la muratura sia stata realizzata a regola d’arte, fattore che diminuisce notevolmente la probabilità che l’elemento superi gli stati tensionali limite [3]. Il presente studio dei danneggiamenti necessiterebbe inoltre di valutare più approfonditamente, caso per caso, anche le tessiture e le apparecchiature impiegate, elementi che influiscono in maniera non trascurabile sulle tipologie di danno e che quindi modificano la percezione dei danni rilevati, ma per tale analisi si rimanda alla visione degli articoli citati. In questa sede è utile invece conoscere, sulla base della casistica riportata, quali sono gli elementi delle architetture fortificate più coinvolti nei quadri fessurativi per intervenire tempestivamente alla salvaguardia del bene storico e della sua conservazione. Si può quindi sintetizzare che, non considerando le specificità dei singoli casi studio e sulla base della morfologia articolata sia in pianta che in alzato, gli elementi più vulnerabili di tali manufatti fortificati sono soprattutto le merlature, gli apparati a sporgere e tutti gli elementi aggettanti, le volte e le torri. Per comprendere infine come intervenire al meglio su queste unità individuate e sulle architetture fortificate in genere, è opportuno fare un cenno alla bontà degli interventi eseguiti nel tempo su questi complessi storici e apprenderne i relativi vantaggi e svantaggi.

1.2.5 *Efficacia degli interventi moderni*

Negli anni le architetture fortificate sono state oggetto di interventi massicci a seguito di eventi sismici, con l’obiettivo di salvaguardare e rendere più solido il

manufatto. Con l'avvento di nuovi terremoti e con il passare del tempo si è valutata l'efficacia o inefficacia di tali interventi e l'archivio di articoli scientifici citati nella Tabella 1.14 oggi offre una serie di studi condotti su singoli casi studio o su una serie di manufatti che testimoniano l'efficacia di tali interventi e le conseguenze da essi creati e ne hanno stimolato una discussione critica e tecnica che ha permesso alle normative specifiche di adattarsi nel tempo e di modificare la propria visione sulle tipologie di intervento più o meno opportune. L'intento di questo ultimo approfondimento è proprio quello di descrivere gli effetti creati dagli interventi più diffusi effettuati negli ultimi decenni sui manufatti fortificati e di indicare quindi quali di questi siano dannosi per le strutture stesse e quali siano invece efficaci per lo scopo prefissato. Per raggiungere tale scopo si è fatto riferimento ad alcuni casi studio citati in vari articoli scientifici ed è stata creata una tabella per sintetizzare gli interventi effettuati e i conseguenti meccanismi di danno riscontrati.

Tabella 1.14 - Interventi e meccanismi di danno su casi studio di architetture fortificate

San Felice sul Panaro [14]	Inquadramento	Attuale configurazione risalente a XIV-XV sec. Nel cortile interno sono presenti strutture costruite in periodi differenti, che in alcuni casi potrebbero irrigidire le pareti circostanti ma nella maggior parte dei casi non sono adeguatamente collegate alla struttura originaria
	Interventi	Torri NW e SW: cordolo in cemento su cui è stata appoggiata la struttura spingente del tetto <hr/> Rinnovamento giunti di malta <hr/> Torre Sud: inserimento di barre di acciaio sulla parte superiore, con piastre di ancoraggio nascoste sotto la cortina muraria esterna <hr/> Torre Nord: trave ad anello in cemento armato pesante e rigida sopra una volta, adiacente al muro perimetrale.
	Meccanismi di danno	Torri NW e SW: crollo parte superiore per interazione tra cordoli e torre: danno più grave sul tetto e crepe di taglio sulla torre SW. Intervento sul tetto non efficace <hr/> Torre NE: diverse risposte sui vari lati a causa della diversa interazione tra gli edifici adiacenti e la diversa qualità della

connessione

Torre Sud: differenza di sforzo con parte inferiore ha causato concentrazione di danni in questa parte. La grande **canna fumaria** presente all'interno della parete ha **indebolito la struttura** in muratura. Crepe verticali tra torre e parete sul lato est, a causa di diverse modalità di deformazione che ha determinato concentrazione di tensioni di trazione alla base della torre. **Danno** concentrato anche **nei merli** centrali, interessati da taglio

Torre Nord: crollo causato dalla **spinta della volta** del chiostro **rinforzata** e dalla **manca di collegamento** tra due pareti angolari, indebolite dalla presenza di aperture tamponate. L'aumento della rigidità ha causato espulsione dell'angolo in muratura. Effetto sottolineato anche dalla posizione della torre in pianta.



Figura 1.27 - San Felice sul Panaro. Fonte [14]

Fortezza di Finale Emilia [14]

Inquadramento

Mastio del XIII sec, nel 1402 inglobato nel castello. XV sec edificate torri angolari. Aggiunti appartamenti ducali e tre livelli di portici che si affacciano sul cortile. XVI sec registrati i primi crolli e danni causati dall'umidità legati alla presenza del fiume. Nel 1896 prima serie di importanti restauri e rafforzamenti. Torre SW demolita e mastio rimasto indipendente

Torri: ricostruzione tetti attraverso **lastra in calcestruzzo armato** alleggerita con mattoni piatti cavi sopra il tetto in legno

Lato est: contrafforti in cemento armato. Diaframmi orizzontali in legno sostituiti con lastre in r.c. o travi in acciaio. Nelle **torri** inserite **travi ad anello** in calcestruzzo armato all'estradosso di volte a crociera

Mura NW: rafforzamento delle mura degradate da umidità

Lato SE: tiranti in acciaio nella parte superiore delle due torri. **Scuci-cuci** nelle torri e nella parete SE. In questa parete inserite barre d'acciaio per **collegamento di cortine esterne del muro a sacco**

Mastio: crollo completo. Già presente un fuori piombo di quasi 1 metro e larghe fessure confinate da cerchi metallici.

Gravi danni o **crollo di beccatelli** a sostegno dell'apparato sporgente delle torri, specialmente agli angoli a causa dell'elevata componente verticale

Crepe dovute a interazione tra torre e parete adiacente, caratterizzate da diverso comportamento sismico

Torre ovest: crollo completo della merlatura dovuto alla presenza della lastra di calcestruzzo e del cattivo stato di manutenzione, diversamente dalle torri sud e ovest

Lato SE: danni nei merli delle torri a causa principalmente della presenza della lastra di cemento sui tetti

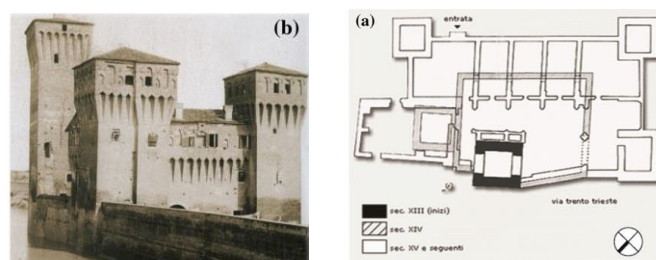



Figura 1.28 - Fortezza di Finale Emilia. Fonte [14]

Forte Galeazza [14]	Inquadramento	Edificata nella seconda metà XIV sec, la torre di avvistamento costituisce la parte più antica del castello. Successivamente costruita un'altra torre sulla prima, più sottile. Castello modificato più volte. Aggiunte più recenti risalgono alla seconda metà dell'Ottocento, con costruzione di castello con cortile e grande parco, in stile neogotico, al fine di trasformarlo in residenza estiva di lusso
	Interventi	Presenza di alcuni tiranti in acciaio
	Meccanismi di danno	Crollo della torre più piccola situata sulla torre di avvistamento
		Ribaltamento della parte superiore della facciata a causa della spinta del tetto in legno e alla mancanza di connessione
Ribaltamento dei merli , molto sottili, e degli elementi in evidenza (come le guglie site nell'ingresso della fortezza)		
		Danneggiamento delle mensole in muratura che sostengono la parte superiore della torre
		
	<p>Figura 1.29 - Forte Galeazza. Fonte [14]</p>	
Torriani di San Pietro in Elda [14]	Inquadramento	Costruito nella prima metà del XVI sec e segna il passaggio tra il castello fortificato e la casa campagna. Struttura caratterizzata da due torri e un edificio principale a pianta rettangolare, la cui elegante facciata presenta aperture ovali oltre due ordini di logge (oggi tamponate da muratura)

Interventi

Ondulazioni nella facciata della fortezza rivelano precedenti danni e insediamenti di fondazione

Meccanismi di danno

Fessure di **taglio nel corpo principale di entrambe le torri**; in particolare, un'ampia fessura di taglio verticale che sale le torri, unendo le finestre e poi gira verso il tetto del corpo centrale. Da qui, una seconda crepa raggiunge le finestre ovali. Il modello di crack dà prova della riposta sismica di taglio della torre

Crepe di **taglio sopra il punto di distacco di ogni torre dalla struttura** centrale



Figura 1.30 - Torrioni di San Pietro in Elda. Fonte [14]

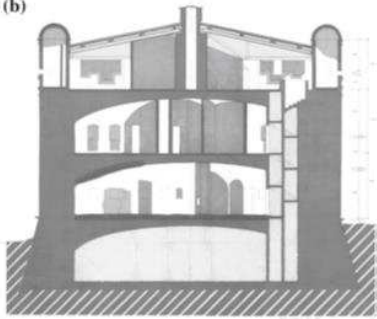

Rocca Possente Stellata [14]

Inquadramento

Distrutta più volte dalla Repubblica di Venezia e ricostruita dagli Estensi (Ravenna 1978; Baricchi e Massaretti 1991). La fortezza assunse la sua attuale forma a stella, con angolo bastione adatto a resistere alle artiglierie, sotto i duchi Ercole e suo figlio Alfonso II intorno al 1560

Interventi

Copertura: inizio 1900 aggiunta **del tetto in legno pesantemente restaurato** alla fine del secolo

Meccanismi di danno	Danni alle torri
	In conseguenza del tetto aggiunto , danni strutturali rilevanti alla base del pilastro centrale e sulla volta sottostante
(b)	
Figura 1.32 - Sezione di Rocca Possente Stellata. Fonte [14]	
Figura 1.31 - Rocca Possente Stellata. Fonte castlesintheworld.wordpress.com	
Inquadramento	Costruito nel medioevo e caratterizzato da u fronte asimmetrico rispetto alla torre centrale, fu più più volte modificato e ingrandito. Attualmente ospita il municipio.
	Modificato stile architettonico in un castello-palazzo neogotico (Carini 1887)
Castello Lambertini [14]	Interventi
	Lato Nord: aggiunta nuova sezione e cortile trasformato in piazza della città
Tetto: in alcune zone ricostruito in cemento armato	
Meccanismi di danno	Torre: crollo
	Forte irregolarità relativa sia al piano in posizione (con una porzione sporgente) e in configurazione di elevazione
Scarsa qualità della muratura e successiva trasformazione che ha indebolito la qualità delle connessioni . Scarsa qualità della malta di calce	



Inquadramento

Origine tra XI e XII sec. Presente doppio sistema di mura con corte interna, un'alta torre a est e un sistema di due rivellini sul lato sud-ovest. Nei primi anni del '900 presente un forte stato di degrado causato dall'abbandono della fortificazione.

Interventi

Ricomposizione delle antiche forme medievali

Tiranti metallici

Meccanismi di danno

Rovesciamento del coronamento delle torri per mal posizionamento dei tiranti o inefficacia degli ancoraggi



Figura 1.33 - Rocca di Arquata del Tronto. Fonte it.wikipedia.org

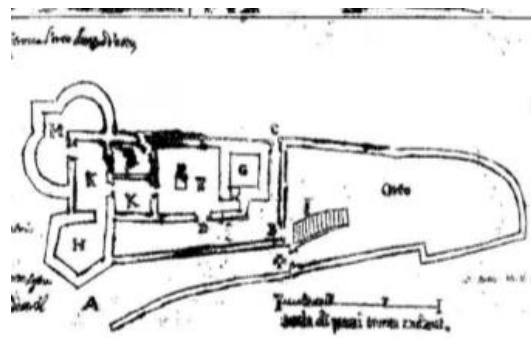


Figura 1.34 - Pianta Rocca. Fonte [22]

Dagli esempi citati in Tabella 14 si riscontra la frequente presenza di interventi di tipo massiccio sulle fortificazioni, come l'applicazione di cordoli in cemento armato o la sostituzione di coperture lignee con pesanti lastre in calcestruzzo. Questi tipi di opere sono scaturite da una pratica comune, causata anche dalla legge 64/1974, che prevedeva la realizzazione di cordoli in calcestruzzo armato nella parte sommitale delle murature [23]. Queste tecniche antisismiche ritenute valide negli anni '80 e largamente utilizzate hanno mostrato negli anni i loro difetti e si è compreso come l'impiego di questi elementi di elevata rigidità poteva innescare meccanismi di martellamento sulla muratura sottostante provocando il crollo in caso di movimenti orizzontali provocati da sisma [21]; quindi tali inserimenti portavano alla modificazione del comportamento strutturale a causa delle diverse concezioni di risposta sismica tra i sistemi intelaiati in cemento armato e quelli scatolari della muratura. Nel *"CODICE DI PRATICA PER LA PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI RIPARAZIONE, MIGLIORAMENTO SISMICO E RESTAURO DEI BENI ARCHITETTONICI DANNEGGIATI DAL TERREMOTO UMBRO-MARCHIGIANO DEL 1997"* vengono specificate tutte le problematiche innescate dall'utilizzo di cordoli in cemento armato e di tutte le altre opere invasive che si era soliti eseguire per migliorare sismicamente una struttura in muratura. Innanzitutto si è osservato come la presenza di tali cordoli accentui in primo luogo la frequenza e l'entità dei meccanismi di taglio sulle murature sottostanti, aggravando i danni dovuti a questo tipo di sollecitazione, e inneschi inoltre modalità di comportamento differente per i meccanismi fuori piano [23]. L'utilizzo di pesanti cordoli porta con sé un aumento importante delle sollecitazioni impresse sulla muratura sottostante e, per fare in modo che questa sia in grado di sopportarle, si dovrebbe prevedere un irrigidimento della stessa attraverso iniezioni che permettano di fronteggiare al meglio gli sforzi di taglio imposti; questo tipo di intervento risulterebbe quindi ad alto impatto e troppo invasivo nei confronti del manufatto storico e quindi non accettabile. Viene poi specificato che tali opere interferiscono con le orditure lignee delle coperture dal momento in cui il cordolo avrebbe necessità di essere posto al di sotto della quota di imposta delle orditure e questo avrebbe come conseguenze una demolizione importante di tratti di copertura, anche questo non accettabile nei confronti dei criteri del restauro. Un altro elemento non sottovalutabile, che forse è la causa primaria della non praticabilità del cordolo armato nelle strutture in

muratura, è la diversa concezione e il diverso comportamento dei due sistemi uniti: *“il cordolo cementizio a sezione quadrata o rettangolare costituisce un elemento parziale derivato da un sistema costruttivo a telaio con solai rigidi e con tamponamenti non strutturali, la cui concezione è rivolta a raggiungere un comportamento elastico lineare, profondamente diverso dal sistema murario continuo, caratterizzato da comportamento non lineare. Così utilizzato, il solo cordolo non può raggiungere l’organicità strutturale del sistema intelaiato e giunge ad un modello ibrido, che si potrebbe definire a muratura corsata da elementi rigidi”* [23].

Un altro tema che viene affrontato nel testo riguarda un ulteriore tipo di intervento largamente diffuso nei restauri delle murature storiche, lo scuci-cuci. Il dibattito si concentra sull’importanza del tracciato delle lesioni per la lettura del manufatto storico e del fatto che in ogni modo ne andrebbe evitata la completa eliminazione per non rischiare di perdere un importante elemento diagnostico per il futuro [23]. La linea guida suggerisce di intervenire neutralizzando l’effetto delle discontinuità ma senza eliminare la traccia da cui è desumibile il processo costruttivo. Oltre ai citati motivi, si nutrono dubbi nell’utilizzo di tale tecnica anche a causa della sua efficacia non sempre ottimale; infatti, nel caso di murature molto spesse, non sempre si riesce a garantire una continuità strutturale e questo è evidenziato anche nell’osservazione di strutture danneggiate da sismi successivi che hanno riportato lesioni sui bordi delle zone precedentemente riparate [23].

Nella totalità delle opere per il miglioramento sismico delle strutture in muratura, quelle soggette maggiormente a dubbi e di conseguenza scartate dalla pratica comune sono state quelle più invasive nei confronti dell’elemento murario stesso, come nel caso di tutti gli interventi che prevedevano l’utilizzo del calcestruzzo armato e la sostituzione di elementi leggeri con altri più pesanti ed invasivi nella parte sommitale della struttura, i quali nella casistica registrata hanno accentuato i danni provocati dalla spinta sismica orizzontale. Negli altri casi, come per l’utilizzo di tiranti metallici o la stilatura dei giunti di malta, interventi ritenuti ottimali, la manualistica si è evoluta nello specificarne il corretto impegno e permettendone una massimizzazione dell’efficacia, puntualizzando ad esempio il giusto posizionamento e tiraggio o la tipologia di materiale da utilizzare.

Oggi il riferimento principale per gli interventi di miglioramento sismico sulla muratura storica sono le Linee Guida n.26 del 2 dicembre 2010 ed altre normative specifiche che, grazie agli studi condotti sulle tecniche precedentemente utilizzate, hanno contribuito a diffondere i concetti di reversibilità, minimo intervento, compatibilità e leggibilità propri della concezione contemporanea del restauro e del recupero; ed oggi è proprio sulla base di questi concetti e sullo studio stratigrafico-costruttivo del singolo caso studio che si realizzano i modelli strutturali specifici e realistici e si progettano interventi mirati sul patrimonio architettonico per la riparazione dei danni e la prevenzione degli stessi.

1.3 Il caso di studio: la Rocca di Gradara

Gradara è un comune nella provincia di Pesaro e Urbino (PU), da sempre terra di confine tra Marche e Romagna, è dominato dalla inconfondibile Rocca (Figura 1.35) circondata da un piccolo borgo medievale e da una doppia cinta muraria.



Figura 1.35 - Il Borgo e la Rocca di Gradara. Fonte immagine [24]

La cittadina, il cui nome sembra derivare da "*grata aura*" (aria buona), offre a chi la visita memorie di secoli di storia nella sua stupenda scenografia medievale costituita da una cortina di mura trecentesche coronate di merli guelfi e munite di bastioni rettangolari. Entrando dunque nel borgo attraverso la Porta dell'Orologio, un arco a tutto sesto sormontato da una torre quadrata (su cui sono murati gli stemmi dei Montefeltro, degli Sforza e dei Malatesta, ovvero le famiglie che hanno vissuto all'interno della Rocca) fornita di ponte levatoio. Subito sulla destra, dopo la Porta dell'Orologio, vi è l'ingresso al camminamento di ronda. Le mura sono uno degli elementi più interessanti e caratteristici di Gradara. Cingono il castello in doppio anello proteggendo e rendendo inespugnabile la rocca. Sono intervallate da torri quadrate e sono percorse in tutto il loro perimetro da camminamenti di ronda necessari per vigilare sul manufatto e sull'intero territorio [25].

La Rocca, frutto di continue trasformazioni e stratificazioni che hanno seguito le sorti politiche, storiche ed economiche della città: basta pensare che la prima fortificazione romana appartiene all'inizio del XI sec. e da allora la Rocca ha sempre rivestito un ruolo importante a Gradara, con le funzioni più disparate, da quella difensiva fino a quella museale attuale, trasformandosi nel corso dei secoli anche in residenza, deposito e cisterna per il borgo sottostante.

Il manufatto è caratterizzato da tutte le parti costitutive dell'organismo fortificato, sopra dettagliatamente descritte (§1.1.1) - sia nelle loro caratteristiche peculiari, sia nella loro evoluzione storica - possono essere osservate e identificate anche nel caso di studio in oggetto. Tutti questi elementi sono facilmente individuabili e distinguibili anche se nel tempo ha subito modifiche di notevole importanza rispetto a come la vediamo oggi, in quanto altro non è che il prodotto di una sovrapposizione di interventi fortificatori, dovuti a costruzioni e distruzioni per opera umana e naturale. Per una maggior comprensione dell'organismo storico oggetto di studio si riporta la Figure 1.36, nella quale vengono individuate le principali parti costitutive della Rocca di Gradara.



a)



b)



c)



d)



e)



f)



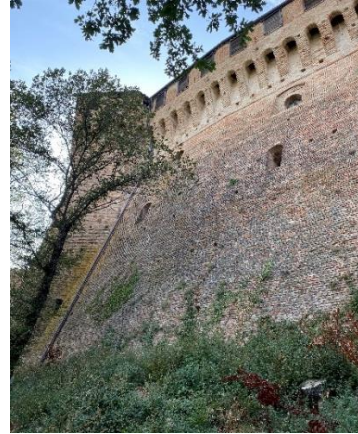
g)



h)



i)



l)



m)



n)

Figure 1.36 - a) Torri; b) Mastio; c) Cinta muraria; d) Palatium; e) Ingresso; f) Ponte Levatoio; g) Merlatura; h) Cammino di Ronda; i) Apparato a sporgere; l) Scarpa muraria; m) Feritoie; n) Falsabraga

1.3.1 Rilievo Geometrico

La Rocca di Gradara, da un punto di vista generale, non presenta punti di contatto con edifici del borgo sottostante, bensì risulta circondata da un'area adibita a giardino. Ciò che contraddistingue principalmente il complesso architettonico della Rocca, è il suo essere frutto del susseguirsi di una serie di trasformazioni costruttive che si sono succeduti nel corso dei secoli.

La documentazione di partenza per intraprendere tale lavoro di tesi è stata gentilmente messa a disposizione da parte della Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio delle Marche (Sabap Marche). Gli elaborati utilizzati rappresentano il frutto di studi e verifiche tecniche compiute nell'anno 2014, all'interno del

progetto "Verifica della sicurezza sismica dei Musei Statali, applicazione della OPCM 3274/2003 s.m.i. e della Direttiva PCM 12 Ottobre 2007" da parte della Direzione Generale per il paesaggio, l'architettura e l'arte contemporanea, DG PaBAAC e il Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Ambientale dell'Università degli studi di Padova.

Nel fascicolo del rilievo geometrico sono disponibili le piante di tutti i piani della Rocca, alcune sezioni complessive e i prospetti esterni in formato digitale (.pdf).

Le informazioni di carattere geometrico riportate in pianta e sezione sono risultate abbastanza affidabili per quanto riguarda la distribuzione degli ambienti mentre sono state riscontrate alcune difformità relativamente agli spessori delle mura perimetrali di alcune zone della Rocca, alla mancanza di alcuni aggiornamenti di carattere distributivo, all'errata indicazione circa le quote e altezze di interpiano di alcuni ambienti. Il rilievo fornito è stato successivamente elaborato, modificato e aggiornato in base allo stato attuale, per quanto sia stato possibile, e organizzato secondo le esigenze di lavoro; le tavole finali geometriche posso essere visionate all'ALLEGATO 1.

1.3.2 *Evoluzione storica e tipologico-costruttiva della Rocca*

La Rocca, come si presenta oggi, rappresenta il prodotto di una sovrapposizione di successivi eventi costruttivi, distruttivi e ricostruttivi avvenuti dal XII sec. circa fino al giorno d'oggi. Seppure la configurazione attuale sembri essere quella riconducibile al periodo cinquecentesco, dopo aver effettuato un'attenta e puntuale ricerca in letteratura, nel manufatto possono identificarsi almeno sei principali fasi costruttive.

1.3.2.1 Fase 1 - Dal "Periodo Romano" al Periodo dei "De Griffo"

Alcuni ritrovamenti archeologici fatti nelle vicinanze di Gradara, provano che queste zone già nel Neolitico, tra il V e il III millennio a.C., erano abitate dall'uomo. Anche a Gradara è quindi probabile si fossero insediati gruppi di quelle popolazioni che sappiamo precedettero la civilizzazione romana. Solo di quest'ultima rimangono però tracce importanti che ne denunciano il lungo permanere. Il popolo

romano, forse all'uso e alle tradizioni delle popolazioni locali, fin dalla sua conquista, iniziò ad organizzare l'agro dei *forum* (centri abitati). Tra i tanti reperti romani, rinvenuti qui nel corso dei secoli, si possono annoverare le pietre ben squadrate che si trovano alla base nell'angolo del Mastio all'interno della Rocca. Tale materiale di reimpiego, fu quasi certamente asportato dai resti dei monumenti sepolcrali che ancora si potevano lungo la vicina Flaminia, allorché venne costruita questa torre primigenia. Infatti, molti monumenti funerari, durante l'epoca romana, erano posti lungo le vie di accesso ai centri abitati.

L'epigrafe "L. DEMETRI" incisa in belle lettere capitali leggibili in una delle pietre angolari più lunghe (Figura 1.37 - a-b), risalirebbe all'età repubblicana (I sec a.C.) ed apparterebbe ad una iscrizione funeraria indicante il nome del defunto, *Demetri*, preceduto da una "L" puntata, la cui presenza indicherebbe la classe popolare di appartenenza, cioè i *L(iberti)*, ossia gli schiavi resi liberi [26].

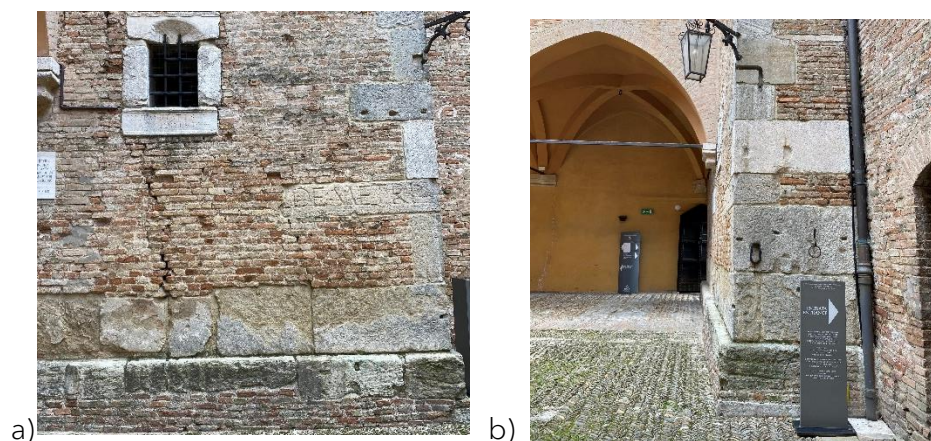


Figura 1.37 - Pietre romane sepolcrali con epigrafe rinvenute alla base del mastio.

In numerose pergamene ravennati, Gradara compare per la prima volta come *castrum* nell'anno 1150, attorno ad una delle tante torri che costellavano il territorio (Figura 1.38). Più modesta dell'attuale possente mastio di impianto malatestiano, la torre era circondata da un recinto quadrangolare fatto di steccati e palizzate che verrà, nelle epoche successive, affiancata da un *palatium*, seguito da altri complessi fino ad occupare tutto lo spazio del recinto. Risale infatti a questo la costruzione della prima cinta muraria o girone. Il mastio, eretto al vertice di un colle che sovrasta la Via Flaminia, per la ripida conformazione del terreno tufaceo non aveva bisogno

di mura dal lato di levante e da quello di settentrione; le alte e robuste muraglie su cui sorgeva erano più che sufficienti. Le parti volte a ponente e mezzodi invece, avendo innanzi un terreno pianeggiante (quello che diventerà poi la piazza d'armi) vennero difese da mura per uno sviluppo di circa 230 metri intercalate in quattro torri. Questo primo circuito murario, oggi di proprietà demaniale, come tutta la rocca, delimitava una superficie di circa 5000 mq [27].



Figura 1.38 - Ricostruzione storica del borgo di Gradara - Fase 1

In particolare, la principale caratteristica di questo grande mastio, è la planimetria irregolare: essa non solo presenta un rapporto tra la lunghezza dei lati contigui piuttosto sbilanciato, tendente cioè al rettangolo, ma in realtà è caratterizzata anche da una marcata differenza tra i lati opposti, il che la rende di fatto un parallelogramma irregolare. Una tale forma è inconsueta, ed è forse spiegabile con il fatto che essa fu costruita ricalcando sui lati sud-est e nord-est precedenti strutture. Anche la superficie della torre si discosta abbastanza dalla maggior parte delle torri romagnole coeve, che sono solitamente più piccole. Anche il fatto che nella sua parete nord-ovest si aprissero delle finestre, oggi murate ma identificabili nel paramento, aumenta la probabilità di una sua funzione abitativa oltre che, naturalmente, difensiva [28].

Il vano al piano terra del mastio presenta un arco rompitratta ogivale (Figura 1.39) a sostegno del solaio soprastante, esso potrebbe essere stato aggiunto posteriormente alla voltatura dell'ambiente, caratterizzata dal calco delle stuoie usate come casseforme sulle centine in legno usate al momento della costruzione [29].









Figura 1.39 - Arco ogivale nel piano terra del mastio

Va ricordato che quella della sovrapposizione della torre ad un tracciato difensivo più antico resta una ipotesi, dal momento che tutt'oggi non si hanno attestazioni documentarie dell'esistenza di strutture sulla sommità del colle di Gradara per i secoli precedenti al XII. Tuttavia, si sa che il fenomeno dell'incastellamento nell'area tra Rimini e Pesaro conosce il suo massimo sviluppo tra il X e XII secolo [30], e ciò rende quantomeno possibile che un castello recinto esistesse effettivamente [31] in quei secoli, e che la mancanza di una sua attestazione documentaria sia attribuibile alla scarsità di documentazione pervenuta.

Successivamente ci fu un breve dominio della famiglia dei De Griffo che sottrasse il vico gradarese, insieme ad altri beni terrieri, al Comune di Pesaro a cui questo era soggetto; ciò lo si rileva da un documento datato 1182, ma non sono state constatate delle modifiche a livello costruttivo [26].

Di seguito vengono proposte le rielaborazioni grafiche di piante, sezioni e ricostruzione tridimensionale della Rocca durante la Fase 1, basandosi sulla ricerca storica effettuata, secondo la legenda (Figura 1.40 e Figura 1.41).

LEGENDA

- | | | |
|---|---|---|
|  Fase 1 - Periodo Romano e dei De Griffo |  Fase 3 - Secoda fase malatestiana |  Fase 5 - Periodo sforzesco |
|  Fase 2 - Prima fase malatestiana. Giovanni M. |  Fase 4 - Terza fase malatestiana. Sigismondo M. |  Fase 6 - Restauro di Zanvettori |

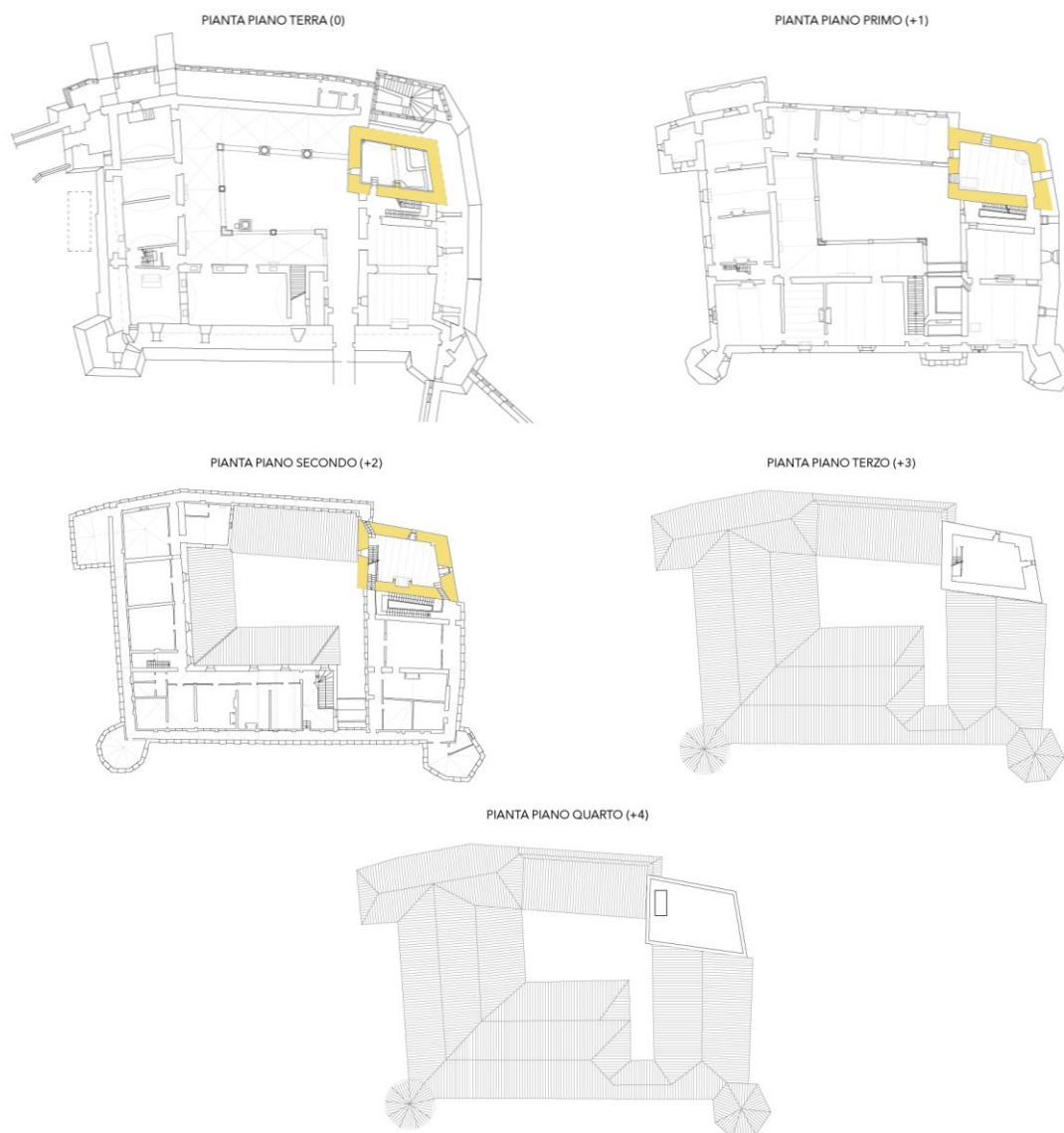
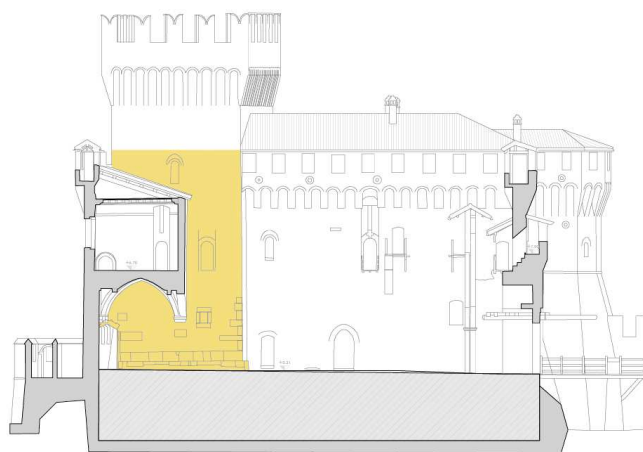
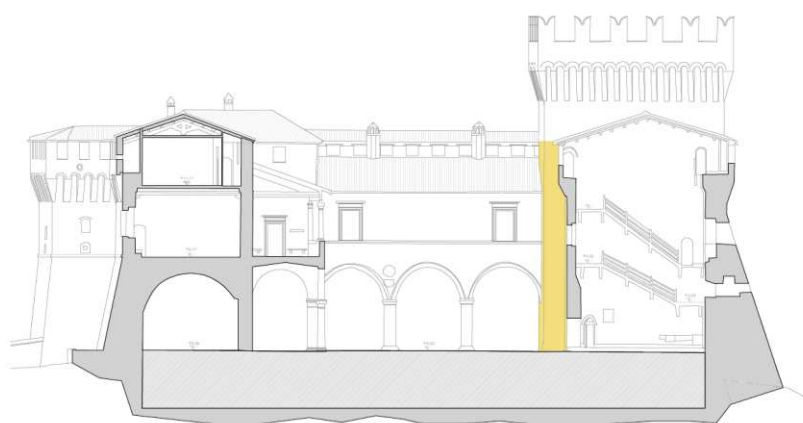
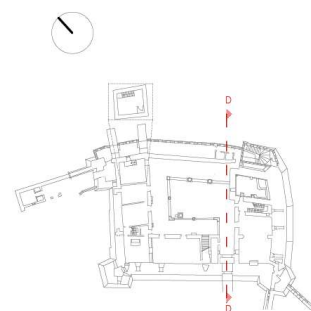


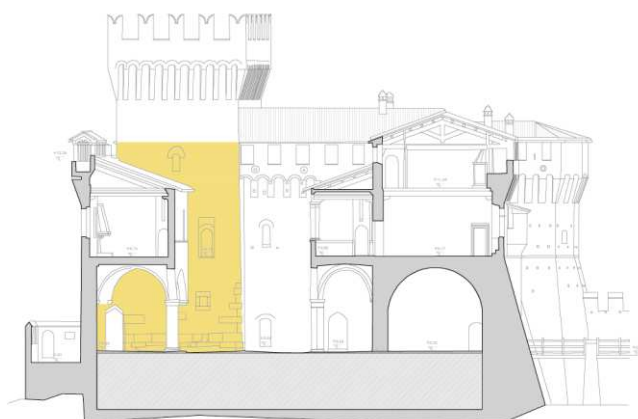
Figura 1.40 - Ricostruzione in pianta della Fase 1



SEZIONE DD



SEZIONE AA



SEZIONE EE

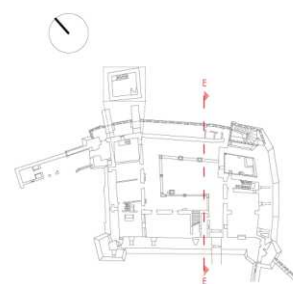


Figura 1.41 - Ricostruzione in sezione della Fase 1

1.3.2.2 Fase 2 - "Prima Fase Malatestiana", Giovanni Malatesta

La storia di Gradara registra una svolta nel 1260: il dominio su di essa passa ai Malatesta, che si sostituiscono ai De Griffo [28], e nel 1284 Giovanni Malatesta inizia la costruzione della Rocca terminata dal figlio Pandolfo nel 1324. Dello stesso periodo è probabilmente anche la costruzione dei due giri di mura (il cosiddetto *girone* e la cinta esterna), come confermato anche dalle caratteristiche duecentesche delle piccole torri in leggero aggetto ed aperte alla gola che rafforzano le due cortine. Dunque, si trattò di una fase di grandi ristrutturazioni destinate a mutare completamente l'aspetto del luogo; ma questo è comprensibile: siamo infatti nel periodo nel quale le signorie di Rimini e quella avversa dei Montefeltro erano in piena espansione, e gli scontri si avviavano a divenire quasi continui. In questo nuovo quadro Gradara venne di fatto a costruire il principale baluardo difensivo per il cuore dei territori malatestiani sul loro fronte verso il Montefeltro, ed era dunque logico che i signori di Rimini ne decidessero un notevole potenziamento, decretandone la trasformazione da centro di interesse locale a caposaldo del settore [32].

Ecco, quindi, una radicale trasformazione delle difese. La nuova importanza attribuita al castello si evidenzia ora sotto vari aspetti non solo strutturali: sappiamo infatti che alla comunità che vi risiedeva fu concesso dotarsi di leggi e statuti propri, mentre la rocca era detenuta dalla famiglia riminese come allodio: ciò significa in pratica che agli abitanti del borgo era, almeno formalmente, riconosciuta la totale indipendenza politica, mentre i Malatesta non risultavano essere signori del luogo per diritto istituzionale, anche se certamente lo erano di fatto. Questo status costituiva un privilegio concesso probabilmente al fine di guadagnarsi la benevolenza, e dunque la fedeltà, degli abitanti del borgo, cosa necessaria al fine di garantire che essi collaborassero attivamente alla difesa in caso di assedio anziché spalancare le porte al primo aggressore, in cerca di libertà. Questa condizione venne confermata anche in seguito, quando nel 1324, Gradara diventa libero comune, ed ancora con gli statuti promulgati nel 1363 [28].

Dunque, tra Due e Trecento con l'arrivo dei Malatesta avvenne la trasformazione del nucleo centrale del castrum dei Griffi, che, come è stato già detto, consisteva a quell'epoca nella torre residenziale e in un probabile recinto ligneo.

La torre non subì probabilmente alcuna modifica, dal momento che essa era stata fin dall'inizio costruita con criteri d'avanguardia. Si trattava in pratica di una torre "a canna" non dotata cioè di piani in muratura ma solo di soffitti lignei mobili a seconda delle necessità, il cui accesso avveniva da una piccola porta sopraelevata che si può ancora oggi vedere, murata, sul lato verso il cortile a vari metri d'altezza dal suolo: anche questa era una caratteristica del tutto comune alle strutture di quell'epoca. Dell'altezza della vecchia torre non si sa nulla: per certo si può dire che l'ultimo piano che si vede oggi, dotato di coronamenti merlati ed apparato a sporgere, è più recente; tuttavia, l'altezza della torre senza quest'ultimo soprizzo sembra forse troppo ridotta: l'abbassamento delle strutture difensive è del resto un fatto comune ma tardo nel medioevo, legato alla diffusione delle armi da fuoco, mentre le torri di XII - XIV tendevano ad essere molto alte. È dunque possibile che il soprizzo merlato attuale abbia sostituito una precedente ulteriore piano della torre, anche se non si ha la certezza di questa ipotesi.

Al fianco della torre residenziale sorse ora sul lato sud-est una struttura completamente nuova, un palatium (Figura 1.42) di maggiori dimensioni. Questa è ancora una volta una variazione abbastanza consueta nell'architettura castellana del XIII - XIV secolo, che risponde alla volontà di spostare le funzioni residenziali dalle anguste torri precedenti lasciando loro solo quelle difensive [33]. È a questo punto che la torre che un tempo costituiva una entità polifunzionale diventa il mastio, cioè il nucleo difensivo più interno e più forte, del complesso della rocca.

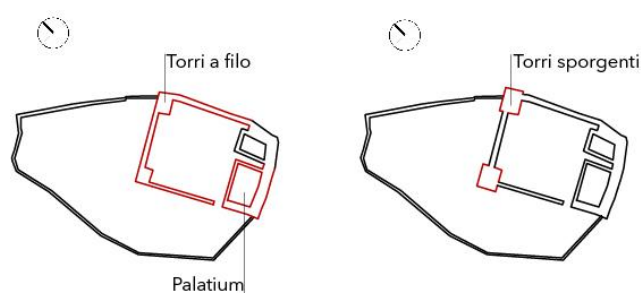


Figura 1.42 - Ricostruzione storica del Borgo di Gradara - Fase 2

Il nuovo palatium presenta una forma pressoché rettangolare, tranne che per il lato sud-est, leggermente arcuato per il fatto di insistere a sua volta sulla cortina di quel lato del castrum. La sua superficie è circa doppia rispetto a quella della torre,

con un buon incremento dello spazio abitabile. Benché esso fosse meno adatto alla difesa rispetto al vicino mastio, le precauzioni difensive prese furono comunque varie: innanzi tutto le due strutture non erano direttamente addossate, ma tra le pareti rimase aperto un cavedio largo circa tre metri. Esso però non era visibile dall'esterno poiché le pareti perimetrali dei lati lunghi del palatium giungono a contatto con quelle del mastio. In questo modo non vi era una comunicazione diretta interna tra i due edifici, ma non era neppure possibile insinuarsi tra di essi dall'esterno. Tutto il sistema di accessi avveniva in alto, ad una quota di parecchi metri da terra, tramite ponticelle levatoie. Dapprima si entrava nel palatium, tramite una ponticella ancora visibile anche se ricostruita sul lato nordovest, della quale non si sa esattamente a cosa si appoggiasse sull'altro lato. Una volta entrati si poteva poi attraversare il cavedio tramite un altro ponte mobile, la cui mensola si può vedere sporgere dalla parete del mastio salendo per le scale attualmente costruite nel cavedio stesso. La vecchia porta sopraelevata del mastio verso il cortile fu chiusa (Figura 1.43), ed al suo posto, alla stessa quota, fu aperta quella verso il palatium: in questo modo si manteneva l'efficacia difensiva dell'ingresso sopraelevato. Ciò consentiva anche di rispettare un altro dei canoni classici di concepimento delle fortificazioni medievali, quello della compartimentazione delle difese [34].



Figura 1.43 - Vecchio ingresso sopraelevato del mastio, ora chiuso

È in questo momento che la rocca raggiunge dimensioni e forma quasi uguali a quelle odierne, con la costruzione di un nuovo recinto difensivo che ricalca sostanzialmente quello che ancora esiste. L'ingresso a questa cortina venne posto sul lato sudovest, ove si trova ancora, e venne dotato di una piccola torre portaia in tutto simile, dimensionalmente e tipologicamente, a quelle delle mura del borgo; l'unica differenza era costituita dal fatto che questa non era in aggetto rispetto al muro frontale, ma a filo. Essa si trova ancora nella sua posizione, ma non è più immediatamente evidente perché inglobata nelle strutture successive del lato sudovest, ed è forse stata abbassata. A quell'epoca la sua porta non era ancora dotata di ponte levatoio del tipo a bolzoni, introdotto in epoca successiva, ed è probabile che anche il fossato non avesse le caratteristiche che gli verranno conferite dall'interventi successivi e che si vedono oggi.

Negli altri due angoli della nuova cortina si dovevano trovare altre strutture difensive, in particolare in quello ad ovest: è infatti molto difficile pensare che il lato nordovest non fosse presidiato da alcun apprestamento al difuori del muro stesso, dal momento che questo risultava quello decisamente più sguarnito dell'intero complesso. Ma una attenta visita delle strutture fornisce la risposta: all'interno della torre pentagonale addossata alla cappella appare uno spigolo di una struttura più antica, la cui muratura è stata perforata per realizzare l'accesso alla torre pentagonale stessa. È molto probabile che si tratti dello spigolo di una torre angolare più antica, posta a filo della cortina, del tipo di quelle delle mura del borgo e simile alla vicina torre portaia [26].

Più incerta invece la situazione nell'angolo nord: qui è evidente la presenza di una struttura leggermente disassata rispetto alla cortina; tuttavia, le sue dimensioni sono alquanto maggiori di quelle delle torri appena menzionate, e ciò contrasta con le caratteristiche tipologiche dei più attinenti modelli di confronto. C'è inoltre il fatto che questo angolo era meno vulnerabile di quello ad ovest, perché posto sul pendio e a cavallo della vecchia cortina, e dunque è meno probabile che esso richiedesse la realizzazione di una torre di dimensioni così ampie.

Una ulteriore dotazione fondamentale che non mancò di essere realizzata era quella degli impianti destinati alla conservazione dell'acqua (Figura 1.44) e dei viveri necessari a reggere un assedio prolungato.









Figura 1.44- Cisterna per la raccolta dell'acqua nel mastio a piano terra

In questa configurazione Gradara divenne uno strumento bellico notevole, probabilmente uno dei più temibili dell'intera area riminese. Non si sa quale fosse l'entità del presidio militare, ma è probabile che gli accordi tra i Malatesta e gli abitanti del borgo prevedessero che questi ultimi si assumessero l'onere di guardare e difendere almeno la cinta muraria esterna, e doveva trattarsi di parecchie decine di uomini validi. A questi si doveva assommare, anche in tempo di pace, un contingente di truppe professionali malatestiane di stanza nella rocca come difesa permanente, mentre in caso di conflitto era poi possibile ammassare all'interno dei perimetri difensivi una forza molto maggiore [33].

Si hanno scarse notizie sugli architetti e sulle maestranze, ma ammirando gli accurati manufatti e le geniali soluzioni possiamo affermare che le maestranze furono di prim'ordine [27].

Di seguito vengono proposte le rielaborazioni grafiche di piante, sezioni e ricostruzione tridimensionale della Rocca durante la Fase 2, basandosi sulla ricerca storica effettuata, secondo la legenda (Figura 1.45 e Figura 1.46).

LEGENDA

- | | | |
|---|---|---|
|  Fase 1 - Periodo Romano e dei De Griffo |  Fase 3 - Secoda fase malatestiana |  Fase 5 - Periodo sforzesco |
|  Fase 2 - Prima fase malatestiana. Giovanni M. |  Fase 4 - Terza fase malatestiana. Sigismondo M. |  Fase 6 - Restauro di Zanvettori |

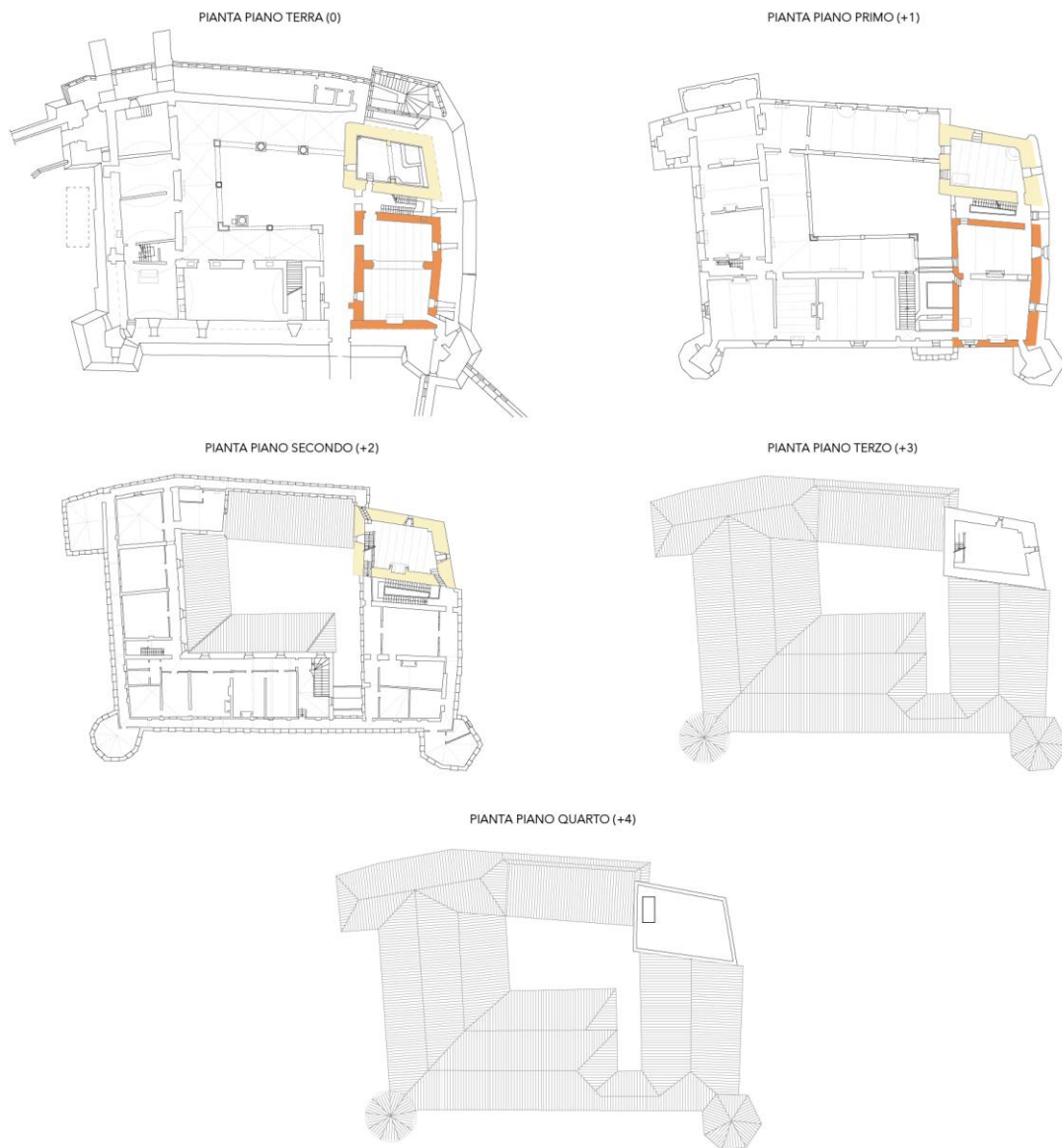
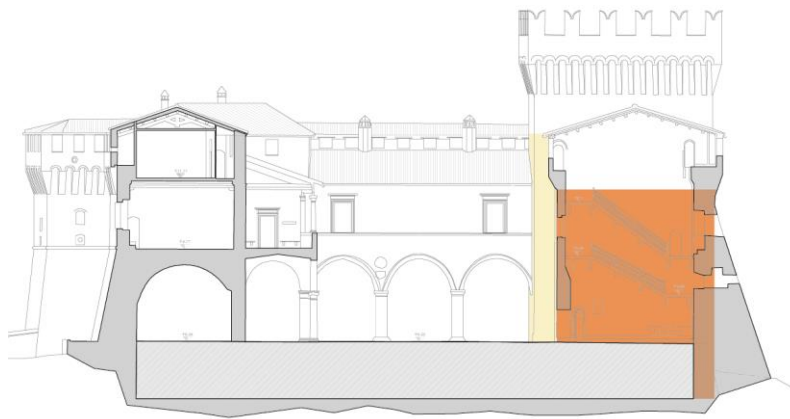
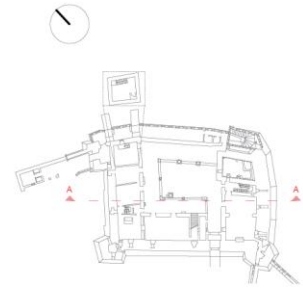


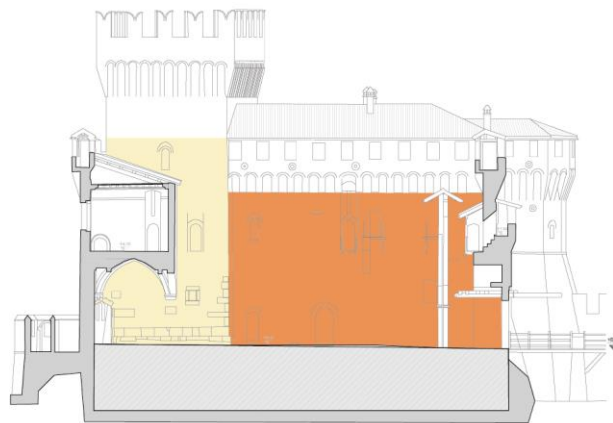
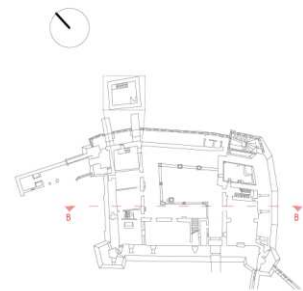
Figura 1.45 - Ricostruzione in pianta della Fase 2



SEZIONE AA



SEZIONE BB



SEZIONE DD

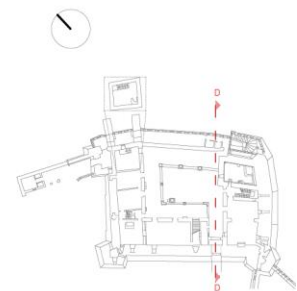


Figura 1.46 - Ricostruzione in sezione della Fase 2

1.3.2.3 Fase 3 - "Seconda Fase Malatestiana"

Nella fase Malatestiana del tardo XIII - primi del XIV risale la cinta esterna che si vedono nelle forme attuali, la quale probabilmente ampliò di molto la superficie del vecchio castrum. Conseguenza di ciò fu logicamente anche la riorganizzazione del tracciato urbano interno [32].

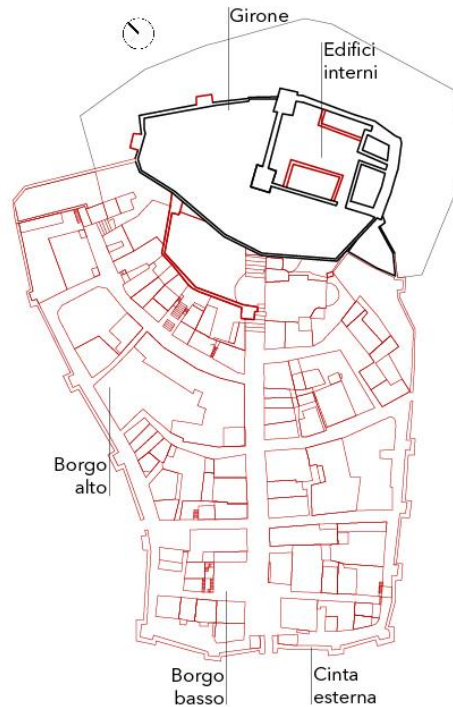


Figura 1.47 - Ricostruzione storica del Borgo di Gradara - Fase 3

La fisionomia del borgo (Figura 1.47) è quattrocentesca, ma osservandone la planimetria si nota che la sua parte esterna al girone è formata da due sezioni con andamenti urbanistici differenti. La prima, la più alta e vicina alla rocca, ha impianto chiaramente radiocentrico, con le strade che si dipartono a raggiera dall'area sommitale, mentre la seconda, bassa, ha tracciato ortogonale e forma rettangolare. I due modelli appena visti sono forse i più diffusi nell'intera storia dell'urbanistica e sono notoriamente interpretati il primo come tipico di uno sviluppo spontaneo, molto diffuso nell'alto medioevo, mentre il secondo, programmato, è peculiare delle fondazioni dell'antichità classica e del basso medioevo. Per Gradara si potrebbe allora pensare che l'area del borgo più elevata sia più antica di quella bassa. Se è vero che la cortina esterna si ascrive alla fine del XIII - inizi XIV secolo a quest'epoca risalirebbe anche la zona bassa del borgo, a tracciato ortogonale,

mentre quella alta sarebbe precedente. Quest'ultima potrebbe allora essersi sviluppata come espansione esterna al castrum nella sua conformazione di XII secolo, ed al loro arrivo i Malatesta, nel progettare la nuova cinta avrebbero sia inglobato questa espansione che anche dato impulso al sorgere della nuova sezione più bassa [32].

È probabilmente che venne elevata anche la cerchia di mura più interna, il *girone*: l'andamento del primitivo perimetro esistente nel XII secolo rimasto sostanzialmente invariato sui lati nordest, sudest e nordovest, ove venne ora sostituito dalla cinta muraria interna ancora esistente. Il girone però presenta in più una espansione semicircolare in direzione del borgo, cioè a sudovest, non motivata da ragioni tattiche ma dovuta forse alla volontà di inglobare al suo interno la vicina chiesa, probabilmente preesistente, o destinata a creare uno spazio ulteriore a disposizione della rocca. Sempre nell'ambito della generale riorganizzazione del castello, le abitazioni private interne al vecchio castrum vennero spostate fuori dal suo sedime ed il girone venne a sancire questa nuova suddivisione tra area gentilizia e borghigiana [32].

Per quanto concerne l'evoluzione del manufatto, all'interno della neonata rocca sorsero senz'altro ulteriori strutture: una doveva trovarsi all'arrivo della ponticella volante proveniente dal palatium (Figura 1.48 - a) e forse anche in questo caso si trattava di un grosso corpo lungo quanto tutto il lato, quello che esiste tutt'ora ma davanti al quale verrà aggiunto in seguito il porticato. Per quanto riguarda il fatto che questi edifici esistevano ciò pare confermato dalla presenza e tipologia dei finestroni ad arco a tutto sesto in parte esistenti, in parte murati ed in parte sostituiti da bifore presenti sui lati sudovest (Figura 1.48 - b), nordovest e nordest: la loro ampiezza ed eleganza fa pensare che gli edifici ai quali esse davano luce avessero funzioni di residenza signorile o di rappresentanza [32].

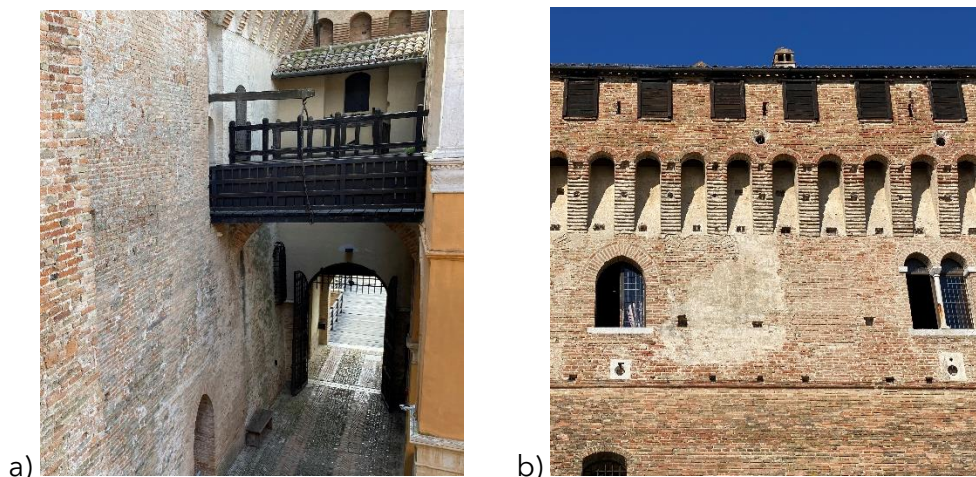


Figura 1.48 a) Ponticella che fa da collegamento tra il Palatium e gli edifici; b) Bifore del primo piano sul lato Sud-Ovest

La pavimentazione precedente del cortile era di circa 80 cm più bassa quando veniva utilizzato l'argano della saracinesca, tenuto ad un'altezza di lavoro rispetto al pavimento. Il peduccio angolare destro del portico prevedeva una colonnetta per impedire il passaggio dalla pusterla, si può quindi ipotizzare che la pusterla con la relativa saracinesca fosse preesistente all'ultima volta del portico verso il mastio e venne da questa resa inagibile, per essere poi riaperta più tardi [29].

La rocca, grazie alle notevoli trasformazioni subite, non solo implementò di molto le sue capacità militari ma vide accrescere anche il livello delle funzioni residenziali: già il palatium era dotato di una abitabilità molto superiore a quella della vecchia torre, ed ora l'aggiunta dei due nuovi corpi di fabbrica, dotati all'interno di almeno due ampi livelli, ne fecero un complesso sontuoso e del tutto degno di accogliere i membri della famiglia malatestiana anche per lunghi periodi [32].

Venne inoltre ora probabilmente modificata la parte alta del mastio, con la riedificazione dell'ultimo piano mediante realizzazione di grandi archi (Figura 1.49) di scarico sestiacuti inseriti nella muratura, visibili dall'interno. Del resto, come per qualunque altro edificio, anche per un castello gli interventi di manutenzione, ed anche altri lavori di una certa entità non sono necessariamente legati a grandi fasi strutturali e dunque possono verificarsi in qualunque momento; seguirne la cronologia diviene quasi impossibile se non mediante accurati studi di stratigrafia muraria.



Figura 1.49 - Archi presenti all'interno della muratura del terzo piano del mastio

Di seguito vengono proposte le rielaborazioni grafiche di piante, sezioni e ricostruzione tridimensionale della Rocca durante la Fase 3, basandosi sulla ricerca storica effettuata, secondo la legenda (Figura 1.50 e Figura 1.51).

LEGENDA







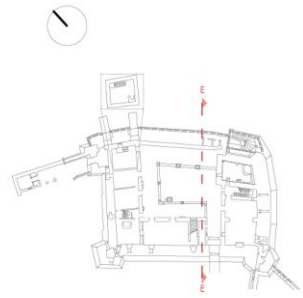
- | | | |
|---|---|---|
|  Fase 1 - Periodo Romano e dei De Griffo |  Fase 3 - Secoda fase malatestiana |  Fase 5 - Periodo sforzesco |
|  Fase 2 - Prima fase malatestiana. Giovanni M. |  Fase 4 - Terza fase malatestiana. Sigismondo M. |  Fase 6 - Restauro di Zanvettori |



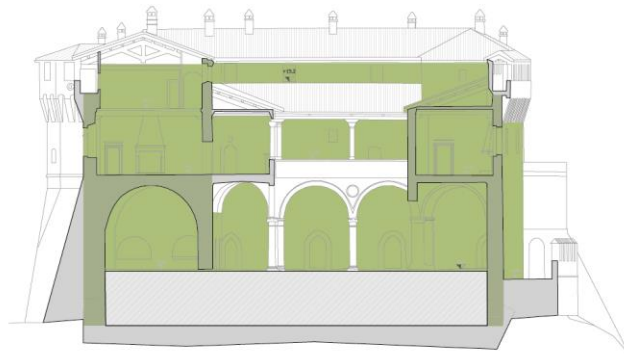
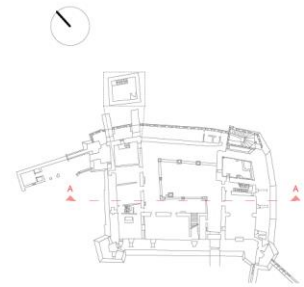
Figura 1.50 - Ricostruzione in pianta della Fase 3



SEZIONE EE



SEZIONE AA



SEZIONE CC



Figura 1.51 - Ricostruzione in sezione nella Fase 3

1.3.2.4 Fase 4 - "Terza Fase Malatestiana", Sigismondo Malatesta

Con l'inizio del nuovo secolo divenne signore di Rimini Sigismondo Malatesta, il più illustre esponente della nobile famiglia, che intorno al 1442 tolse Gradara ai suoi parenti pesaresi, iniziando una nuova ampia fase di ristrutturazione [27].

La rocca di Gradara venne dunque nuovamente ammodernata secondo i più moderni principi dell'arte fortificatoria quattrocentesca: la più evidente modifica effettuata consistette nella costruzione delle due nuove torri poligonali elevate negli angoli Ovest e Sud (Figura 1.52).

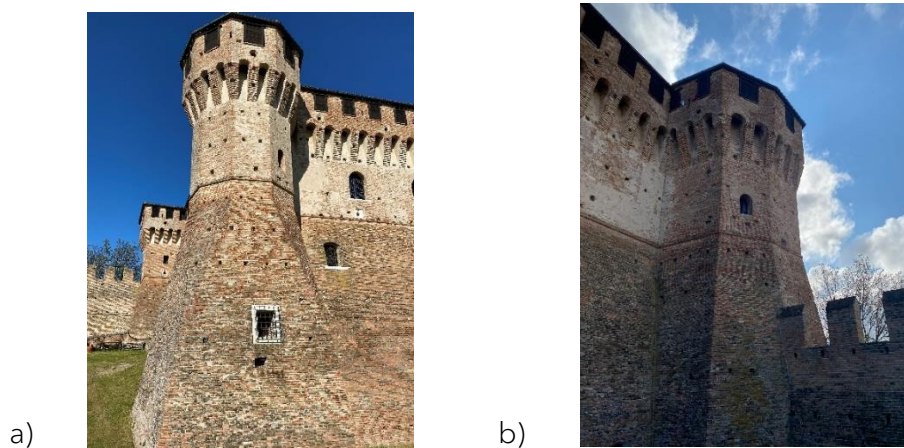


Figura 1.52 - a) Torre Ovest; b) Torre Sud

Il primo di questi due angoli era ancora difeso dalla ormai totalmente inadeguata torre angolare a filo trecentesca, mentre il secondo era ancora più sguarnito, dal momento che la torre passante della porta ed il palatium non erano per nulla efficaci nel garantire una difesa fiancheggiante. Le torri poligonali a scarpa pronunciata sono una tipologia piuttosto particolare, presente quasi esclusivamente in area malatestiana: ne abbiamo esempi a Cernano, Frontino, Montebello, Sant'Agata Feltria, Sant'Arcangelo, e tutti questi castelli sono appunto accomunati dal fatto di essere notoriamente stati in possesso di Sigismondo Pandolfo Malatesta. L'ipotesi è dunque che le torri poligonali di questo tipo possano essere una realizzazione tipica di Sigismondo, e che lo siano ovviamente anche quelle di Gradara [32].

Da segnalare un fatto importante: le due torri poligonali di Gradara sono concettualmente simili tra loro ma niente affatto uguali. Quella a sud presenta infatti

cinque lati esterni, che diventerebbero sette ipotizzando di completarla idealmente anche nella zona ove essa si appoggia alla rocca, mentre quella ad ovest ha solo quattro lati esterni, che diventerebbero cinque completandola. Inoltre la torre sud ha il fusto che ricalca perfettamente la pianta di base, mentre nella ovest la pianta pentagonale origina nuovamente un fusto eptagonale, come se si trattasse di una sovrapposizione tra corpi diversi. Una nuova ipotesi è allora possibile: Sigismondo avrebbe realizzato in toto la torre sud, mentre la ovest sarebbe nata, come torre quadrangolare aggettante, qualche decennio prima, ed il Malatesta ne avrebbe conservato la base aggiornandone però l'elevazione alla maniera sua propria. Perciò la costruzione della torre potrebbe essere riconducibile forse alla fine del Trecento, o più probabilmente all'inizio del Quattrocento, in concomitanza dunque con la costruzione della torre portaia in aggetto dell'angolo nord, sempre ad opera di qualche Malatesta [32].

In ogni caso le torri ovest e sud denunciano chiaramente l'avvenuta trasformazione nei concetti difensivi, ora basata sull'impiego delle artiglierie a polvere: le nuove strutture sono infatti fondamentalmente delle postazioni destinate ad ospitare i cannoni dei difensori, anche se in sommità conservano ancora la funzione di consentire il tiro piombante tipicamente medievale. La funzione delle artiglierie è chiarissima: ognuna delle due torri era dotata di una cannoniera destinata ad effettuare tiro frontale, cioè verso l'esterno, mentre altre due per ogni livello avevano la più importante funzione di tirare dal fianco sugli aggressori che stessero approcciando le mura: il micidiale tiro fiancheggiante viene ora demandato ai cannoni piazzati in queste due torri, che diventano i principali centri difensivi della rocca [32].

La fase edificativa di Sigismondo non si limitò alle torri ma comprese anche la realizzazione dell'avancorpo dotato di bertesca e ponte levatoio (Figura 1.53) dell'ingresso principale che vediamo oggi, e forse di altri lavori. Uno di questi, fondamentale, fu la realizzazione della lunghissima e pronunciata scarpa di rinforzo che circonda interamente la rocca sui lati sudovest, nordovest e nordest, che in realtà prosegue anche in altezza rifasciando le mura precedenti e portandone lo spessore a quasi due metri [27].



Figura 1.53 - Bertesca e Ponte levatoio

Contestuale alla scarpa dovrebbe essere anche l'escavazione del fossato, dal momento che la scarpa stessa ne richiedeva l'esistenza per esistere a sua volta. Alcune altre dotazioni interessarono il castello: è infatti probabilmente ora che le torri portaie vennero dotate dei ponti levatoi del modello a bolzoni [27].



Figura 1.54 - Fossato e scarpa muraria

Ma soprattutto un'altra notevole addizione difensiva del castello può essere attribuita a Sigismondo: la cosiddetta "rocchetta". Un concetto consolidato nell'arte di costruire fortificazioni vuole che gli angoli delle cinte murarie costituiscano punti privilegiati nella difesa, per il fatto che da essi è possibile dominare due lati delle fortificazioni stesse anziché solo uno. Ed in effetti è raro trovare angoli pronunciati in un tracciato murario non rafforzati da ulteriori strutture. Nella conformazione topografica del castello di Gradara gli angoli più evidenti sono due: uno ad est ed uno a nordovest. Quello ad est non poneva alcun problema difensivo, dal momento che lì si trovava la rocca, mentre con la realizzazione nella cinta esterna malatestiana si venne a creare un pericoloso saliente, posto appunto a nord del borgo. Questa caratteristica non sfuggì certo ai costruttori, che probabilmente pensarono, contestualmente alla realizzazione della cinta, a presidiarlo. In ogni caso la necessità di presidiare quell'angolo non sfuggì nemmeno a Sigismondo Pandolfo, che vi elevò appunto questa nuova fortificazione, la rocchetta. Essa è un esempio di notevole logica costruttiva: si tratta di una struttura unitaria, molto semplice e massiccia. Questo torrione è esattamente ciò che necessitava ed era sufficiente in una tale situazione: garantiva sorveglianza e tiro fiancheggiante sui due lati, ospitava un nucleo difensivo più forte di quello che poteva trovare posto su un tratto di cortina di eguale dimensione, e le sue strutture erano abbastanza solide per poter funzionare come postazione d'artiglieria. La forma è simile a quella della torre sud della rocca, la più evoluta delle quattro che la compongono, ma essendo parecchio più grande ha più lati (sarebbero 10 o 11), in modo che ognuno di essi non sia troppo lungo.

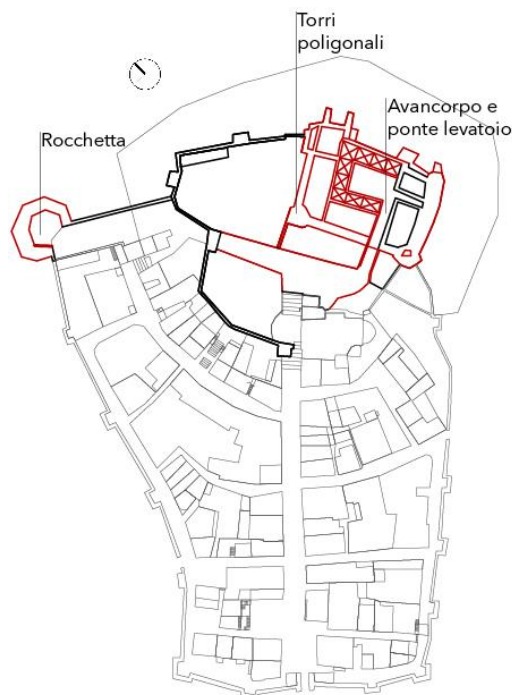








Figura 1.55 - Ricostruzione storica del Borgo di Gradara - Fase 4

Il castello di Gradara era dunque in queste condizioni di grande efficienza quando dovette sostenere i primi assedi dei si ha notizia: nel 1446 Francesco Sforza condusse un assedio a Gradara per 43 giorni dove le mura e le torri subirono l'impatto cruento delle nuove bombarde. Dopo questo avvenimento Sigismondo Malatesta, sempre nel 1446, procedette con il primo intervento riparatore nella storia della Rocca. Vi erano brecce nella cerchia murata e nelle fiancate della rocca, smozzate le alte torri. Ma ormai la parabola della grande famiglia riminese dei Malatesta era in discesa: mentre gli ultimi suoi esponenti non potevano far altro che tentare di rallentare il disfacimento del loro dominio, nuove potenze prendevano il loro posto: nel 1463 Gradara viene infatti espugnata per la prima volta dai Montefeltro, sponsorizzati da Papa Pio II, che da allora la tennero per alcuni anni. L'assedio doveva aver lasciato danni di una certa entità, dal momento che le cronache ci parlano chiaramente di prolungati bombardamenti d'artiglieria [27].

Di seguito vengono proposte le rielaborazioni grafiche di piante, sezioni e ricostruzione tridimensionale della Rocca durante la Fase 4, basandosi sulla ricerca storica effettuata, secondo la legenda (Figura 1.56 e Figura 1.57).

LEGENDA

- | | | |
|---|---|---|
|  Fase 1 - Periodo Romano e dei De Griffo |  Fase 3 - Secoda fase malatestiana |  Fase 5 - Periodo sforzesco |
|  Fase 2 - Prima fase malatestiana. Giovanni M. |  Fase 4 - Terza fase malatestiana. Sigismondo M. |  Fase 6 - Restauro di Zanvettori |

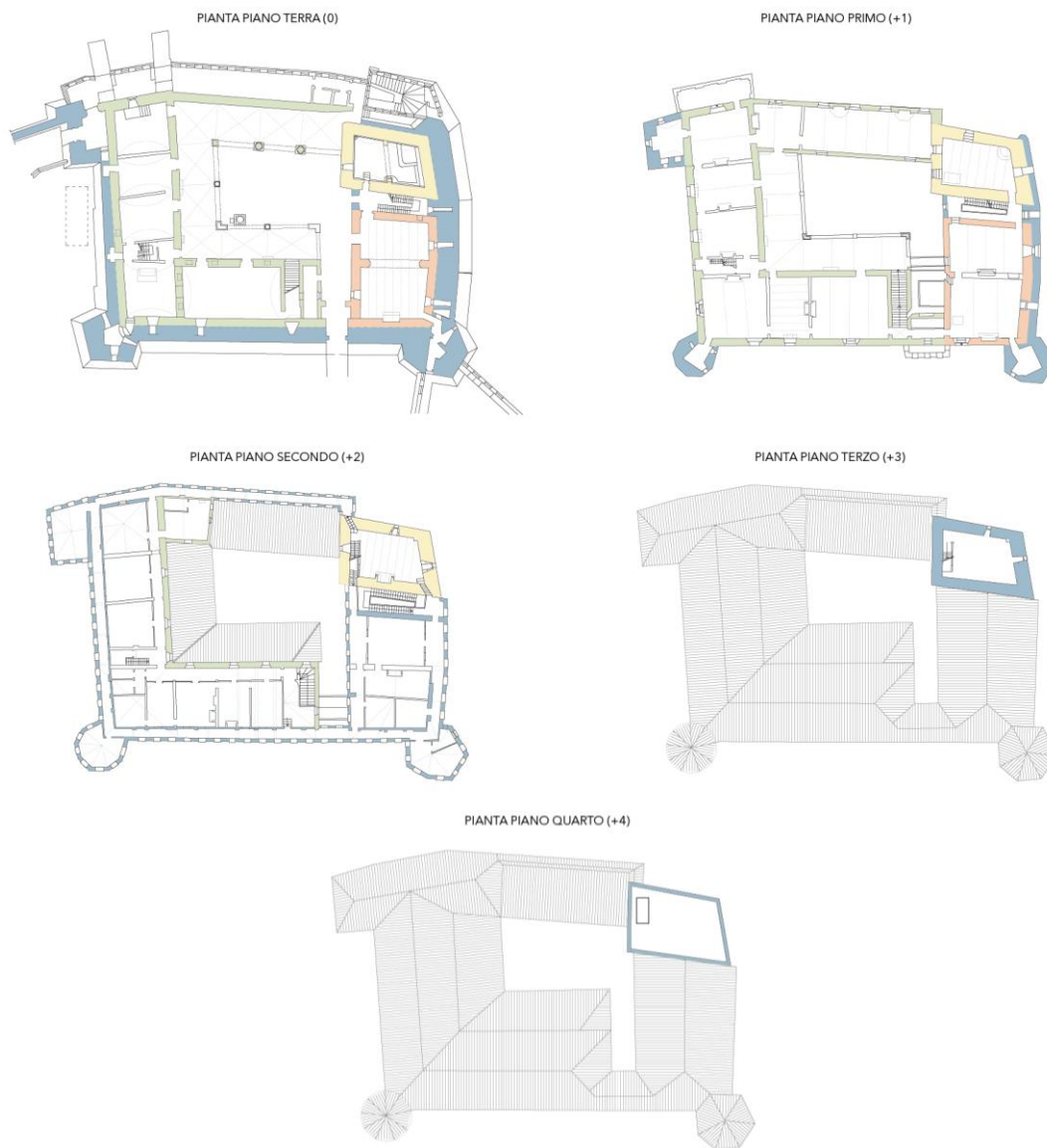
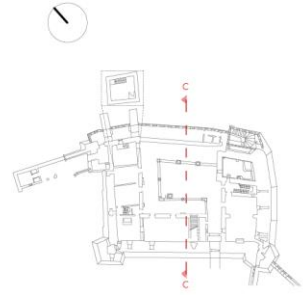


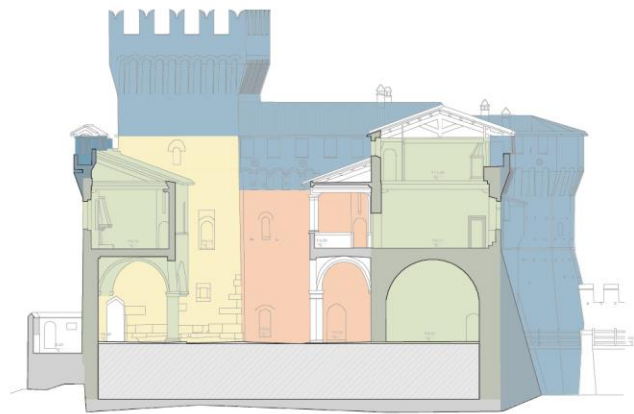
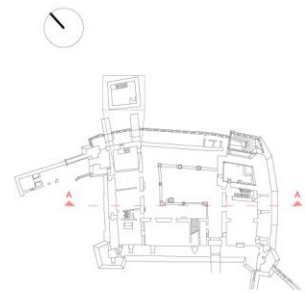
Figura 1.56 - Ricostruzione in pianta della Fase 4



SEZIONE CC



SEZIONE AA



SEZIONE EE

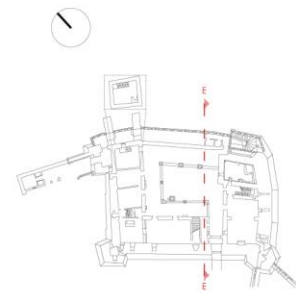


Figura 1.57 - Ricostruzione in sezione della Fase 4

1.3.2.5 Fase 5 - "Periodo Sforzesco"

Dopo l'espugnazione per opera dei Montefeltro è probabile che l'intervento di maggiore entità fu svolto da Alessandro Sforza, subentrato come feudatario della Santa Sede all'indomani della presa della rocca, sia stata la ricostruzione in toto dei coronamenti merlati: essi presentano infatti ovunque lo stesso tipo di bombardiera "a margherita", sia sugli spalti, sia sulle torri che anche sul mastio, mentre solo le bombardiere ai due livelli delle torri poligonali, malatestiane, rimasero invariate. Anche all'interno si ebbero limitate modifiche, che dovettero coinvolgere forse ancora la configurazione del porticato, ma probabilmente non quello degli edifici retrostanti [28].

Di lì a qualche anno, nel 1494, Giovanni Sforza restaurò nuovamente ed abbellì la rocca in onore di Lucrezia Borgia, sua moglie. Sotto questo periodo il manufatto si trasforma da roccaforte a dimora principesca secondo i canoni del Rinascimento italiano [27]. Il fatto era che ormai il castello, a causa dei cambiamenti nell'assetto politico nella zona, non rivestiva più il ruolo strategico che aveva avuto per un paio di secoli e stava riducendo nuovamente il suo compito a presidio locale, mentre progressivamente crescevano gli aspetti residenziali della rocca, la quale stava trasformandosi in senso di un maggiore lusso e nobiltà. In quest'ottica si inseriscono appunto gli interventi di Giovanni Sforza: mentre in altri luoghi egli ristrutturò o elevò nuove fortezze di modernità assoluta per quell'epoca, come ad esempio a Pesaro, Gradara non venne aggiornata se non con limitati interventi, il più evidente dei quali fu una sottile rifasciatura delle cortine esterne, forse per eliminare anche qui i danni, più estetici che altro, inferti dalle cannonate dei precedenti assedi. La rifasciatura, con i suoi trenta centimetri circa, è infatti troppo sottile per avere funzione difensiva, ma si collega piuttosto al raggiungimento, da parte degli edifici interni, della quota dei precedenti coronamenti. È noto che gli spalti di una fortificazione dovessero essere abbastanza larghi da consentire libertà di movimento ai soldati che li occupavano in caso di combattimento. Questo risultato fu ottenuto a Gradara, nella redazione malatestiana della cortina della rocca sul lato nordest, con una linea di beccatelli interni (Figura 1.58 - b).



Figura 1.58 - a) Beccatelli esterni che sorreggono il camminamento di ronda rinforzati ad intervalli regolari con mensole di legno annegate nella muratura b) Resti di beccatelli interni al secondo piano. Fonte [35]

È possibile vedere i resti di questo impianto anche all'interno del piano superiore degli edifici che prospettano sul cortile: qui, osservando attentamente, si nota che la parte sommitale delle pareti verso l'esterno della rocca non sono verticali ma aggettanti. È accaduto in pratica che, per realizzare edifici abbastanza alti senza sottrarre spazio ai camminamenti, sorretti da beccatelli anche verso l'interno, si siano colmati gli spazi tra i beccatelli stessi e poi si sia intonacata l'intera superficie, che risulta ancora inclinata. A proposito dei beccatelli, ma questa volta quelli verso l'esterno, ancora da notare il fatto che essi erano rinforzati ad intervalli regolari con mensole di legno annegate nella muratura (Figura 1.58 - a): queste non sporgono all'esterno ma appaiono ad un attento esame all'interno dei loro fori d'alloggiamento. Ciò dimostra per quanto tempo si continuò ad utilizzare il legno anche in combinazione con pietra e mattone, e ne è un altro esempio il fatto che, durante i recenti restauri a varie finestre della rocca, si è potuto constatare come anche aperture che all'esterno sono dotate di ghiera d'arco in laterizio abbiano in realtà all'interno degli architravi lignei [28].

Il grandioso intervento di Giovanni Sforza effettuato nel 1494 fu rivolto anche alla riparazione delle mura del girone che fu opera di Amerigo di Ventura Fedeli [27].

Per quanto riguarda ancora gli aspetti ornamentali, sempre più importanti nella fase sforzesca, si nota che molte delle bombardiere a margherita vennero rese esteticamente più belle con l'aggiunta, all'esterno, di nuove scudature quadrate in

pietra bianca, decorate con tanto di iniziali IS (Iohannes Sforza) incise. Probabilmente sempre in fase sforzesca venne aggiunta la falsabraga (Figura 1.59) esterna sul lato nordest, l'unico che non era stato dotato di fossato e di scarpa da Sigismondo, per il fatto di essere difeso dal naturale declivio del colle. Questa falsabraga aveva forse più funzione di terrazza panoramica che di vero baluardo, ma consentiva anche il transito di collegamento tra la corte esterna a nordovest ed il cortile interno, attraverso la porticella posta alla base del mastio [28].

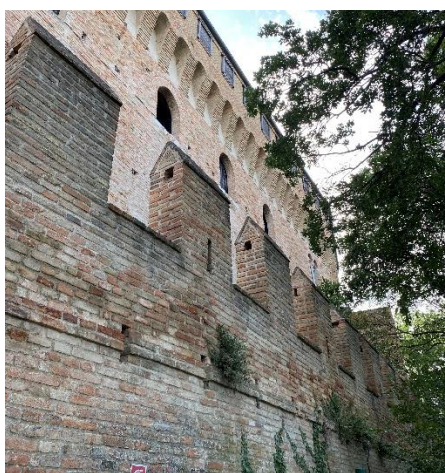


Figura 1.59 - Falsabraga







La trasformazione più evidente si avrà nell'aggiunta dei due porticati (Figura 1.60 - a) del cortile dove, per accedere al piano superiore, il grande scalone in marmo (Figura 1.60 - b) e il loggiato superiore sostituiranno la scala ed il ballatoio in legno. Sul frontale dello stipite in pietra dell'ingresso della scalinata, fu apposto il nome del committente [27].



Figura 1.60 - a) Porticati Sforzeschi; b) Scalinata in marmo del cortile

Di seguito vengono proposte le rielaborazioni grafiche di piante, sezioni e ricostruzione tridimensionale della Rocca durante la Fase 5, basandosi sulla ricerca storica effettuata, secondo la legenda (Figura 1.61 e Figura 1.62).

LEGENDA

- | | | |
|---|---|---|
|  Fase 1 - Periodo Romano e dei De Griffo |  Fase 3 - Secoda fase malatestiana |  Fase 5 - Periodo sforzesco |
|  Fase 2 - Prima fase malatestiana. Giovanni M. |  Fase 4 - Terza fase malatestiana. Sigismondo M. |  Fase 6 - Restauro di Zanvettori |

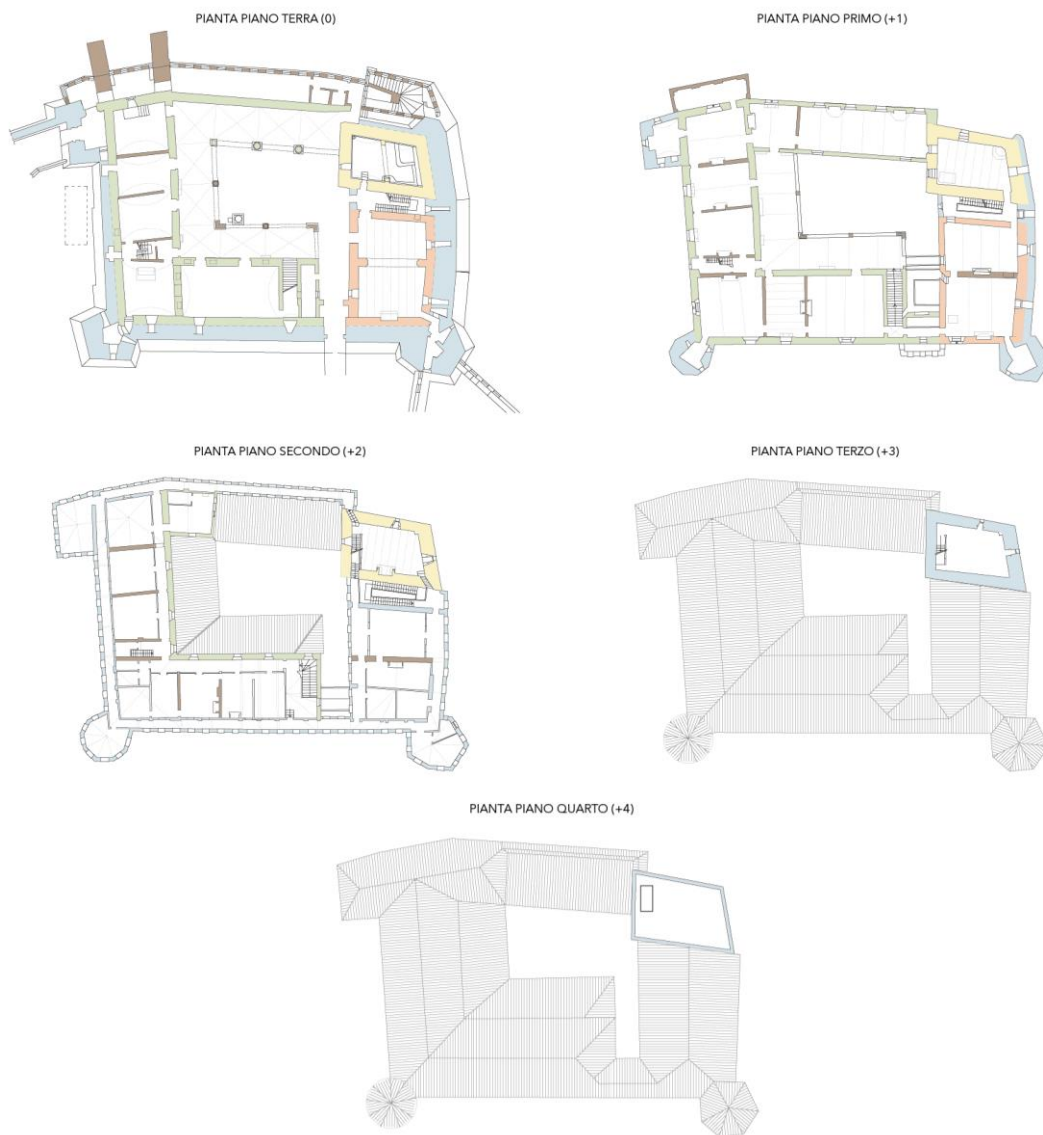


Figura 1.61 - Ricostruzione in pianta della Fase 5

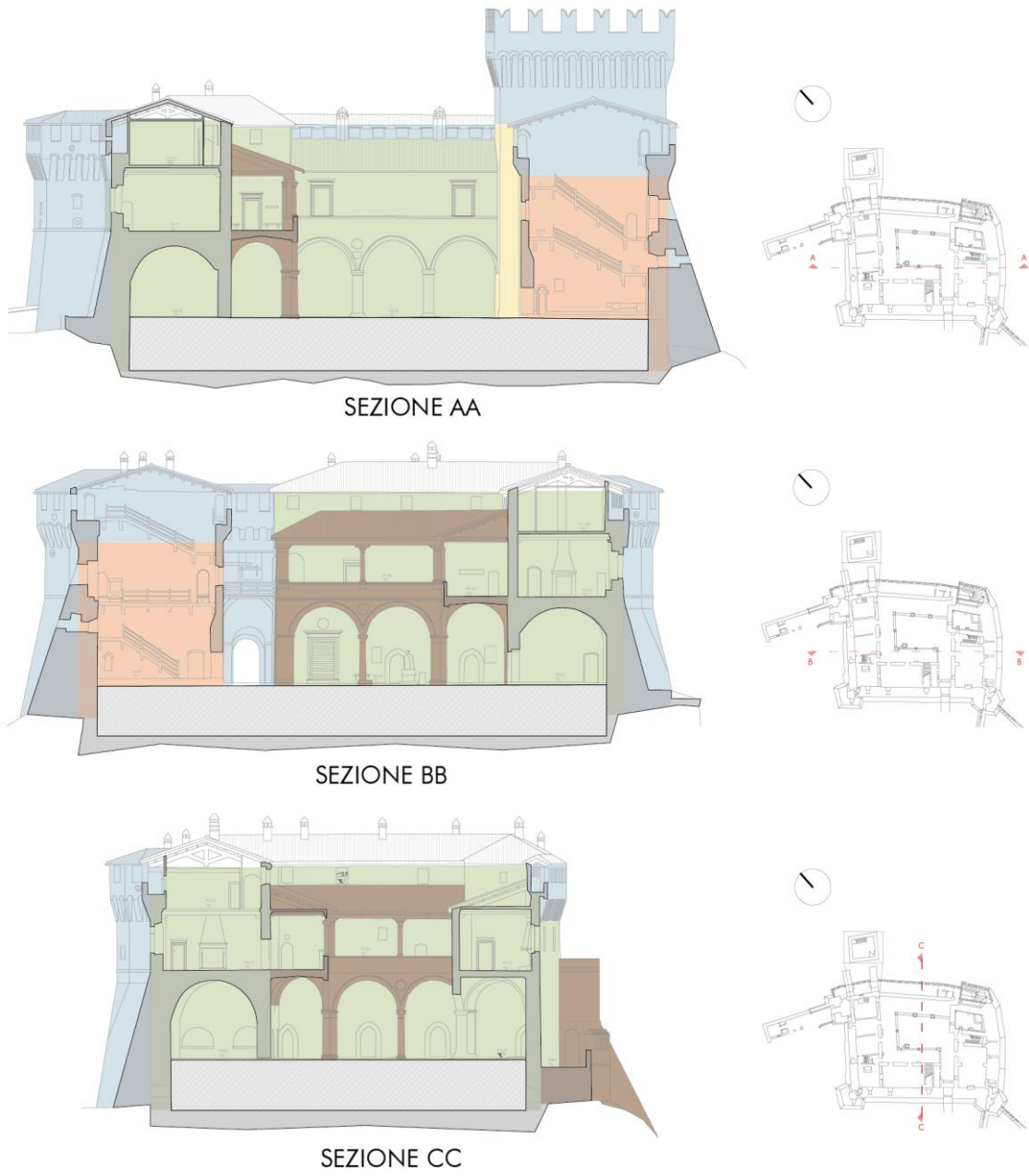


Figura 1.62 - Ricostruzione in sezione della Fase 5

1.3.2.6 Fase 6 - Dal Periodo dei Della Rovere al restauro di Zanvettori

Nel 1513 Papa Giulio II Della Rovere investiva della Signoria in nipote Francesco Maria I della Rovere, duca di Urbino. Nel 1574 succedeva a Guidobaldo II il figlio Francesco Maria II il quale affidò il governo di Gradara alla seconda moglie Livia.

Durante il periodo roveresco, e precisamente nel 1534, è documentata la presenza di Gerolamo Genga, quale soprintendente ad alcuni lavori. Iniziò la realizzazione dei soffitti a cassettone, dei caminetti, degli affreschi. L'epoca delle guerre e dell'evoluzione strutturale con fini difensivi termina dunque a Gradara intono al 1500.

Alla morte di Francesco Maria II tutto il ducato di Urbino, compreso Gradara veniva avocato alla sua Santa Sede. Iniziava così un periodo di immobilità con l'investitura a varie personalità legate al Governo Pontificio e all'annessione al Regno d'Italia.

Le cerchie murate furono lasciate in completo abbandono, avendo perduto l'originaria funzione difensiva e protettiva. Gli enfiteuti si preoccuparono di adattare gli ambienti della rocca alle proprie esigenze abitative, tamponando spazi aperti, aprendone di nuovi e dividendo le stanze, si disinteressarono delle condizioni delle mura e delle torri. I circuiti murati non subirono il completo sfacelo dovuto alla particolare compattezza e deformazione del terreno che non permetteva franamenti e smottamenti. Spesso i ruderi hanno rappresentato una comoda e gratuita maniera per chi aveva bisogno di pietrame e laterizi.

Attraverso dei ritrovamenti di disegni realizzati da A. Liverani è visibile lo smantellamento di un quarto portico (Figura 1.63), antistante quindi al mastio e al Palatium, costituito dal Cardinale Annibale Albani dopo che nel 1726 il fratello Alessandro ebbe in enfiteusi il castello. Il Cardinale costruì il portico per ricavarci sopra un appartamento che a sinistra comunicava con la cappella del fratello.

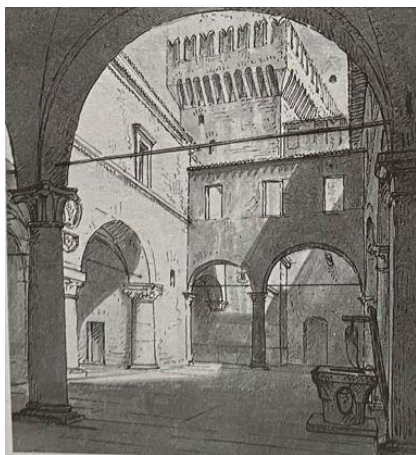


Figura 1.63 - Disegno del Liverani raffigurante il quarto portico. Fonte immagine [27]

Nel 1672 a Rimini e nel 1741 a Fabriano ci sono forti terremoti che hanno ripercussioni anche sulla struttura di Gradara.

Le truppe Repubblicane Francesi nel 1797 entrarono nel castello distruggendo alcuni stemmi in marmo.

Inoltre, nel 1890 nella zona della Val di Chiana ci fu un ciclone che arrivò fino a Rimini apportando ingenti danni alla Rocca.

Con la Prima guerra mondiale, nel 1915-18 alcune cannonate della flotta austriaca sfondarono la parete nord del mastio.



Figura 1.64 - Disegno del Liverani la rovina delle mura di Gradara.
Fonte immagine [27]

Nel 1920 il castello veniva venduto all'ingegnere Umberto Zanvettori che in tre anni compiva il più consistente e radicale restauro all'interno delle mura del girone, delle pareti scarpate e delle mura delle torri del girone. Il progetto realizzato sotto la

direzione degli architetti Giovannoni e Ferrari di Roma, portò a termine il rifacimento totale, ossia dalla base, della torre di ponente e della bertesca [27].

Di tale restauro si riporta di seguito la relazione che fu inviata da Giovannoni a Zanvettori quasi al termine dei lavori, nel 1923, in cui si dissociò dagli interventi eseguiti dal proprietario:

“Relazione sulle opere di Restauro costruttivo del Castello di Gradara: I lavori di consolidamento, che nel Castello di Gradara debbono razionalmente costituire la prima fase delle opere di restauro del monumentale edificio, si sono iniziati con una serie di spiccioli provvedimenti ispirati ad un generale programma. Ed a base di tale programma sono le considerazioni relative ai perturbamenti statici ed ai deperimenti che si manifestano nella costruzione.

Fin dalle prime fasi della sua edificazione il Castello deve aver subito una tendenza ad un cedimento nei suoi lati N.E. e di S.E., i quali sovrastano direttamente la ripidissima scarpata del colle su cui siede Gradara. E in questo cedimento che si dimostrano evidenti e numerosissime lesioni che si trovano nelle murature dei due lati predetti e che i recenti terremoti hanno accentuato più nell'apparenza che nell'entità dei distacchi. E fin da antichi tempi debbono datare opere più o meno razionalmente intraprese per riparare e consolidare l'edificio; quali es. quelle di muri, che possono dirsi di briglia, costruiti nel sottostante terreno a parziale sostegno; ed il grande muro a scarpa addossato al lato di S.E. e prolungatesi nel massiccio sperone, aggiunto al maschio, ma purtroppo mal collegato, sicchè vi costituisce un assai discutibile rinforzo; al fine i duplici contrafforti posti verso l'estremo Nord, sui quali è stato costruito al piano superiore un caratteristico loggiato in sporgenza.

In un periodo relativamente recente, 40 o 50 anni fa, altre opere sono state eseguite in tale zona, ed in particolare hanno compreso il rifacimento, rozzamente eseguito, di una notevole parte del muro del maschio; ma è dubbio che tali opere abbiano costituito un vero vantaggio, poiché contemporaneamente alle riprese murarie, hanno portato anche la ricostruzione di una volta nell'interno del maschio, non fatta certo per facilitare la difesa contro tendenze a spostamenti in fuori.

I movimenti tellurici degli ultimi anni, mentre hanno smantellato numerose strutture leggere dell'edificio, hanno anche prodotto aggravamenti delle condizioni statiche dello schema murario, il quale appare con numerosi crepacci, che denotano cedimenti e distacchi, ma che non sembrano assumere carattere di progressività.

Perciò è evidente l'opportunità di provvedimenti organici di rinforzo; poiché in un vecchio edificio quale il Castello di Gradara, robusto, ma mal connesso e costruito in più tempi, nessuno può stabilire se una vera scadenza di stabilità sia prossima o remota e se la minaccia di un ripetersi di azioni sismiche possa divenire grave.

L'unica via pratica da seguire è quella dell'adozione di provvedimenti gradualmente di rinforzo, a base, per così dire sperimentale: consolidare le strutture murarie rendendole tra loro collegate e continue; eliminare le più semplici tra le cause di spostamento; combattere i deperimenti che diminuiscono la resistenza delle strutture; ordinare tutta una serie di mezzi di esplorazione che permettono di esaminare i risultati delle opere fatte e avvertire se vengono a manifestarsi movimenti progressivi.

Passando alla enunciazione di tali concetti generali della enumerazione dei provvedimenti che, in ordine ad essi, si sono avviati nel Castello di Gradara, può darsi il seguente elenco:

1. Chiusura delle principali lesioni esistenti nelle mura del Castello, con ampia ripresa di cucì scucì delle corrispondenti murature, così da riottenere un vero collegamento tra le varie parti ed insieme realizzare, meglio con semplici biffe, un diretto mezzo esplorativo per la segnalazione di eventuali spostamenti ulteriori.

2. Riempimento e ripresa di vuoti e di tagli irrazionalmente praticati nelle murature, come canne di camino, passaggi ecc., che ne rendono discontinua la compagine.

3. Miglioramenti e parziali riprese delle superfici esterne e difesa contro infiltrazioni d'acqua.

4. Apposizione di una duplice serie di catene nel maschio e nel corpo di fabbrica di S.E., sì da collegarne, per quanto lo permetta il tipo delle masse murarie, le pareti esterne con le interne.

5. Costruzione esternamente alla parete di N.E. di un muro continuo di briglia, a sostegno del terreno.

6. Demolizione della volta irrazionalmente costruita nel maschio.

7. Demolizione di tramezzi costruiti nel maschio e nel corpo di fabbrica di N.E., i quali gravando in falso sulle volte di copertura della sala al piano terreno e del portico ne accentuano le spinte in fuori.

8. Sistemazione dei tetti e di tutto il sistema di deflusso dei pluviali.

Per combattere validamente e direttamente le cause vere dei perturbamenti stati ci sarebbe da dare sviluppo regolare alla sistemazione a terrazze del muro della sottostante scarpata mediante robusti muri di briglia e mediante smaltimento delle acque freatiche che agli spostamenti possono costituire elemento dinamico e che si presenterebbe come veramente efficace la costruzione di robusti contrafforti i quali nel lato sud-est e nell'angolo del maschio potrebbero essere racchiusi nell'attuale muro a scarpa che rappresenta un rinforzo simulato più che reale. Ma oltre ai provvedimenti di ordine statico che possono dirsi di carattere generale altri se ne presentano localizzate alle singole parti dell'edificio ed interessanti suoi speciali elementi o secondari e di alcuni di essi occorrerà qui dare notizia e ragione. Nel cortile dell'edificio richiamano l'attenzione: l'uno è l'angolo Est l'altro l'angolo Nord.

L'angolo est, addossato alla parete interna del maschio È tutto un groviglio di Archi, di volte di muri che si intersecano e si sovrappongono. il cedimento della colonna successiva all'angolo (appartenente al portico malatestiano) è veramente impressionante, ed evidentemente da esso sono derivate le varie aggiunte che costituiscono confuse opere di rinforzo ad infelici superfetazioni stilistiche.

Quivi Dunque i due problemi del restauro statico e di quello artistico si uniscono e riccheggiano una soluzione unica; e, senza voler anticipare i risultati di un regolare progetto che verrà presentato, può dirsi che questa dovrà nei riguardi architettonici consistere nel ripristino dell'arcata ogivale analoga alle altre due esistenti nella fronte del Portico di questo lato nord-est; nei riguardi costruttivi dovrà essere espressione nella demolizione, con speciali cautele, della corrispondente parte del corpo di fabbrica e nella regolare sua ricostruzione.

Quanto all'angolo Nord Il Pilastro a pianta quadrata che lo occupa, presenta due lezioni che sembrano abbastanza recenti e che denotano un inizio di schiacciamento sotto la pressione che vi è concentrata. tale pressione non è invero gravissima; ma la disposizione è la composizione interna delle pietre che costituiscono il pilastro stesso presenta probabilmente discontinuità che vengono a concentrarla in alcuni punti della sezione che ne sono risultati schiacciati.

Seguendo anche qui un criterio sperimentale di graduazione di provvedimenti, analogo a quello espresso per i problemi maggiori, è da eseguire immediatamente una duplice robusta fasciatura del Pilastro con ferro piatto ed una sigillatura delle lesioni. se questi dovessero ripetersi, altri più organici provvedimenti si







imporrebbero; e questi potrebbero portare a demolire senz'altro il corrispondente ambiente delle soffitte che si rialzano Sul tetto del piano principale è che portano in quel punto inutilmente il loro muri a gravare sul pilastro d'angolo predetto; e non è da escludersi anche che per questo fosse da consigliarsi una ricostruzione completa.

La regolare riparazione, che è già in corso, di tutte le coperture del Castello ed il convogliamento regolare di tutte le acque pluviali costituiranno, del resto, un efficace miglioramento costruttivo per le murature prospicienti sul cortile e, più in generale, per quelle di tutto il castello; poiché ne risulteranno escluse quelle infiltrazioni nelle murature e nel terreno che dovranno necessariamente danneggiare la costruzione e scaltarne le basi.

Oltre alle opere suddette tutta una serie di altre opere riguarda elementi minori del Castello: così l'abbattimento e la ricostruzione delle scalette semi crollate nell'interno del maschio; la ricostruzione dei Merli abbattuti ed il consolidamento di quelli rimasti; la ripresa di Archetti e di mensole deperiti e distaccati; la nuova costruzione di soffitti crollati o mancanti; nei quali lavori evidentemente il carattere dell'epoca di restauro si frastaglia, è lo scopo del consolidamento si associa, Senza Confini marcati, con quello di ripristino e con quello dell'adattamento; per i quali l'attuale proprietario intende, kolpino accordo della direzione generale delle antichità e delle Belle Arti, Riportare ad autenticità di organismo e dignità di aspetto d'arte ed ha funzione di vita il magnifico castello di Gradara insigne monumento di architettura militare e civile [27].

Di seguito vengono proposte le rielaborazioni grafiche di piante, sezioni e ricostruzione tridimensionale della Rocca durante la Fase 6, basandosi sulla ricerca storica effettuata, secondo la legenda (Figura 1.65 e Figura 1.66).

LEGENDA

- | | | |
|---|---|---|
|  Fase 1 - Periodo Romano e dei De Griffo |  Fase 3 - Secoda fase malatestiana |  Fase 5 - Periodo sforzesco |
|  Fase 2 - Prima fase malatestiana. Giovanni M. |  Fase 4 - Terza fase malatestiana. Sigismondo M. |  Fase 6 - Restauro di Zanvettori |

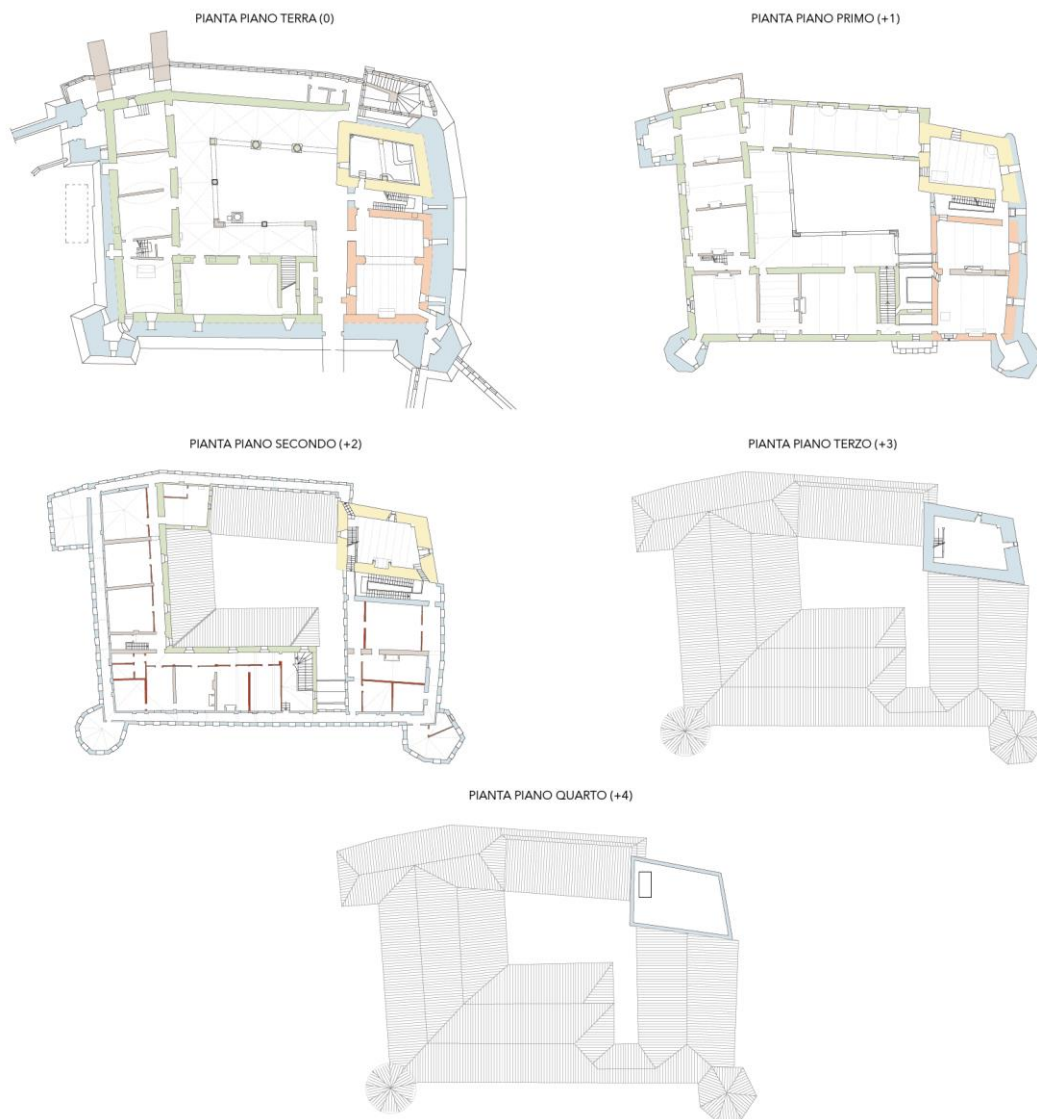
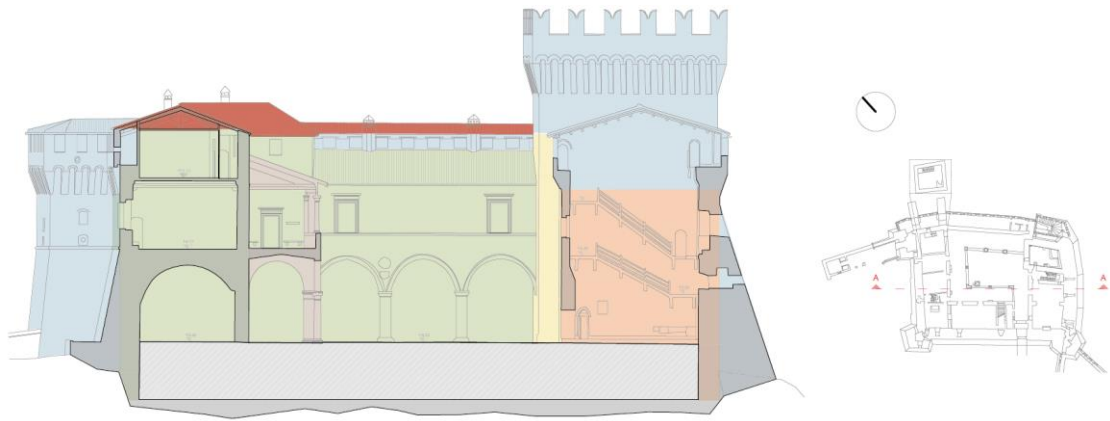
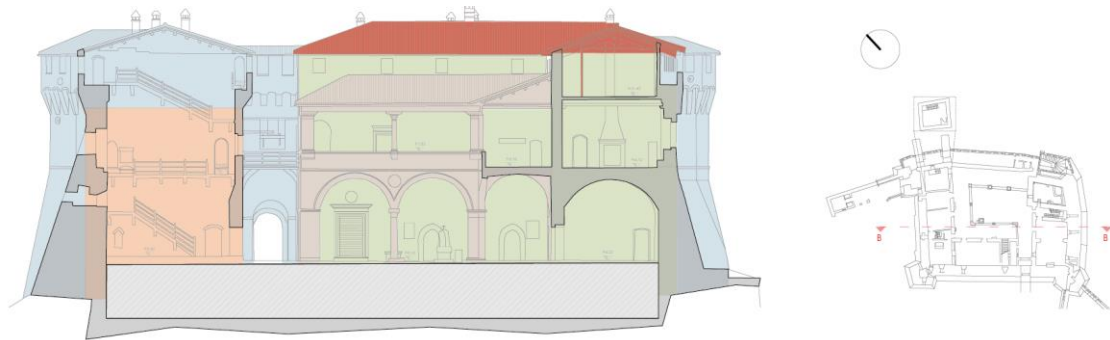


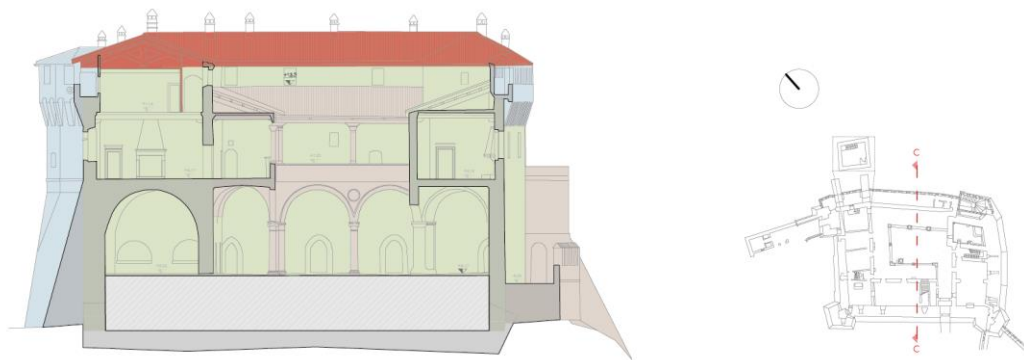
Figura 1.65 - Ricostruzione in pianta della Fase 6



SEZIONE AA



SEZIONE BB



SEZIONE CC

Figura 1.66 - Ricostruzione in sezione della Fase 6

1.3.2.7 La Rocca fino ai giorni d'oggi

Dopo qualche anno dalla fine del restauro per opera di Zanvettori, nel 1930 la Rocca mostrerà nuovi danni a causa di un nuovo terremoto con epicentro a Senigallia.

Dal 1938 fino al 1950 sono stati effettuati interventi alle mura del centro storico, con rifacimento dei salienti delle torri, delle merlature e le riprese "a scuci-cuci" delle cortine. La torre d'angolo fra mezzodì e ponente venne rifatta ex novo, essendo improvvisamente crollata, dalla base, durante una sosta meridiana dei lavori di consolidamento. L'imponente torre d'angolo nel Campo dei tornei è il manufatto che fra le due cinte di mura ha più richiesto interventi nel corso del secolo fino ai giorni d'oggi. Si è consolidato anche ciò che restava della merlatura.



Figura 1.67 - Gradara in una xilografia di G. Malmerendi (sec. XX).
Fonte immagine [27]

Dal 1940 al 1945 nel Borgo Mercato venne distrutto un carro armato tedesco e così i tedeschi iniziarono un bombardamento dalle 7.30 fino alle 14.30. Danni ingenti furono prodotti alle case, alle mura ed al castello con la morte di cinque civili.

Nel 1963 furono realizzate alcune superfetazioni adiacenti al girone (lato levante).

Nel 1970 l'associazione Pro Loco, dietro suggerimento del dott. Martinelli, sindaco di Lucca e noto studioso di quella cinta murata ripristinò sopra le mura di

ponente una protezione lignea per i camminamenti, scale e ripiani in legno indispensabili per salire in cima alla torre d'angolo dove i visitatori godono un incomparabile panorama. La Pro Loco si occupò anche di illuminare con proiettori le mura di levante. Dopo alcuni anni, la Soprintendenza ai monumenti estese l'illuminazione anche a tutta la Rocca [27].

Dal 1983 al '96 la rocca e le mura tornarono in possesso del Demanio, e furono effettuati consistenti restauri a cura dello Stato, descritti accuratamente dall'ispettore della soprintendenza dell'epoca, Delio Bischi, il quale, nel testo "Gradara fra archivi e restauri" [35] all'interno di "Atti e Memorie 94" relativo alla Regione Marche, descrive gli interventi realizzati e gli importanti ritrovamenti (sintetizzati in Tabella 1.15) scaturiti da essi che hanno contribuito a una maggiore conoscenza del manufatto. Di seguito vengono brevemente analizzati quelli che costituiscono una base di studio per gli approfondimenti successivi.

Tabella 1.15 - Ritrovamenti storico-costruttivi della Soprintendenza Regionale durante i lavori di restauro e consolidamento del 1984

DATA	TIPOLOGIA INTERVENTO	RINVENIMENTO STORICO
1984 [35]	Asportazione delle radici nella speronatura delle mura di ponente	Composizione della scarpa mediante speronatura inclinata e terra di riporto compressa prima della muraglia verticale
1984 [35]	Riassetto del basamento del pilastro d'angolo Nord del cortile	Pavimento a mattoni in costa su allettamento in ciottolato
Ottobre 1985 [35]	Smantellamento copertura del torrione Nord	Pertugio finale di condotta che collega piano terra, camerino di Lucrezia e piano ultimo della torre, salendo attraverso lo spessore del muro.
Novembre 1985 [35]	Ripulitura parete esterna del lato orientale del mastio	Rasature di beccatelli
- [35]	Restauro parete addossata alle mura interne del secondo piano	Beccatelli originari
Settembre 1987 [35]	Consolidamento torrione Sud Est	Impronta rotondeggiante e con residui lignei di grossi tronchi allogati orizzontalmente per tutto il perimetro della torre a m 1,70 sotto il cordolo
Ottobre 1988 [35]	Eliminazione struttura in cemento da piano terra della torre in Piazza d'Armi	Batteria di latrine con pertugio circolare come pozzo nero

Si intende di seguito analizzare le caratteristiche tipologiche dei ritrovamenti che si sono rivelati più utili ai fini dello studio, nel tentativo di ricostruire idealmente gli intenti compositivi e le caratteristiche della Rocca in questione.

- PAVIMENTAZIONE DEL CORTILE

Dalle indagini eseguite e descritto è stato rinvenuto quello che probabilmente era l'originario pavimento del cortile della Rocca di Gradara, costituito da mattoni in costa su un allettamento in ciottolato; insieme a questo, un'ulteriore pavimentazione è stata messa alla luce nell'anti cappella della Rocca, allo stesso livello di quella precedentemente descritta. Questo dato ha permesso di stimare un innalzamento del piano originario di tutto il cortile, loggiato e stanze comprese, di almeno trenta centimetri [35]. Di seguito (Figura 1.68 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) vengono riportate le due quote del cortile, quella storica e quella attuale, che iniziano a delineare la sezione di una porzione del manufatto.

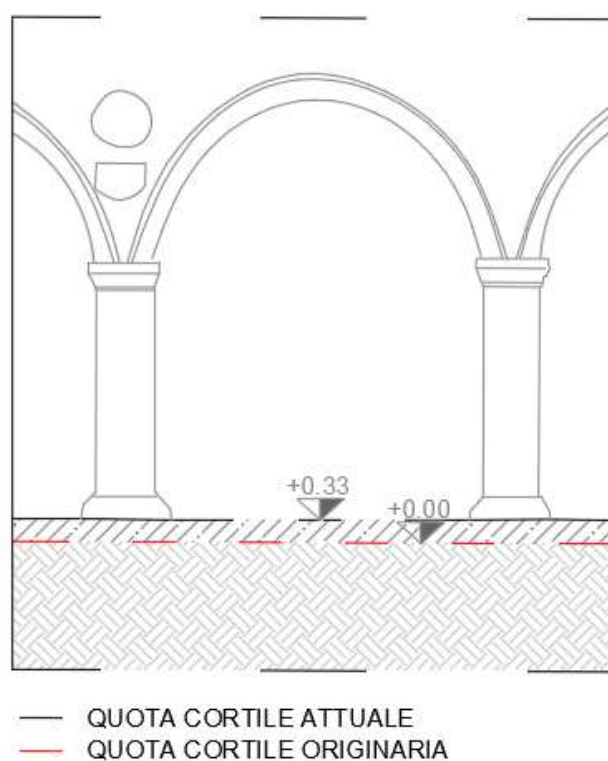


Figura 1.68 - Individuazione della quota originaria del cortile

- RASATURE DI BECCATELLI SUL MASTIO

Sul lato orientale del mastio è stata constatata la presenza della rasatura di questi elementi architettonici (Figura 1.69) precedentemente descritti (§1.1) che porta a ipotizzare l'esistenza di un antico apparato a sporgere e un coronamento a una quota più bassa dell'attuale mastio, circa a metà altezza [35]. La configurazione ipotizzata sulla base del ritrovamento sembra essere quella del secondo tipo mostrata nella Figura 1.70. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, con la presenza di archetti di collegamento tra le mensole, tesi avvalorata anche dal fatto che gli altri beccatelli presenti nella Rocca di Gradara sono della medesima tipologia.



Figura 1.69 - Ritrovamento di rasatura su lato orientale del mastio. Fonte [35]

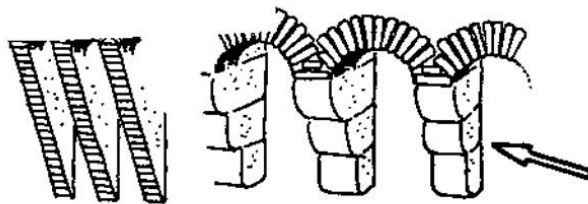


Figura 1.70 - Individuazione della tipologia di beccatelli inizialmente presenti come coronamento del mastio. Fonte [5]

Nella seguente rappresentazione tridimensionale (Figura 1.71) si intende graficizzare tale ipotesi evolutiva in cui il mastio della Rocca di Gradara presentava un coronamento e un apparato a sporgere a circa metà altezza di quella attuale.

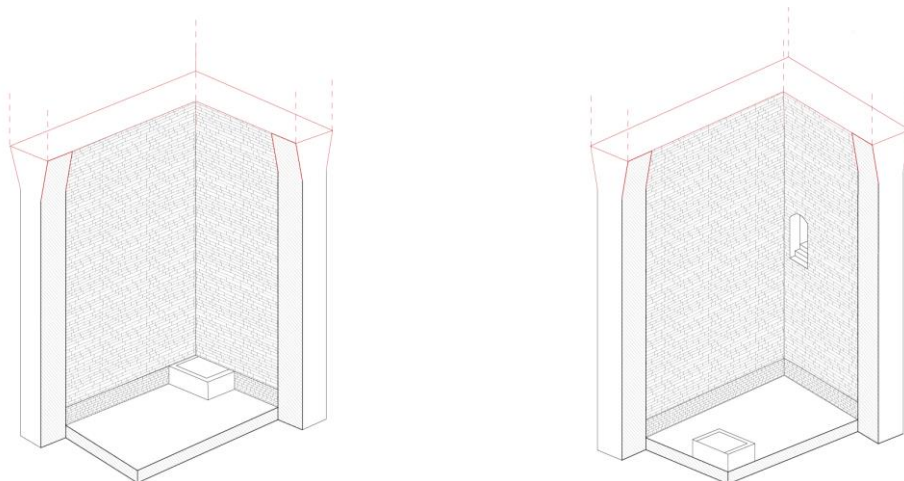


Figura 1.71 - Ipotesi evolutiva di un precedente apparato a sporgere nel mastio

- IMPRONTE DI TRONCHI ORIZZONTALI ALLOGGIATI NELLA MURATURA DELLA TORRE SUD

Consolidando il torrione Sud sono venute alla luce delle impronte di elementi lignei un tempo affogati nella muratura per tutto il perimetro a circa 1,70 m sotto il cordolo. Questo espediente costruttivo veniva utilizzato per alleviare la muratura da eventuali sollecitazioni verticali in corso d'opera, e al consolidamento della stessa si procedeva poi all'estrazione di tali elementi.

Troviamo numerosi esempi di questa tecnica in altri manufatti fortificati, uno tra tutti nei resti della Rocca di San Giovanni in Galilea (FO) (Figura 1.72), anch'essa rocca malatestiana del XV secolo, dove sono ben visibili le tracce dei tronchi utilizzati nell'edificazione del paramento.



Figura 1.72 - Impronta di tronchi nel caso della Rocca di San Giovanni in Galilea (FO).

Fonte [35]

In aggiunta, su tutto il cammino di ronda e sulle torri sono stati segnalati residui di doppi murali posti a croce sul corpo dei beccatelli inseriti dai Malatesta come tiranti per sorreggere la risega di mattoni, fragile fino al consolidamento della malta. Questo ritrovamento conferma il completo rifacimento esterno delle torri sulle quali non si trovano più tracce di questi espedienti costruttivi.

- COMPOSIZIONE DELLA SCARPA



Figura 1.73 - Squarcio sulla speronatura. Fonte [35]

Da uno squarcio effettuato sul lato Ovest (Figura 1.73) per poter estirpare la vegetazione presente sulle cortine la soprintendenza ha potuto osservare la composizione in sezione della scarpa muraria la quale, dall'interno verso l'esterno consiste in uno strato di terreno addossato al paramento verticale esterno e un massiccio paramento inclinato, successivamente rivestito da un secondo paramento inserito durante il restauro dello Zanvettori del 1920 [35]. Inoltre da un'analisi condotta sui frammenti ceramici nel terrapieno si specifica inoltre che il costipamento non risulta posteriore alla metà del XV secolo. Tale tecnica costruttiva permetteva di aumentare con poca spesa lo spessore delle mura durante l'espansione dell'edificio e si riteneva inoltre il nuovo innesto capace di assorbire elasticamente il colpo dei proiettili di artiglieria proprio grazie alla presenza della terra [35]. Tale ritrovamento risulterà di particolare importanza nella definizione

delle apparecchiature murarie approfondite nel Capitolo 3 della presente tesi (§3.2.3).

1.3.3 *Confronto della Rocca Demaniale di Gradara con altre Rocche Malatestiane*

Similitudini e confronti tecnici/architettonici con la Rocca di Gradara possono essere eseguiti in varie Malatestiane tra le quali si riportano di seguito le più coeve (Figura 1.74).

Si ricorda quindi la Rocca Malatestiana di Verucchio a Rimini (a) sorta per opera di Malatesta da Verucchio; ancora oggi è resa possibile la sua visita grazie all'intervento di Sigismondo Malatesta nel XV secolo, che la fortificò e ampliò nel corso del 1400; Castel Sismondo o a Rimini (b), costruita da Sigismondo Malatesta nel 1437; la Rocca Malatestiana a Cesena (c) realizzata nel 1380 grazie a Galeotto Malatesta; la Rocca di Sant'Arcangelo a Rimini (d) edificata da Sigismondo nel 1447; la Rocca Malatestiana di Fano (e) in cui i lavori eseguiti per la sua costruzione sono iniziati nel 1433; ed infine la Fortezza di San Leo a San Leo (f) che fu espugnata per opera dei Malatesta intorno alla seconda metà del Trecento.

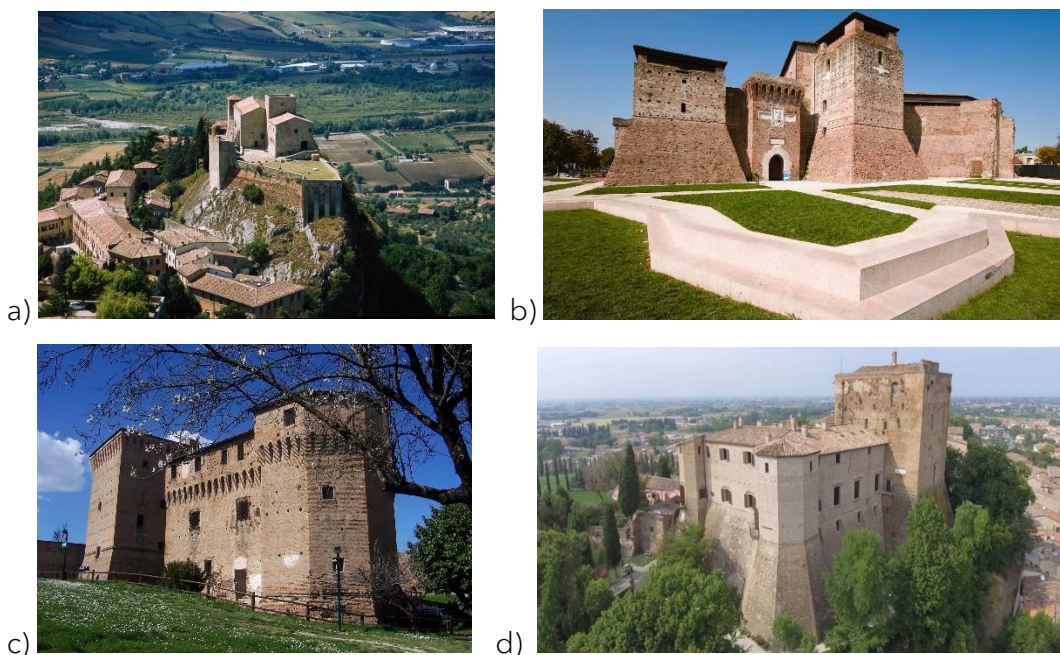




Figura 1.74- Rocche a confronto: a) Rocca Malatestiana di Verucchio, Rimini; b) Castel Sismondo, Rimini; c) Rocca Malatestiana di Cesena, Cesena; d) Rocca di Sant'Arcangelo, Rimini; e) Rocca Malatestiana di Fano, Fano; f) Fortezza di San Leo, San Leo. Fonti immagini: a) [36]; b) [37]; c) [38]; d) [39]; e) [40]; f) [41]

Tutte queste Rocche hanno un impianto pressoché simile, concepite come palazzo e fortezza insieme, come degna sede per la corte e per la guarnigione e come segno di potere e di supremazia sulla città.

Si nota la presenza di alcuni elementi significativi in comune tra queste Fortezze, Castelli e la Rocca di Gradara. Non si tratta semplicemente della ripresentazione di parti costitutive le rocche in generale, ma della somiglianza delle forme geometriche di alcuni elementi: questo aspetto è dato dal fatto che i manufatti siano stati costruiti o ristrutturati dalla stessa persona, ovvero Sigismondo Malatesta.

In particolare, si sta parlando di torri di forma poligonale piuttosto che quadrate o circolari, le quali sono presenti nella rocca di Verucchio a Rimini, in quella di Fano e Cesena; elementi a sporgere come i beccatelli che venivano inseriti con la nascita dell'arma da fuoco, con la funzione di sostenere dei camminamenti di ronda che fungevano da ulteriore baluardo difensivo in elevazione, come avviene nella Rocca di Sant'Arcangelo a Cesena e nella Rocca di San Leo; il ponte levatoio che gestiva l'ingresso alle Rocche, presente oltre che a Gradara, anche a Fano; ed infine il fossato circoscritto da un girone di mura interno alle mura vere e proprie del paese, che rappresentano un ulteriore ed importante elemento difensivo.

Molte di queste Fortezze hanno un'ulteriore caratteristica che le accomuna: si trovano sulla sommità di cuspidi che sovrastano l'abitato sottostante: ciò permetteva un'ulteriore sicurezza difensiva per chi viveva o abitava le Rocche.

Capitolo 2

FASI E METODI

2.1 Fasi

Di seguito sono elencati e analizzati tutti i passi percorsi per eseguire il lavoro di approfondimento del caso studio della Rocca di Gradara e che hanno portato anche alla stesura della scheda speditiva come mezzo tramite il quale è possibile studiare un manufatto di valenza storica.

2.1.1 *Controllo del rilievo geometrico*

Come già illustrato nel paragrafo § 1.3.1 il rilievo geometrico è stato messo a disposizione dalla Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio delle Marche (Sabap Marche). Durante i sopralluoghi realizzati in data 23.04.21 e 28.07.21 sono state svolte diverse attività necessarie per progredire con il lavoro. Nello specifico nella Tabella 2.1 si riporta un prospetto delle attività svolte; sono state verificate alcune informazioni riportate nel rilievo, il quale è risultato abbastanza affidabile, ad eccezione del fatto che sono state riscontrate delle difformità in quanto non risulta essere stato collocato l'ascensore in un vecchio vano scala nei pressi della Torre Ovest, e non è ben disegnato il collegamento verticale che garantisce il collegamento tra il terzo piano del mastio e la terrazza panoramica. Queste difformità sono individuate con dei tratti rossi negli elaborati del rilievo geometrico riportati nell'ALLEGATO 1.

Tabella 2.1 - Prospetto dei sopralluoghi realizzati all'interno della Rocca di Gradara durante il periodo di studio.

Data sopralluogo	Luogo	Presenze	Attività svolte
Venerdì 23 Aprile 2021	Rocca di Gradara Piazzale Alberta Porta Natale, Gradara (PU)	Ing. Gregorini B. Patrizi I. Vinciguerra C.	Conoscenza della Rocca nelle sue parti principali e rilievo fotografico di tutti gli ambienti interni ed esterni con misurazione di alcuni elementi caratteristici.
Mercoledì 28 Luglio 2021	Rocca di Gradara Piazzale Alberta Porta Natale, Gradara (PU)	Prof. Ing. Quagliarini E. Patrizi I. Vinciguerra C.	Completamento del rilievo fotografico mancante, misurazioni della scarpa muraria esterna e verifica di alcuni elementi puntuali nel piano terra e terzo piano del mastio.

2.1.2 *Divisione in macrozone e macroelementi con relativa nomenclatura*

La Rocca di Gradara si presenta come un complesso edificio, e per riuscire ad orientarsi al meglio e individuare in un modo univoco ogni elemento dell'edificio è stata realizzata una nomenclatura che tiene conto della conformazione architettonica della Rocca, identificando ogni parte sotto l'aspetto architettonico funzionale (macrozona), costruttivo (macroelemento), storico (fase storica), e il lato del macroelemento.

Le tre scale di individuazione degli elementi nella Rocca sono quindi:

- Macrozone: parti costruttivamente riconoscibili del manufatto che coincidono con delle zone identificabili dal punto di vista sia architettonico, funzionale e storico.
- Macroelemento: porzioni con capacità di risposta sismica omogenea;
- Paramento: lati di una porzione muraria ben definita.

Questa suddivisione può essere applicabile a diversi casi studio, tenendo sempre in considerazione le caratteristiche specifiche di ogni manufatto, e sarà necessario adattare ognuno dei punti sopracitati a seconda delle esigenze della struttura presa in esame.

Macrozona: nella Rocca di Gradara sono state definite dieci macrozone differenti, e ad ognuna è stata attribuita una sigla (Figura 2.1).

- Torri (TO);
- Mastio (MA);
- Portico prima fase (PP);
- Mura perimetrali (MP);
- Scale (EL);
- Palatium (PA);
- Stanze di servizio e abitative (SAB);
- Portico seconda fase (PS);
- Falsabraga (FA);
- Collegamenti (CO).

Il mastio è l'elemento più alto che è presente su tutti i piani, compresa la copertura in quanto termina con una terrazza panoramica. Le torri si sviluppano dal piano terra al secondo piano. Il portico della prima fase è collocato solamente al piano terra, mentre il portico della seconda fase ha una sopraelevazione anche al primo piano attraverso un ballatoio. Le mura perimetrali sono presenti fino alla metà del primo piano circa. La zona delle scale considerata tra il mastio e il palatium si estende dal piano terra fino al secondo piano, per proseguire fino alla copertura ci sono ulteriori rampe che si trovano all'interno del mastio. Il palatium, come le stanze di servizio e abitative sono presenti dal piano terra al secondo piano. La falsabraga è collocata al piano terra. Infine, i collegamenti si trovano esclusivamente al piano primo per fungere da connessione tra palatium e ambienti di servizio e abitativi.

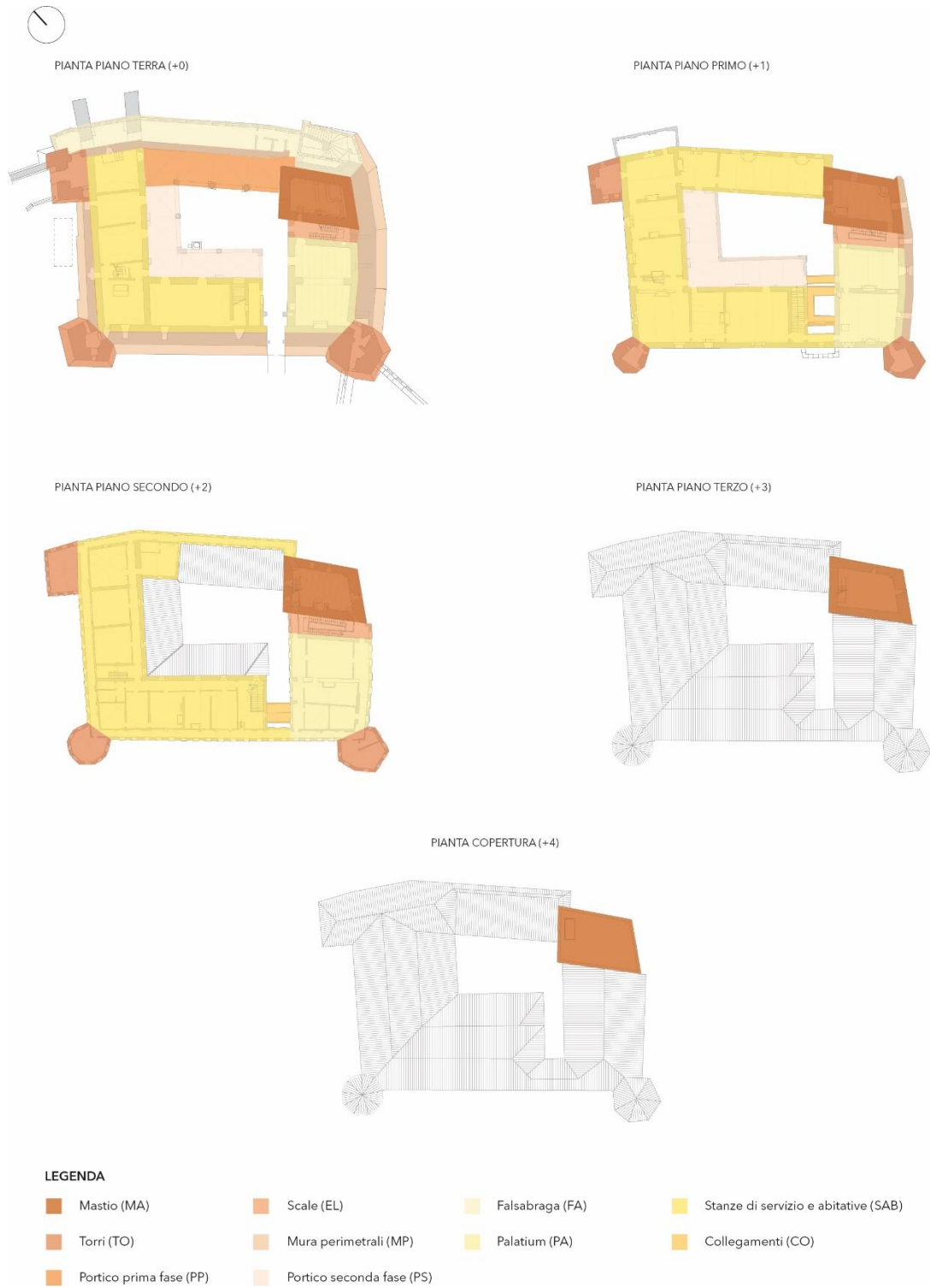


Figura 2.1 - Definizione in pianta delle zone

Macroelemento: alla macrozona è stata affiancata, dove necessario, un'ulteriore sigla che individua i macroelementi a cui si fa riferimento, denominati secondo il criterio di seguito spiegato:

SIGLA della MACROZONA_LETTERA PROGRESSIVA del
MACROELEMENTO.NUMERO FASE STORICA

Come già anticipato, per fornire un quadro più completo già a partire dalla nomenclatura di ogni elemento, si è aggiunta anche l'indicazione della fase storica a cui appartiene, che come già descritto nel § 1.3.2 sono 6:

1. Dal "periodo Romano" al periodo dei "De Griffo";
2. "Prima fase Malatestiana", Giovanni Malatesta;
3. "Seconda fase Malatestiana";
4. "Terza fase Malatestiana", Sigismondo Malatesta;
5. "Periodo Sforzesco";
6. Dal "periodo dei Della Rovere" al restauro di Zanvettori.

Di seguito viene riportato l'elenco dei macroelementi (Tabella 2.2):

Tabella 2.2 - Riepilogo della nomenclatura delle macrozone e dei macroelementi.

Macrozone	Descrizione	Macroelementi
MA	Mastio	MA
TO	Torre	TO_A, TO_B, TO_C
PP	Portico prima fase	PP
PS	Portico seconda fase	PS_A, PS_B
MP	Mura perimetrali	MP_NO, MP_SO, MP_SE, MP_NE
EL	Scale	EL_A, EL_B
PA	Palatium	PA_A, PA_B, PA_C, PA_D, PA_E, PA_F, PA_G, PA_H, PA_I
FA	Falsabraga	FA_A, FA_B
CO	Collegamenti	CO_A, CO_B
SAB	Stanze di servizio e abitative	SAB_A, SAB_B, SAB_C, SAB_D, SAB_E, SAB_F, SAB_G, SAB_H, SAB_I, SAB_L, SAB_M, SAB_N, SAB_O, SAB_P, SAB_Q, SAB_R, SAB_S, SAB_T e SAB_U

Tutti i macroelementi sono stati individuati in pianta; si riportano a titolo esemplificativo i macroelementi del piano terra (Figura 2.2):

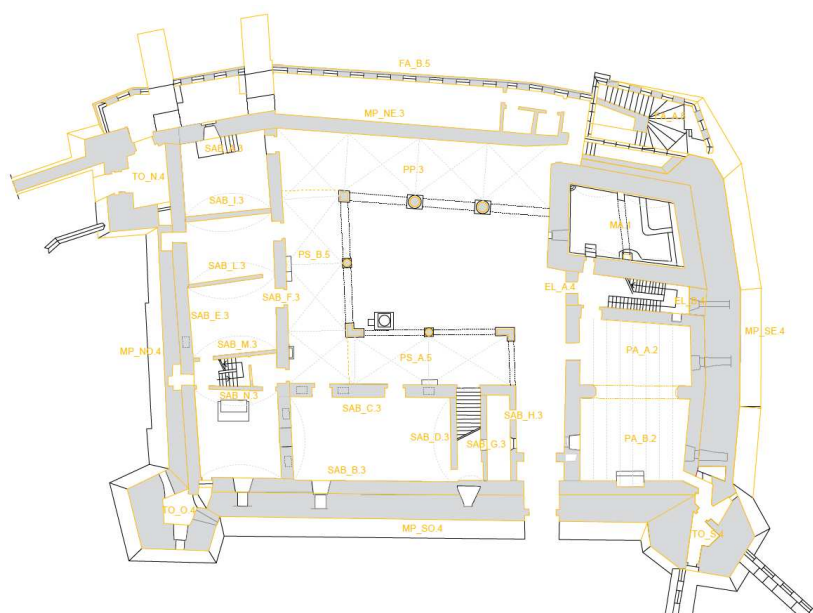


Figura 2.2 - Piano terra, esempio di nomenclatura con l'indicazione delle macrozone, macroelementi e fasi storiche.

Paramento del macroelemento: in sede di sopralluogo sono state registrate le parti della Rocca con muratura a vista, le parti intonacate e le sezioni aperte. I paramenti con tessitura a vista sono stati quelli effettivamente utilizzati come oggetto di studio e hanno necessitato di una propria nomenclatura di seguito descritta.

SIGLA della MACROZONA_SIGLA dell'ORIENTAMENTO CARDINALE.SIGLA
POSIZIONE PARAMENTO

Di seguito vengono riportate la tabella e la pianta relativa al piano terra (Figura 2.3) con i paramenti analizzati nel prossimo capitolo (Tabella 2.3).

Tabella 2.3 - Riepilogo della nomenclatura dei paramenti analizzati

Macrozone	Descrizione	Piano	Paramenti
MA	Mastio	PT	MA_NO.dx, MA_NO.sx, MA_NE.1.inf, MA_NE.2.inf, MA_SE.sx, MA_SO.1.sup, MA_SO.2.sup, MA_SO.inf
		P1	MA_SO.inf
		P3	MA_NO.dx, MA_NE.inf, MA_SO.1.sup, MA_SO.2.sup
EL	Scale	PT	EL_NO.dx, EL_NO.sx, EL_SE.sx
		P2	EL_NO.dx, EL_SE.sx
		P3	EL_NO.dx
PA	Palatium	PT	PA_NO.1.sx, PA_NO.2.sx, PA_SO.sup
		P1	PA_SO.sup
		P2	PA_SO.sup
SAB	Stanze di servizio e abitative	PT	SAB_SE.dx

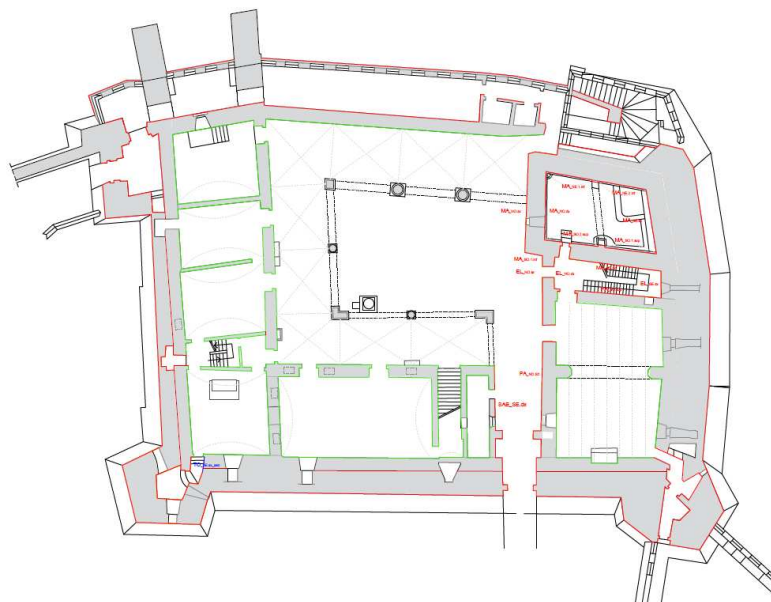


Figura 2.3 – Individuazione dei paramenti analizzati nella pianta del piano terra, dove in rosso sono evidenziate le pareti tessite, in verde le pareti intonacate e in blu le sezioni a vista

Dovendo far riferimento ad uno specifico lato del macroelemento è stata considerata la sua disposizione in pianta: due diversi lati della stessa sezione muraria sono stati chiamati all’occorrenza sup (superiore) e inf (inferiore), oppure dx (destra) e sx (sinistra).

2.1.3 Rilievo fotografico

Durante i sopralluoghi è stato eseguito il rilievo fotografico (esempio in Figura 2.4), prestando attenzione a ciò che potesse essere realmente utile o meno ai fini del lavoro di tesi; infatti, il rilievo nella Rocca di Gradara si è concentrato principalmente su tutte le murature a vista sia interne che esterne.

Oltre a scattare immagini che facessero capire l’effettiva morfologia e conformazione di ogni ambiente, è stata scattata almeno una foto per l’intera parete, facendo attenzione ad includere nell’immagine un metro quadro di parete, attraverso il metro rigido, in modo tale che in un successivo momento fosse possibile realizzare il fotoraddrizzamento e scalare l’immagine per poterci lavorare ed ottenere dei risultati. Purtroppo, non sono state trovate delle sezioni a vista (ad eccezione di una collocata all’ingresso della Torre Ovest nel piano terra) che sarebbero state utili per ricavare più rapidamente la stratigrafia dell’apparecchiatura

muraria, e i risultati dell'analisi della qualità muraria; nonostante ciò, si è provveduto a fotografare tutti gli elementi caratteristici e peculiari del manufatto, in modo che potessero essere analizzati e approfonditi nelle fasi successive dello studio. A volte è stato necessario anche l'utilizzo di una torcia per realizzare fotografie il quanto più possibile visibili in ambienti poco illuminati.

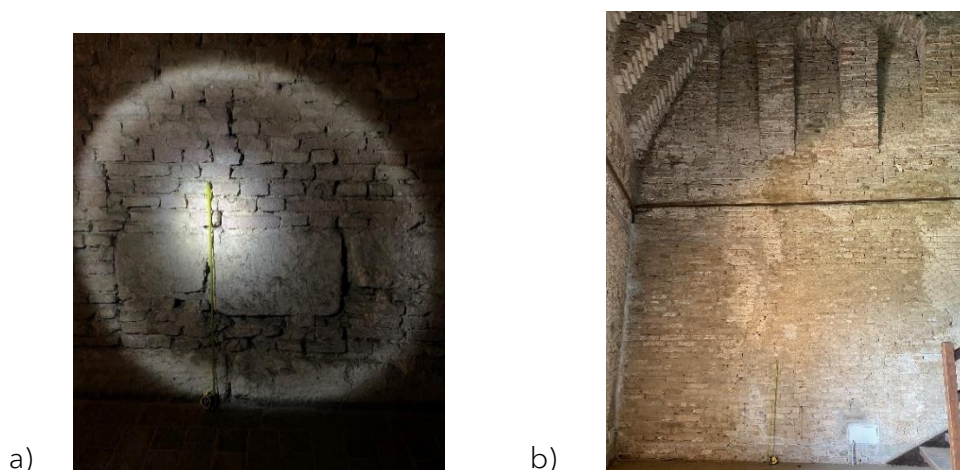


Figura 2.4 - Esempi di immagini del rilievo fotografico; a) fotografia scattata con l'utilizzo di una torcia e di un metro rigido; b) fotografia scattata con l'utilizzo di un metro rigido.

Le fotografie sono state realizzate con un Iphone 11 Pro avente una tripla fotocamera con risoluzione di 12 MP con grandangolo $f/1.8$, ultragrandangolo $f/2.4$, angolo di campo di 120° e teleobiettivo $f/2.0$.

Tutto il rilievo fotografico del piano terra, piano primo, piano secondo, piano terzo e copertura sono visibili in ALLEGATO 2.

2.1.4 Fotoraddrizzamento

Prima di procedere con l'analisi dei singoli paramenti murari nelle varie declinazioni descritte nel paragrafo §2.1.6, si è resa necessaria una rielaborazione delle immagini acquisite in sede di sopralluogo. Attraverso il software Adobe Photoshop, nell'ambiente di lavoro Camera Raw, è stato possibile effettuare un raddrizzamento delle immagini per esportare i file .jpg oggetto dei successivi approfondimenti. Si riportano le fasi principali in Figura 2.5.

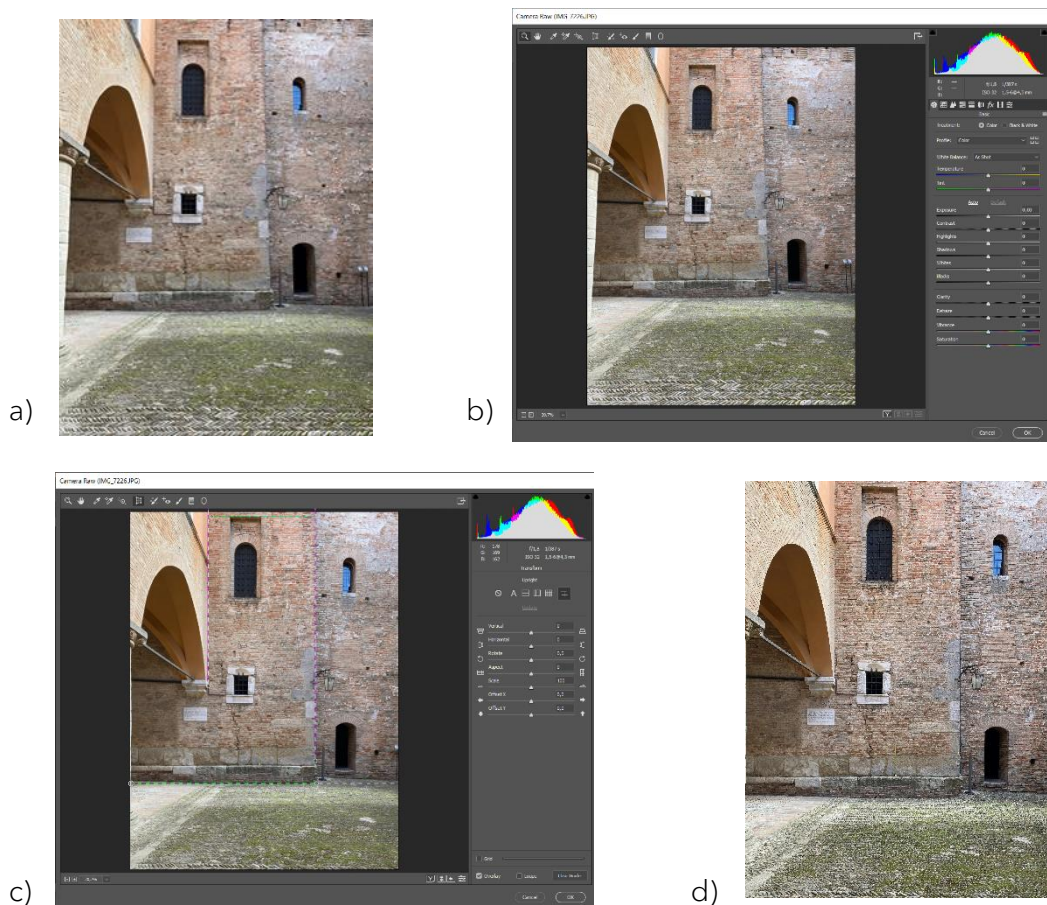


Figura 2.5 - Raddrizzamento immagini. a) immagine iniziale; b) importazione nell'ambiente Camera Raw; c) creazione di riferimenti verticali e orizzontali per l'elaborazione; d) immagine raddrizzata

Le immagini raddrizzate, per le elaborazioni che necessitavano informazioni quantitative, sono state successivamente scalate nel software AutoCAD e le misure acquisite sono state verificate nuovamente in situ.

2.1.5 Compilazione schede speditive di analisi tecnologico-costruttiva

La scheda speditiva per il rilievo dei dati in situ è stata realizzata grazie al contributo del relatore chiar.mo prof. Ing. E. Quagliarini e dell'Ing. B. Gregorini, grazie alla quale è possibile compiere un'analisi tecnologico-costruttiva della muratura che potesse essere applicabile al caso di studio della Rocca di Gradara, ma anche a manufatti storici di diversa tipologia.

La seguente scheda è d'aiuto per la raccolta dei dati in situ e per la successiva valutazione della tipologia di muratura all'interno del complesso della Rocca di Gradara. La classificazione delle tipologie presenti è fatta prevalentemente in accordo con le attuali norme NTC 2018 e alla Circolare 2019 (cfr. C8.5.3.1) [42] [43], ma vi è la possibilità di aggiungere ulteriori tipologie e/o sottocategorie in relazione al manufatto. La raccolta dei dati e la conseguente valutazione delle tipologie è fatta su base speditiva, ovvero raccogliendo le informazioni di facile e veloce lettura direttamente dal manufatto. Successivamente, i parametri inseriti all'interno della scheda verranno tramutati in pesi e verrà elaborata un'analisi quantitativa della qualità muraria come sulla base della regola dell'arte, valutando l'Indice di Qualità Muraria, come suggerito dall'Ordinanza Commissariale n.44 del 2017 [44].

La scheda è stata creata seguente le schede di rilievo per la muratura utilizzate negli ultimi eventi sismici sia per il rilievo del danno che per la progettazione. Le schede analizzate e prese da riferimento sono:

- Schede Tecniche di Accompagnamento al Progetto (STAP), fornite dalle regioni di Marche e Umbria per la ricostruzione post sisma del 1997 [45] [46] [47], e la STAP della regione Abruzzo post sisma dell'Aquila 2009 [48] [49];
- La scheda di Rilievo GNDT e la Scheda delle Carenze pubblicate dalla regione Toscana [50] [51];
- La scheda di raccolta di dati per la qualificazione speditiva (con abaco) della regione Emilia-Romagna [52] [53];
- Le schede per il calcolo dell'Indice di Qualità Muraria - ReLuis [54] [55] [56].

La scheda - Modalità di compilazione

L'analisi è condotta raccogliendo i dati secondo quest'ordine:

0. IDENTIFICAZIONE

Si individua il vano di locazione del paramento murario preso in esame e si identifica la propria tipologia muraria;

1. QUALITÀ MURARIA

Si procede attraverso l'analisi speditiva con la raccolta dei dati geometrici e una prima valutazione dei parametri della regola dell'arte [54] [55] [56].

Questa sezione deve essere compilata per quanto possibile in situ, ma per tutte le valutazioni quantitative sarà necessaria una successiva fase di studio. La porzione di metro quadro per il calcolo dell'Indice di Qualità Muraria deve essere giustificata e sufficientemente descrittiva della tipologia muraria. La sezione del rilievo deve essere di 1 metro quadro per entrambi i paramenti e interessare rispettivamente la stessa porzione di muro delle due cortine. Se visibile, va analizzata anche la sezione muraria. Sono da evitare sezioni con nicchie, rifacimenti e/o manomissioni che alterano le caratteristiche tipologiche (esempio: l'apparecchiatura muraria a ridosso delle porte finestre negli edifici storici è spesso falsata, in quanto la tessitura viene risvoltata all'angolo, tramite l'inserimento di elementi a finitura dell'apertura e per questo non è significativa ai fini dello studio della parete a cui appartiene) [54] [55] [56];

2. INQUADRAMENTO

Per avere un riferimento planimetrico del paramento preso in esame si procede nell'eseguire un inquadramento sia geometrico che storico del setto murario [47] [48] [50] [52] [55] [56];

3. DATI TECNOLOGICO COSTRUTTIVI

Si procede poi con l'inserimento dei dati tecnologico costruttivi che sono riferibili ai blocchi (materiale, forma e dimensione), alla malta (tipologia, spessore e consistenza) alla tessitura (giunti orizzontali e verticali), all'apparecchiatura (diatoni, ingranamento e sacco) [47] [48] [50] [52] [55] [56];

4. STATO DI CONSERVAZIONE

Infine, si valuta il degrado, i disseti ed eventuali interventi di restauro visibili [45] [47] [55] [56].

Di seguito è riportata la scheda speditiva tipo (Figura 2.6) che è stata elaborata in un foglio di calcolo Excel che ha permesso una compilazione semplice e veloce direttamente su supporto digitale, con l'adozione di menù a tendina e caselle di controllo, inoltre in ALLEGATO 3 è riportata, per maggior completezza, l'intera guida alla compilazione della scheda speditiva.

Questa fase si sviluppa interamente in situ, dove si è proceduto nella compilazione di una scheda speditiva per ogni macroelemento per piano (dove si è in presenza di muratura a vista). L'obiettivo è stato valutare ogni macroelemento nella sua interezza (prospetto 1, prospetto 2 e sezione dove visibile) raccogliendo tutti i dati necessari per la valutazione della qualità muraria e dello stato di conservazione.

ANALISI TECNOLOGICO - COSTRUTTIVA DELLA MURATURA

Scheda per il rilievo di dati in situ

A. NOME	
Piano	
Sigla zona	
Lettera progress. macroelemento	
Numero fase storica	
NOME COMPLETO	

B. TIPOLOGIA	
Tipologia risultante (tabella C8.5.1 - Circolare NTC 2018)	
<input type="checkbox"/>	Muratura in pietrame disordinata
<input type="checkbox"/>	Muratura a conci sbalzati con paramenti di spessore diverso e/o nucleo
<input type="checkbox"/>	Muratura in pietre a spacco con buona tessitura
<input type="checkbox"/>	Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite)
<input type="checkbox"/>	Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite)
<input type="checkbox"/>	Muratura a blocchi lapidei squadrati
<input type="checkbox"/>	Muratura in mattoni pieni e malta di calce
<input type="checkbox"/>	Muratura in mattoni semipieni e malta cementizia
<input type="checkbox"/>	Altro

SEZIONE 1 : QUALITA' MURARIA - SPEDITIVA

C. RILIEVO DEL METRO QUADRO

a. Dati metrici

Paramento 1	inserire foto mq 1	SCHEMI LMT Paramento 1	inserire foto mq 1 con LMT	Lato 1
-------------	--------------------	------------------------	----------------------------	--------

Paramento 2	inserire foto mq 2	SCHEMI LMT Paramento 2	inserire foto mq 2 con LMT	Lato 2
-------------	--------------------	------------------------	----------------------------	--------

Sezione	inserire foto sezione	SCHEMI LMT Sezione	inserire foto sezione con LMT	Sez
---------	-----------------------	--------------------	-------------------------------	-----

PARAMETRI	Giudizio	IQM_v	IQM_fp	IQM_np	
		Voto_v	Voto_fp	Voto_np	
OR	Orizzontalità dei filari	R - Rispettato	2	2	1
PD	Presenza diafani	NR - Non rispettato	0	0	0
FEL	Forma elementi	R - Rispettato	3	2	2
SG	Sfalsamento giunti verticali	R - Rispettato	1	1	2
DEL	Dimensione elementi	PR - Parzialmente rispettato	0,5	0,5	0,5
MA	Qualità malta/zeppa	R - Rispettato	2	1	2
REEL	Resistenza Elementi	R - Rispettato	1	1	1
r	Coeff correttivo per MA	R - Rispettato	1	1	1
m	Coeff correttivo per malta	Altri casi	1		
g	Coeff correttivo per giunti	Altri casi	1		
IQM	INDICE QUALITÀ MURARIA	Fessurazione dei giunti	8,50	6,50	7,50
CAT	CATEGORIA		A	B	A

SEZIONE 2 : INQUADRAMENTO

D. GEOMETRICO

a. Rilievo

PIANTA + PIANTA ZOOM		Piano	0
----------------------	--	-------	---

b. Tipologia muro			
<input type="checkbox"/>	Esterno	<input type="checkbox"/>	Portante
<input type="checkbox"/>	Interno	<input type="checkbox"/>	Non portante
<input type="checkbox"/>	Altro	<input type="checkbox"/>	Portante
		<input type="checkbox"/>	Non portante
		<input type="checkbox"/>	Ex-esterno
		<input type="checkbox"/>	Scarpa

b. Posizione del muro			
<input type="checkbox"/>	Isolato		
<input type="checkbox"/>	Non isolato	<input type="checkbox"/>	in adiacenza
<input type="checkbox"/>	Non definibile	<input type="checkbox"/>	in continuità

Scheda n° 0

CODICE IDENTIFICATIVO MURO

E. STORICO

Paramento 1	Lato 1	Numero
<input type="checkbox"/>	Dal periodo Romano al periodo dei De Griffo	1°
<input type="checkbox"/>	Prima fase Malatestiana, Giovanni Malatesta	2°
<input type="checkbox"/>	Seconda fase Malatestiana	3°
<input type="checkbox"/>	Terza fase Malatestiana, Sigismondo Malatesta	4°
<input type="checkbox"/>	Periodo Sforzesco	5°
<input type="checkbox"/>	Dal periodo dei Della Rovere al restauro di Zanvettori	6°
<input type="checkbox"/>	Altro	7°

Paramento 2	Lato 2	Numero
<input type="checkbox"/>	Dal periodo Romano al periodo dei De Griffo	1°
<input type="checkbox"/>	Prima fase Malatestiana, Giovanni Malatesta	2°
<input type="checkbox"/>	Seconda fase Malatestiana	3°
<input type="checkbox"/>	Terza fase Malatestiana, Sigismondo Malatesta	4°
<input type="checkbox"/>	Periodo Sforzesco	5°
<input type="checkbox"/>	Dal periodo dei Della Rovere al restauro di Zanvettori	6°
<input type="checkbox"/>	Altro	7°

SEZIONE 3 : DATI TECNOLOGICO COSTRUTTIVI (in coerenza con Sezione 2)

F. BLOCCHI

a. Materiale

Paramento 1	Lato 1			
<input type="checkbox"/>	Laterizio	<input type="checkbox"/>	Arenaria	%
<input type="checkbox"/>	Pietra	<input type="checkbox"/>	Calcare	%
		<input type="checkbox"/>	Tufo	%
		<input type="checkbox"/>	Altro	%
<input type="checkbox"/>	Altro	<input type="checkbox"/>	C.A	%
		<input type="checkbox"/>	Mix lat./pietra	%
		<input type="checkbox"/>	Terra cruda	%
		<input type="checkbox"/>	Tufo tenero	%

b. Tipologia	<input type="checkbox"/>	Blocco	<input type="checkbox"/>	Forato con Φ>45%
	<input type="checkbox"/>	Forato con Φ<45%	<input type="checkbox"/>	Altro

c. Lavorazione	<input type="checkbox"/>	Assente (ciottoli)	<input type="checkbox"/>	Sbozzata
	<input type="checkbox"/>	A spacco	<input type="checkbox"/>	Spigoli finiti

Paramento 2

Lato 2				
a. Materiale				
<input type="checkbox"/>	Laterizio	<input type="checkbox"/>	Arenaria	%
<input type="checkbox"/>	Pietra	<input type="checkbox"/>	Calcare	%
		<input type="checkbox"/>	Tufo	%
		<input type="checkbox"/>	Altro	%
<input type="checkbox"/>	Altro	<input type="checkbox"/>	C.A	%
		<input type="checkbox"/>	Mix lat./pietra	%
		<input type="checkbox"/>	Terra cruda	%
		<input type="checkbox"/>	Tufo tenero	%

b. Tipologia	<input type="checkbox"/>	Blocco	<input type="checkbox"/>	Forato con Φ>45%
	<input type="checkbox"/>	Forato con Φ<45%	<input type="checkbox"/>	Altro

c. Lavorazione	<input type="checkbox"/>	Assente (ciottoli)	<input type="checkbox"/>	Sbozzata
	<input type="checkbox"/>	A spacco	<input type="checkbox"/>	Spigoli finiti

G. MALTA

a. Tipologia

Paramento 1	Lato 1		
<input type="checkbox"/>	A secco	<input type="checkbox"/>	Calce aerea
<input type="checkbox"/>	Argilla/sabbia	<input type="checkbox"/>	Cementizia
<input type="checkbox"/>	Calce idraulica	<input type="checkbox"/>	Altro
b. Consistenza			
<input type="checkbox"/>	Incoerente	<input type="checkbox"/>	Compatta
<input type="checkbox"/>	Friabile	<input type="checkbox"/>	Tenace
c. Spessore			
<input type="checkbox"/>	Ridotto < 1 cm	<input type="checkbox"/>	Elevato > 2,5 cm
<input type="checkbox"/>	Medio	<input type="checkbox"/>	Altro

Paramento 2

Lato 2			
a. Tipologia			
<input type="checkbox"/>	A secco	<input type="checkbox"/>	Calce aerea
<input type="checkbox"/>	Argilla/sabbia	<input type="checkbox"/>	Cementizia
<input type="checkbox"/>	Calce idraulica	<input type="checkbox"/>	Altro
b. Consistenza			
<input type="checkbox"/>	Incoerente	<input type="checkbox"/>	Compatta
<input type="checkbox"/>	Friabile	<input type="checkbox"/>	Tenace
c. Spessore			
<input type="checkbox"/>	Ridotto < 1 cm	<input type="checkbox"/>	Elevato > 2,5 cm
<input type="checkbox"/>	Medio	<input type="checkbox"/>	Altro

Eventuali note

H. TESSITURA		Parametro 1	Nome completo lato 1
<input type="checkbox"/> Non leggibile (intonaco)			
<input type="checkbox"/> Leggibile standard	<input type="checkbox"/> Foglio		
	<input type="checkbox"/> Fascia		
	<input type="checkbox"/> Chiave		
	<input type="checkbox"/> Gotico		
	<input type="checkbox"/> Fiammingo		
	<input type="checkbox"/> Croce		
	<input type="checkbox"/> Blocco		
	<input type="checkbox"/> Gotico variante		
<input type="checkbox"/> Leggibile non standard	Giunti orizzontali		
	<input type="checkbox"/> Filari orizzontali		
	<input type="checkbox"/> Filari sub orizzontali		
	<input type="checkbox"/> Filari non orizzontali		
	<input type="checkbox"/> Listatura (materiale.....)		
	<input type="checkbox"/> Zeppe		
	<input type="checkbox"/> Blocco		
	Giunti verticali		
	<input type="checkbox"/> Sfalsati		
	<input type="checkbox"/> Parzialmente sfalsati		
<input type="checkbox"/> Caotica			
Parametro 2		Nome completo lato 2	
<input type="checkbox"/> Non leggibile (intonaco)			
<input type="checkbox"/> Leggibile standard	<input type="checkbox"/> Foglio		
	<input type="checkbox"/> Fascia		
	<input type="checkbox"/> Chiave		
	<input type="checkbox"/> Gotico		
	<input type="checkbox"/> Fiammingo		
	<input type="checkbox"/> Croce		
	<input type="checkbox"/> Blocco		
	<input type="checkbox"/> Gotico variante		
<input type="checkbox"/> Leggibile non standard	Giunti orizzontali		
	<input type="checkbox"/> Filari orizzontali		
	<input type="checkbox"/> Filari sub orizzontali		
	<input type="checkbox"/> Filari non orizzontali		
	<input type="checkbox"/> Listatura (materiale.....)		
	<input type="checkbox"/> Zeppe		
	<input type="checkbox"/> Blocco		
	Giunti verticali		
	<input type="checkbox"/> Sfalsati		
	<input type="checkbox"/> Parzialmente sfalsati		
<input type="checkbox"/> Caotica			

I. APPARECCHIATURA	
a. Spessore	
Dimensione (m)	
<input type="checkbox"/> 2 teste	Eventuali note
<input type="checkbox"/> 3 teste	
<input type="checkbox"/> 4 Teste	
<input type="checkbox"/> Sacco	
<input type="checkbox"/> Paramenti	
b. Paramenti	
<input type="checkbox"/> Accostati	
<input type="checkbox"/> Ammorati	
<input type="checkbox"/> Unico	
c. Materiale Nucleo	
Dimensione (m)	
<input type="checkbox"/> Pietrame	
<input type="checkbox"/> Sabbia/conglomerato	
<input type="checkbox"/> Misto	
d. Consistenza	
<input type="checkbox"/> Coeso	
<input type="checkbox"/> Mediamente coeso	
<input type="checkbox"/> Incoerente	

SEZIONE 4 : CONSERVAZIONE, DEGRADO E INTERVENTI		
J. STATO DI CONSERVAZIONE		
Parametro 1	Nome completo lato 1	
a. Blocchi		
<input type="checkbox"/> Buono/restaurato	Eventuali note	
<input type="checkbox"/> Mediocre		
<input type="checkbox"/> Pessimo		
b. Malta		
<input type="checkbox"/> Buono/restaurato		
<input type="checkbox"/> Mediocre		
<input type="checkbox"/> Pessimo		
c. Degrado		
<input type="checkbox"/> Umidità		
<input type="checkbox"/> Sali ed efflorescenze		
<input type="checkbox"/> Vegetazione		
<input type="checkbox"/> Gelo		

L. INTERVENTI		Parametro 1	Nome completo lato 1
<input type="checkbox"/> Malta	<input type="checkbox"/> Ristilatura dei giunti (malta storica)		
	<input type="checkbox"/> Ristilatura dei giunti (malta cementizia)		
	<input type="checkbox"/> Altro		
<input type="checkbox"/> Blocchi	<input type="checkbox"/> Rimaneaggiamenti		
	<input type="checkbox"/> Sostituzione dei blocchi		
	<input type="checkbox"/> Consolidamento del sacco		
	<input type="checkbox"/> Scuci- cuci		
	<input type="checkbox"/> Consolidamento superficiale		
	<input type="checkbox"/> Protezione dall'acqua		
	<input type="checkbox"/> Pulizia		
	<input type="checkbox"/> Altro		
<input type="checkbox"/> Strutturali	<input type="checkbox"/> Diatoni artificiali		
	<input type="checkbox"/> Miscele leganti		
	<input type="checkbox"/> Altro		
Parametro 2		Nome completo lato 2	
<input type="checkbox"/> Malta	<input type="checkbox"/> Ristilatura dei giunti (malta storica)		
	<input type="checkbox"/> Ristilatura dei giunti (malta cementizia)		
	<input type="checkbox"/> Altro		
<input type="checkbox"/> Blocchi	<input type="checkbox"/> Rimaneaggiamenti		
	<input type="checkbox"/> Sostituzione dei blocchi		
	<input type="checkbox"/> Consolidamento del sacco		
	<input type="checkbox"/> Scuci- cuci		
	<input type="checkbox"/> Consolidamento superficiale		
	<input type="checkbox"/> Protezione dall'acqua		
	<input type="checkbox"/> Pulizia		
	<input type="checkbox"/> Altro		
<input type="checkbox"/> Strutturali	<input type="checkbox"/> Diatoni artificiali		
	<input type="checkbox"/> Miscele leganti		
	<input type="checkbox"/> Altro		
Eventuali note generali			

Figura 2.6 - Scheda speditiva per l'analisi tecnologico - costruttivo della muratura.

Nel seguente paragrafo §2.1.6 viene spiegata dettagliatamente ogni sezione presente all'interno della scheda speditiva.

2.1.6 Analisi delle murature attraverso la compilazione delle informazioni quantitative

Dopo aver fotoraddrizzato tutte le immagini utili per lo studio è possibile ottenere tutti i dati quantitativi necessari per la definizione dell'Indice della qualità muraria, per la caratterizzazione tipologica, per l'analisi dimensionale dei blocchi e per l'individuazione dell'andamento delle lesioni presenti.

2.1.6.1 Analisi dell'Indice di Qualità Muraria (IQM)

Nella prima parte della scheda speditiva per l'analisi tecnologico-costruttiva si va ad individuare un indice che permette di valutare qualitativamente lo stato della muratura, attraverso un'analisi visiva e metrica.

Questa analisi viene effettuata compilando una tabella con valutazioni associate ai parametri della regola dell'arte che sono: Orizzontalità dei filari (OR), Presenza di diatoni (PD), Forma degli elementi resistenti (F.EL.), Sfalsamento dei giunti (S.G.), Dimensione degli elementi (D.EL.), Qualità della malta (MA) e Resistenza degli elementi (RE.EL.).

Le valutazioni consistono nell'attribuire ad ogni categoria se è rispettata (R), parzialmente rispettata (PR), o non rispettata (NR) secondo quanto riportato da A. Borri e A. De Maria nelle linee guida per la compilazione della scheda IQM [55] e nell'aggiornamento del metodo IQM per la stima delle caratteristiche meccaniche della muratura [54].

I passaggi per la compilazione sono:

1. Attribuire un punteggio (riportato in Tabella 2.4) a ogni parametro della regola dell'arte per azioni verticali, fuori piano e nel piano [56]:

Tabella 2.4 - Punteggi da attribuire ai parametri della regola dell'arte per il calcolo di IQMV, IQMFP e IQMNP [56].

	IQM V			IQM FR			IQM NP		
	NR	PR	R	NR	PR	R	NR	PR	R
OR	0	1	2	0	1	2	0	0.5	1
PD	0	1	1	0	1.5	3	0	1	2
F.EL.	0	1.5	3	0	1	2	0	1	2
S.G	0	0.5	1	0	0.5	1	0	1	2
D.EL.	0	0.5	1	0	0.5	1	0	0.5	1
MA	0	0.5	2	0	0.5	1	0	1	2
RE.EL.	0.3	0.7	1	0.5	0.7	1	0.3	0.7	1

In particolare, per i parametri PD, SG, e LMT è utile poterli determinare attraverso le foto opportunamente fotoraddrizzate.

Nel caso in cui si abbia a disposizione la sezione della parete, si può giudicare il parametro presenza di diatoni (PD) misurando la linea di minimo tracciato medio (LMTm), su un tratto di 1m di altezza, la lunghezza della linea centrale più breve che attraversa il nucleo murario in verticale, aderendo al lato interno dei conci dell'uno o dell'altro paramento [55]:

Il parametro PD risulterà:

- Rispettato se $LMTm > 155$ cm;
- Parzialmente rispettato se $125 \text{ cm} < LMTm < 155$ cm;
- Non rispettato se $LMTm < 125$ cm [55].

Per la valutazione dello sfalsamento dei giunti (SG) invece si misura la linea di minimo tracciato LMT sulla faccia della parete: si individuano su una porzione di muratura di 1m x 1m le tre linee di minimo tracciato più brevi che attraversano verticalmente la porzione di muratura suddetta senza mai intersecarsi e senza mai tagliare le pietre o i mattoni. La media LMTm delle loro lunghezze fornisce il valore della LMT su quella faccia della parete [55].

Il parametro SG risulterà:

- Rispettato se $LMTm > 160$ cm per tutte e due le facce;

- Parzialmente rispettato se $140 \text{ cm} < \text{LMTm} < 160 \text{ cm}$ su almeno una faccia;
- Non rispettato se $\text{LMTm} < 140 \text{ cm}$ su almeno una faccia [55].

A titolo esemplificativo si riporta in Figura 2.7 la misurazione di tre LMT sulla faccia della parete MA_NO.1.dx.i:

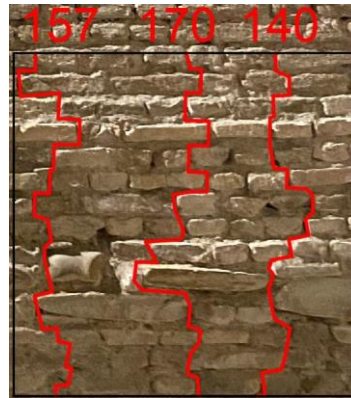


Figura 2.7 - Esempio di LMT sulla parete MA_NO.1.dx.i

- Il passo successivo consiste nel calcolare l'indice di qualità muraria verticale (IQM_v), fuori piano (IQM_{fp}) e nel piano (IQM_{np}). Si riportano le formule utilizzate [56]:

Per murature non in mattoni pieni o in blocchi [56]:

$$\text{IQM}_V = m \times \text{RE} \cdot \text{EL}_V \times (\text{OR}_V + \text{PD}_V + \text{FE} \cdot \text{EL}_V + \text{SG}_V + \text{D} \cdot \text{EL}_V + \text{MA}_V)$$

$$\text{IQM}_{\text{FP}} = m \times \text{RE} \cdot \text{EL}_{\text{FP}} \times (\text{OR}_{\text{FP}} + \text{PD}_{\text{FP}} + \text{FE} \cdot \text{EL}_{\text{FP}} + \text{SG}_{\text{FP}} + \text{D} \cdot \text{EL}_{\text{FP}} + \text{MA}_{\text{FP}})$$

$$\text{IQM}_{\text{NP}} = m \times \text{RE} \cdot \text{EL}_{\text{NP}} \times (\text{OR}_{\text{NP}} + \text{PD}_{\text{NP}} + \text{FE} \cdot \text{EL}_{\text{NP}} + \text{SG}_{\text{NP}} + \text{D} \cdot \text{EL}_{\text{NP}} + \text{MA}_{\text{NP}})$$

Per murature in mattoni pieni o in blocchi [56]:

$$\text{IQM}_V = m \times g \times r_V \times \text{RE} \cdot \text{EL}_V \times (\text{OR}_V + \text{PD}_V + \text{FE} \cdot \text{EL}_V + \text{SG}_V + \text{D} \cdot \text{EL}_V + \text{MA}_V)$$

$$\text{IQM}_{\text{FP}} = m \times g \times r_{\text{FP}} \times \text{RE} \cdot \text{EL}_{\text{FP}} \times (\text{OR}_{\text{FP}} + \text{PD}_{\text{FP}} + \text{FE} \cdot \text{EL}_{\text{FP}} + \text{SG}_{\text{FP}} + \text{D} \cdot \text{EL}_{\text{FP}} + \text{MA}_{\text{FP}})$$

$$\text{IQM}_{\text{NP}} = m \times g \times r_{\text{NP}} \times \text{RE} \cdot \text{EL}_{\text{NP}} \times (\text{OR}_{\text{NP}} + \text{PD}_{\text{NP}} + \text{FE} \cdot \text{EL}_{\text{NP}} + \text{SG}_{\text{NP}} + \text{D} \cdot \text{EL}_{\text{NP}} + \text{MA}_{\text{NP}})$$

In cui:

- Il coefficiente correttivo r dipende dal parametro MA, e assume i valori della Tabella 2.5:

Tabella 2.5 - Coefficienti correttivi rV , rFP , rNP in funzione del parametro MA [56]:

	NP	PR	R
rV	0.2	0.6	1
rFP	1	1	1
rNP	0.1	0.85	1

- Il coefficiente correttivo m vale [56]:
 $m=0.7$ in caso di malta pessima ($f_m < 0.7 \text{ N/mm}^2$)
 $m=1$ in tutti gli altri casi
 - Il coefficiente correttivo g vale [56]:
 $g=0.7$ in caso di muratura in mattoni pieni con giunti di malta ampi (spessore $> 13 \text{ mm}$)
 $g=1$ in tutti gli altri casi
3. Si procede poi nell'attribuire ad ogni muratura la propria categoria (A,B o C) per azioni verticali, ortogonali o complanari orizzontali (Tabella 2.6):

Tabella 2.6 - Attribuzione delle categorie murarie in base ai valori di IQM [56]:

	A	B	C
IQM _v	$5 \leq \text{IQM}_v \leq 10$	$2.5 \leq \text{IQM}_v < 5$	$0 \leq \text{IQM}_v < 2.5$
IQM _{FP}	$7 \leq \text{IQM}_{FP} \leq 10$	$4 < \text{IQM}_{FP} < 7$	$0 \leq \text{IQM}_{FP} \leq 4$
IQM _{NP}	$5 < \text{IQM}_{NP} \leq 10$	$3 < \text{IQM}_{NP} \leq 5$	$0 \leq \text{IQM}_{NP} \leq 3$

4. Calcolare i valori minimi medi e massimi dei parametri meccanici dei materiali rilevabili. Questi valori non sono ricavati in laboratorio ma attraverso l'utilizzo dell'indice di qualità muraria, il quale rappresenta una valida alternativa nel caso in cui ci si trovi a lavorare per un manufatto storico di notevole importanza come la Rocca di Gradara.

Per calcolare tali valori si utilizzano le formule sperimentali di A. Borri e A. De Maria [56] che utilizzano l'indice di qualità muraria (verticale IQM_v, e nel piano IQM_{NP}).

Di seguito si riportano le formule per il calcolo dei parametri meccanici [56]:

- Resistenza media a compressione (f):

$$f_{\min} = 1.036 \times e^{0.1961 \times IQM_v}$$

$$f_{\text{med}} = 1.4211 \times e^{0.1844 \times IQM_v}$$

$$f_{\max} = 1.8021 \times e^{0.1775 \times IQM_v}$$

- Resistenza media tangenziale - Criterio di Turnsek e Cacovic (τ_0):

$$\tau_{0 \min} = 0.0003 \times IQM_{NP}^2 + 0.0066 \times IQM_{NP} + 0.0143$$

$$\tau_{0 \text{ med}} = 0.0005 \times IQM_{NP}^2 + 0.0086 \times IQM_{NP} + 0.0189$$

$$\tau_{0 \max} = 0.0006 \times IQM_{NP}^2 + 0.0107 \times IQM_{NP} + 0.0234$$

- Resistenza media tangenziale - Criterio di rottura a scaletta (f_{v0}):

$$f_{v0 \min} = 0.03 \times IQM_{NP}^{0.9093}$$

$$f_{v0 \text{ med}} = 0.0475 \times IQM_{NP}^{0.8536}$$

$$f_{v0 \max} = 0.03 \times IQM_{NP}^{0.8219}$$

- Modulo di elasticità tangenziale medio (G):

$$G_{\min} = 204.5 \times e^{0.1464 \times IQM_{NP}}$$

$$G_{\text{med}} = 247.62 \times e^{0.1457 \times IQM_{NP}}$$

$$G_{\max} = 290.56 \times e^{0.1452 \times IQM_{NP}}$$

- Modulo di elasticità normale medio (E):

$$E_{\min} = 599.03 \times e^{0.1567 \times IQM_v}$$

$$E_{\text{med}} = 731.51 \times e^{0.1548 \times IQM_v}$$

$$E_{\max} = 863.74 \times e^{0.1535 \times IQM_v}$$

5. Infine, si confrontano i parametri meccanici appena ottenuti dall'analisi IQM con quelli individuati per ogni categoria di tipologia muraria corrispondente nella circolare del 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. nella tabella C8.5.I [42] (Tabella 2.7), la quale riporta, per il comportamento delle tipologie murarie più ricorrenti, indicazioni, non vincolanti, sui possibili valori dei parametri meccanici, identificati attraverso il rilievo

degli aspetti costruttivi. Per tutte le tipologie di muratura riportate nella tabella della Circolare 2019 si assumono delle ipotesi di base, ovvero che la muratura sia costituita da un doppio paramento con un nucleo di modesto spessore. Un nucleo può essere ritenuto di modesto spessore quando il suo spessore è di molto inferiore a quello di ciascuno dei due paramenti.

Tabella 2.7 - Tabella C8.5.I nella Circolare del 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP. con l'indicazione della tipologia di muratura in relazione alle caratteristiche meccaniche [42].

Tipologia di muratura	f (N/mm^2)		τ_0 (N/mm^2)		f_{vo} (N/mm^2)	E (N/mm^2)		G (N/mm^2)		w (kN/m^3)
	min	max	min	max		min	max	min	max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1.0	2.0	0.018	0.032	-	690	1050	230	350	19
Muratura a conci sbazzati, con paramenti di spessore disomogeneo		2.0	0.035	0.051	-	1020	1440	340	480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2.6	3.8	0.056	0.074	-	1500	1980	500	660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1.4	2.2	0.028	0.042	-	900	1260	300	420	13 + 16 (**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite ecc.)	2.0	3.2	0.04	0.08	0.1 - 0.19	1200	1620	400	500	
Muratura a blocchi di pietra lapidei squadrate	5.8	8.2	0.09	0.12	0.18 - 0.28	2400	3300	800	1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	2.6	4.3	0.05	0.13	0.13 - 0.27	1200	1800	400	600	18
Malta in mattoni semipieni con malta cementizia	5.0	8.0	0.08	0.17	0.20 - 0.36	3500	5600	875	1400	15

Inoltre, la normativa prevede, attraverso l'utilizzo della Tabella 2.8, anche dei coefficienti correttivi massimi da applicare nel caso in cui la malta abbia delle buone caratteristiche; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato; ristilatura armata con connessione dei paramenti [42].

Questi coefficienti migliorativi non devono essere applicati indistintamente a tutti i parametri, ma ci sono alcuni che si applicano solo alle resistenze e altri sia alle resistenze che ai moduli elastici, a seconda della caratteristica migliorativa applicata [42].

Tabella 2.8 - Coefficienti correttivi massimi da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato; ristilatura armata con connessione dei paramenti [42].

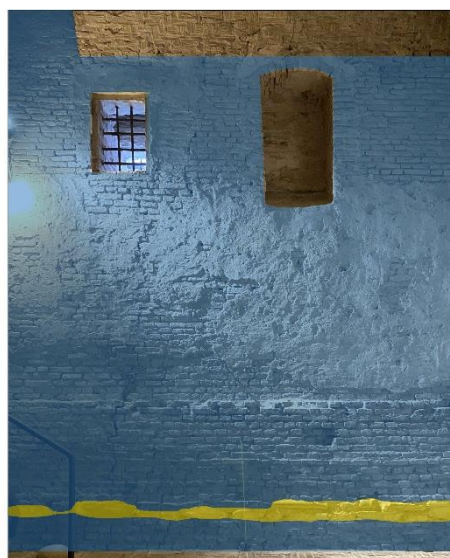
Tipologia di muratura	Stato di fatto		Interventi di consolidamento				
	Malta buona	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato	Ristilatura armata con connessione dei paramenti	Massimo coefficiente complessivo
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1.5	1.3	1.5	2	2.5	1.6	3.5
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo	1.4	1.2	1.5	1.7	2.0	1.5	3.0
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1.3	1.1	1.3	1.5	1.5	1.4	2.4
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1.5	1.2	1.3	1.4	1.7	1.1	2.0
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarinite, ecc.)	1.6	-	1.2	1.2	1.5	1.2	1.8
Muratura a blocchi lapidei quadrati	1.2	-	1.2	1.2	1.2	-	1.4
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	(***)	-	1.3	1.2	1.5	1.2	1.8
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia	1.2	-	-	-	1.3	-	1.3

2.1.6.2 Blocchi: caratterizzazione tipologica e analisi dimensionale

Questo secondo capitolo di analisi dei paramenti murari ha riguardato l'approfondimento sui singoli elementi che compongono le cortine e in generale tutta la muratura storica: i blocchi resistenti. Questi costituiscono una parte fondamentale per la lettura del manufatto storico; infatti una loro corretta individuazione, interpretazione e classificazione permette di conoscere e approfondire una molteplicità di aspetti tecnici, compositivi e storici, tra i quali possiamo menzionare ad esempio le tessiture murarie, indizi sulle apparecchiature, individuazione delle aree di intervento e mappatura e datazione delle fasi storiche dei singoli paramenti. Nel primo capitolo (§1.1.1) di questa tesi è stato più volte ribadito il concetto dell'estrema evoluzione di queste architetture fortificate che nel tempo hanno subito forti cambiamenti, distruzioni, ricostruzioni e cambi di destinazione che hanno mutato fortemente l'intero sistema e i singoli paramenti murari. Con riferimento a questo aspetto, riuscire a fare una veritiera e corretta mappatura compositiva di ogni cortina risulta molto complesso, considerando anche la pratica ricostruttiva storica che molto spesso vedeva il riutilizzo di blocchi murari di altre epoche in sede di nuova costruzione, e questo ha reso e rende tutt'ora più articolata la lettura dei paramenti.

Il principale obiettivo di questa analisi è stato quello di creare una catalogazione dei differenti blocchi murari presenti nella Rocca Demaniale di Gradara, differenziati in laterizi ed elementi lapidei squadrate e non, sulla base delle tre dimensioni costituenti i singoli elementi. L'individuazione di tali tipologie di blocchi ha seguito due passi principali di seguito illustrati:

- a) **Analisi materica del singolo paramento:** sono stati individuati nella Rocca e presi in considerazione per l'analisi solamente i paramenti con tessitura muraria a vista, che non fossero intonacati e non impedissero la visualizzazione netta dei blocchi. Su tali paramenti si è poi proceduto ad effettuare una differenziazione materica, come mostrato in Figura 2.8, che ha permesso di differenziare le superfici costituite da laterizi e quelle composte da elementi lapidei indicandone la percentuale e applicando in seconda battuta, sui differenti tipi di blocchi, due analisi mirate e di differente concezione per la catalogazione dei blocchi descritte approfonditamente nel paragrafo §2.2.1.1.



LATERIZIO: 96%

PIETRA: 3%

Figura 2.8 - Esempio di differenziazione materica dei paramenti

- b) **Analisi dimensionale dei blocchi resistenti:** i paramenti sopra individuati hanno subito il processo di rielaborazione dell'immagine descritto in precedenza (§2.1.4 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) e gli

output creati sono stati inseriti in un foglio di disegno AutoCAD per essere scalati grazie ai riferimenti metrici inseriti in sede di sopralluogo (Figura 2.9).

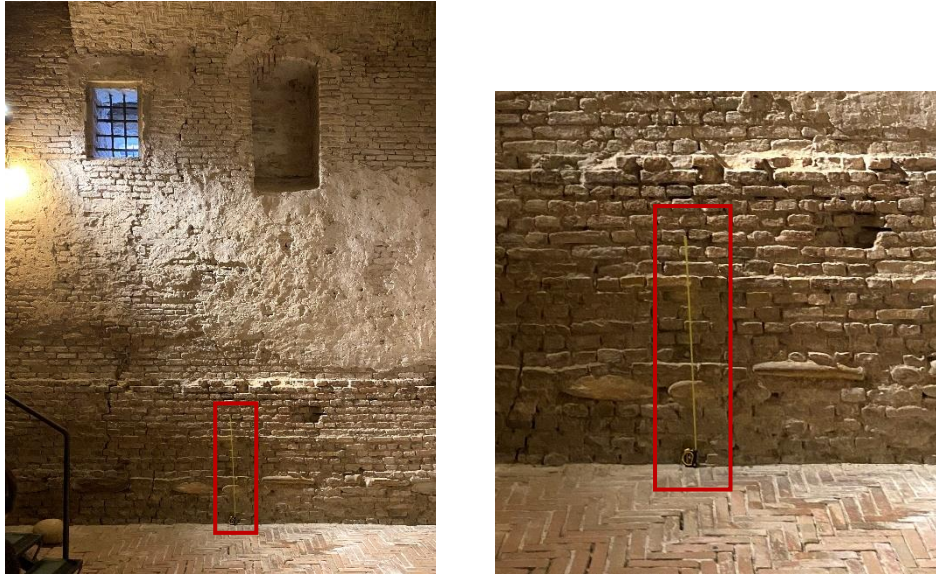


Figura 2.9 - Riferimento metrico per la scala dell'immagine

A questo punto si è proceduto con la misurazione vera e propria degli elementi murari nelle dimensioni analizzabili per ottenere una classificazione dei differenti laterizi o cantoni utilizzati, la loro relativa datazione e per migliorare l'approccio alla ricostruzione della storia compositiva delle murature. Nella misurazione degli elementi non si è mai perso di vista il riferimento alla regola dell'arte e agli utilizzi canonici dei blocchi descritti nella letteratura [57], così da interpretare in maniera critica le misurazioni ottenute, ma la descrizione completa dei metodi e criteri utilizzati è rimandata al prossimo paragrafo (§2.2.2).

2.1.6.3 Malta: individuazione tipologica e conservativa

È importante individuare lo stato della malta all'interno di un manufatto storico in quanto potrebbe essere utile ai fini di studi futuri identificare se si tratta di una malta storica, quindi o aerea o idraulica, o moderna quindi cementizia.

Poi nell'identificazione dello stato di conservazione della malta è utile, in situ, scalfire leggermente con un oggetto di piccole dimensioni (es. chiave) i giunti, in modo tale da vedere se la malta si sgretola (cattive condizioni) o se non subisce

modifiche (buone condizioni), anche se in realtà è possibile che una malta degradata in superficie (nei primi 6 cm orientativamente) può risultare di buona qualità all'interno della muratura. In tal caso l'efficacia della malta è tanto maggiore quanto più spessa è la parete [55].

Inoltre, in situ, attraverso un'analisi visiva, si stabilisce anche la caratterizzazione tipologica che costituisce la malta dei paramenti presi in esame, che trattandosi di edifici storici, potrebbe variare da ambiente ad ambiente dati i possibili lavori di restauro e manutenzione susseguitisi nel tempo.

2.1.6.4 Tessitura: analisi e catalogazione

L'individuazione della tessitura in un paramento murario può essere effettuata visivamente facendo attenzione all'alternanza degli elementi costituenti la facciata (es. alternanza di mattoni ortostati), alla tipologia materica (es. se presenti blocchi in pietra e/o in laterizio) e alle dimensioni dei materiali (es. un blocco in pietra in generale presenta dimensioni maggiori rispetto ad un blocco in laterizio).

In base a queste analisi si individua, dove possibile, la corrispondenza in schemi riconosciuti in letteratura [57].

A titolo esemplificativo si riportano in Figura 2.10 alcuni esempi di disposizione dei materiali all'interno dei paramenti storici.

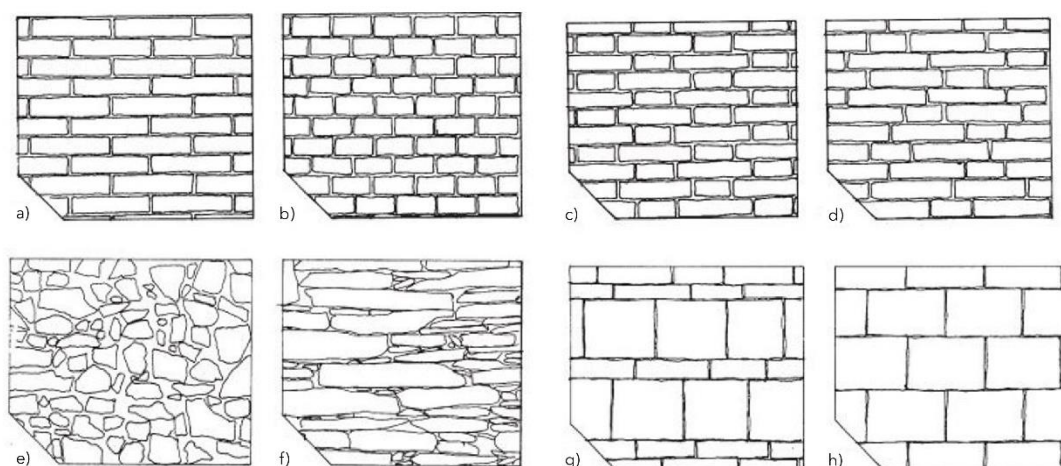


Figura 2.10 - Tipologie di tessiture murarie [57]. a) laterizi per fascia; b) laterizi per testa; c) laterizi con disposizione gotica o fiamminga; d) laterizi con disposizione "senese" o "Monk"; e) materiali lapidei irregolari senza ricorsi, a blocchi spaccati, con o senza zeppe; f) materiali lapidei irregolari, a blocchi sfaldati, con o senza zeppe; g) materiali lapidei a corsi

paralleli e orizzontali, con lastre, "pseudoisodoma"; h) materiali lapidei a corsi paralleli e orizzontali, con conci, "isodoma".

Ma la tessitura non sempre è rilevabile in quanto potrebbe esserci la presenza di un intonaco che copre la faccia del paramento.

2.1.6.5 Apparecchiatura: rilievo in situ delle sezioni aperte

Per l'individuazione della struttura interna di ogni singolo paramento nei manufatti storici, in situ è importante ricercare le sezioni aperte, per identificare gli spessori degli strati che lo compongono e la relazione tra essi, in modo tale da avere una catalogazione delle varie tipologie di apparecchiature in relazione all'evoluzione storica associata alla fabbrica.

Purtroppo, in molti manufatti, essendo stati restaurati o in costante manutenzione, non è possibile effettuare questa ricerca in quanto le sezioni potrebbero essere state totalmente chiuse, come avviene nel caso della Rocca di Gradara; in questi casi si procede in maniera diversa:

- Come primo step si cercano delle aperture lasciate a vista nelle cortine per cercare di vedere eventuali primi strati del paramento;
- Poi si esegue in planimetria un'analisi degli spessori per vedere se murature della stessa epoca possano essere confrontabili tra di loro, e in base alle informazioni costruttive aventi a disposizione del manufatto si ipotizzano le composizioni murarie delle apparecchiature.
- L'unica metodologia per poi confermare poi le ipotesi appena effettuate, è quella di realizzare dei carotaggi endoscopici per tipologia muraria (§3.2.6).

2.1.6.6 Conservazione: analisi del degrado

Per l'individuazione dello stato di conservazione a livello materico si prendono come riferimento le Raccomandazioni Normal n. 1/88 [15] che descrivono le alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei e le UNI 11182 [58] che approfondiscono le descrizioni delle forme di alterazione.

L'obiettivo è quello di individuare e localizzare le morfologie di degrado presenti.

Per l'analisi si prendono in considerazione le immagini fotoraddrizzate e su queste vengono riportate le aree corrispondenti alle varie tipologie di degrado.

Una effettuato questo lavoro in maniera sistematica su tutte le murature prese in esame, viene stilata la Carta del Degrado divisa in base ai materiali, che rappresenta la legenda di tutti i degradi trovati, e per ognuno di questi vengono indicati:

- Codice di riferimento in base alla tipologia di materiale a cui fa riferimento. Esempio: DI.01 (Degrado Intonaco . codice progressivo);
- Una breve descrizione relativa alle cause e alla presentazione visiva del degrado;
- Una foto rappresentativa;
- La simbologia grafica di riferimento.

A titolo esemplificativo si riporta in (Figura 2.11 - a) la rappresentazione dell'analisi del degrado sulla faccia della parete PA_NO.2.sx e della Carta del Degrado (Figura 2.11 - b):

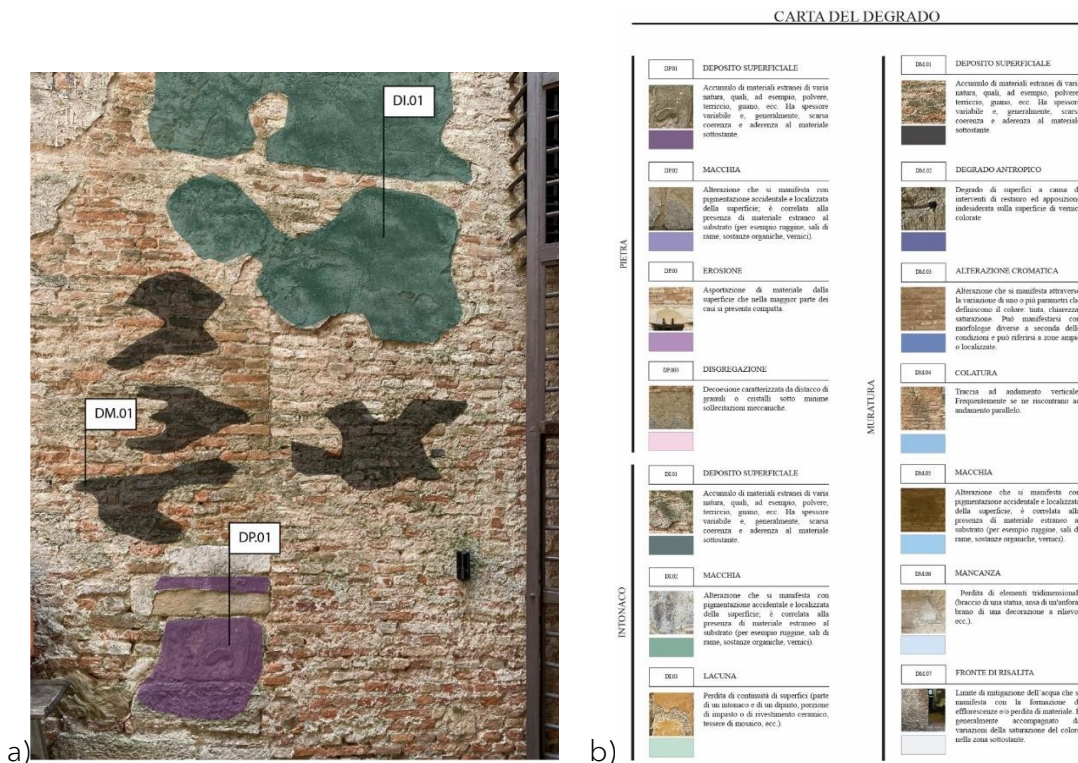


Figura 2.11 - a) Esempio di prospetto fotoraddrizzato con l'individuazione del degrado materico in base alle UNI 11182 [58]; b) Carta del degrado in base alle UNI 11182 [58].

2.1.6.7 Dissesti: analisi del quadro fessurativo

In sede di sopralluogo è stata riscontrata nella Rocca di Gradara la presenza di dissesti e fessure le quali sono state registrate ed inserite all'interno della sezione dedicata nella scheda speditiva precedentemente descritta (§2.1.5). Da questa individuazione si è reso necessario uno studio più approfondito per chiarire sia la quantità e la tipologia di fessure presenti nella Rocca sia i meccanismi locali e globali attivabili e attivati, al fine di fornire in letteratura un'immagine conoscitiva sullo stato fessurativo del singolo caso studio. Per fare ciò è stata suddivisa l'analisi in due passi principali, con un primo step di indagine specifica del paramento per poi passare ad un'indagine globale a più larga scala:

- 1) **Analisi del paramento:** l'obiettivo di questa prima fase è quello di conoscere ed individuare il quadro fessurativo attraverso uno studio paramento per paramento andando a differenziare le lesioni della Rocca dalle vulnerabilità specifiche e classificando in un secondo momento le tipologie di fessure presenti attraverso una metodologia descritta nella sezione §2.2.3.1.

- 2) **Analisi dei meccanismi di danno:** in questa seconda fase vengono osservate globalmente le fessure prima classificate per riuscire ad individuare i meccanismi in atto nella Rocca e determinare così lo stato attuale di conservazione del manufatto. Per tale scopo si è fatto riferimento anche al database creato nel paragrafo §1.2.4 relativo alle vulnerabilità e ai meccanismi di danno tipici delle architetture fortificate.

2.1.6.8 Interventi: individuazione e classificazione

Come ultima fase, nella scheda speditiva si procede con l'individuazione visiva degli interventi effettuati per la manutenzione del fabbricato.

È opportuno riportare tali interventi all'interno dei fotoraddrizzamenti in maniera grafica, per poi catalogarli e realizzare una "Carta degli interventi" in cui, come avviene per la "Carta del degrado" (§2.1.6.6), in cui vengono indicati:

- La distinzione in: interventi strutturali, interventi su blocchi, interventi sulle malte;

- Una breve descrizione relativa all'intervento effettuato;
- Una foto rappresentativa;
- La simbologia grafica di riferimento.

A titolo esemplificativo si riporta in Figura 2.12 - a la rappresentazione dell'individuazione degli interventi sulla faccia della parete EL_NO.4.sx e della Carta degli interventi (Figura 2.12 - b):

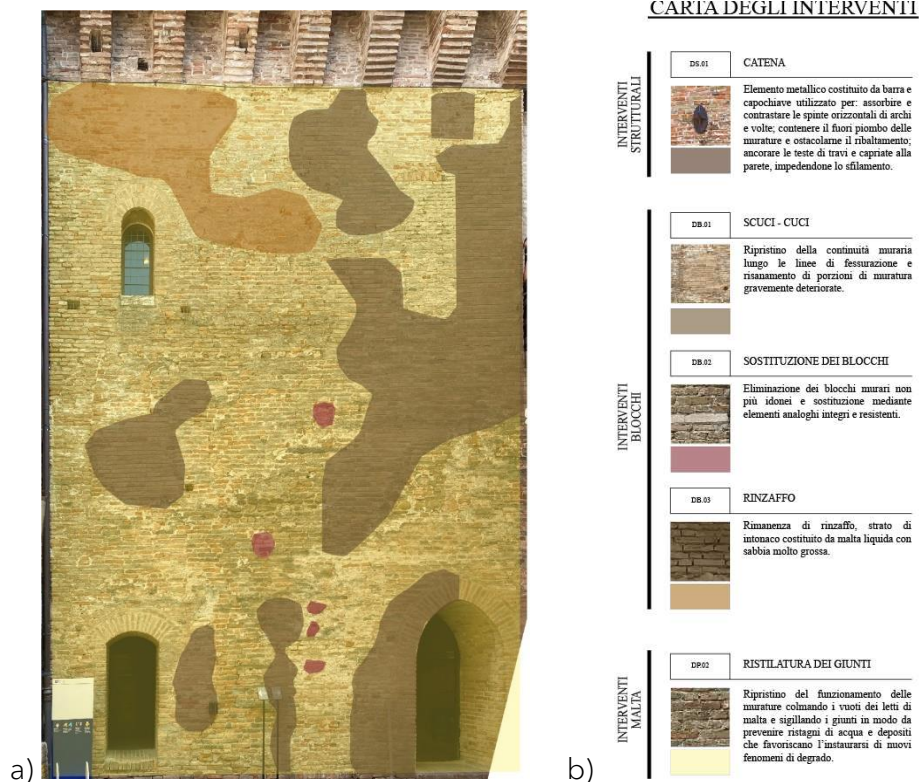


Figura 2.12 - a) Esempio di prospetto fotoraddrizzato con l'individuazione degli interventi; b) Carta degli interventi.

2.2 Metodi

Al fine di analizzare al meglio la Rocca di Gradara, vengono di seguito esposti i metodi creati appositamente per gli specifici approfondimenti tematici che sono in grado di fornire dei risultati qualitativamente validi. Tali metodi sono formulati per essere inoltre estendibili ad altri manufatti di interesse storico culturale.

2.2.1 Rilievo della qualità muraria: adattamento del metodo "metro quadro" all'intero paramento

Nel paragrafo §2.1.6.1 viene descritto il metodo per ottenere l'Indice di Qualità muraria [56] in maniera generica attraverso l'utilizzo di 1m x 1m significativo di parete.

Per i manufatti di una certa rilevanza storica si può ritenere opportuno effettuare un'analisi dell'intero paramento, e non esclusivamente di una piccola porzione, in modo tale da ottenere un risultato più completo. Perciò, prendendo in considerazione l'intero prospetto dovranno essere apportate delle modifiche al metodo realizzato da A. Borri e A. De Maria nelle linee guida per la compilazione della scheda IQM [55].

I passaggi delle modifiche sono:

1. Dopo aver individuato il paramento da analizzare (es: P1, P2, ... ,Pn), si eliminano tutte le parti non rilevabili; se necessario è anche opportuno suddividerlo in più parti nel caso in cui siano presenti degli evidenti elementi che manifestano il cambiamento tipologico di tessitura (es: Pn.sup; Pn.inf), o l'allargamento o restringimento di sezione (es. marcapiano o riseghe).

A titolo esemplificativo si riporta in Figura 2.13 l'eliminazione della parte non rilevabile e la suddivisione della facciata della parete MA_NO.dx:



Figura 2.13 - Esempio di Individuazione delle parti non rilevabili e della suddivisione del paramento in riferimento alla parete MA_NO.1.dx

2. Si procede poi con la compilazione della tabella relativa all'analisi IQM, ma facendo sempre attenzione a considerare l'intera parete.
Per la valutazione della presenza di diatoni (PD) si misura la LMT trasversale nella sezione del paramento, ma nel caso in cui ci si trovasse in presenza di un manufatto che non ha a disposizione sezioni aperte, questo LMT non sarà mai individuabile, per cui il giudizio in corrispondenza di PD risulterà sempre NR - non rispettato (Tabella 2.9).

Tabella 2.9 - Giudizi in corrispondenza di presenza di diatoni nel caso in cui non si abbiano a disposizione sezioni aperte (PD)

Parametri	Giudizi	IQMv	IQMFP	IQMNP
Presenza di diatoni (PD)	NR	0	0	0

3. Proseguendo nell'analisi nella valutazione qualitativa del parametro SG si calcola la LMTm (linea di minimo tracciato medio) del paramento preso in

esame. Poiché non si tratta di una classica analisi del metro quadro, il procedimento per la sua individuazione è stato:

- Si individuano quanti metri quadri possibili su tutto il paramento (mq1, mq2, ... , mqn), sempre facendo attenzione alle parti non analizzabili;
- All'interno di ogni metro quadro si tracciano se possibile 3 LMT (lmt1, lmt2, lmt3);
- Per ogni metro quadro si prende in considerazione la minima LMT;
- Ai fini del calcolo si fa poi la media delle minime LMT di ogni metro quadro presente ed il valore risultante rappresenta la LMTm del paramento (Figura 2.14).

$$LMTm = \frac{\sum LMT_{\text{minimi}}}{n^{\circ} \text{mq}}$$

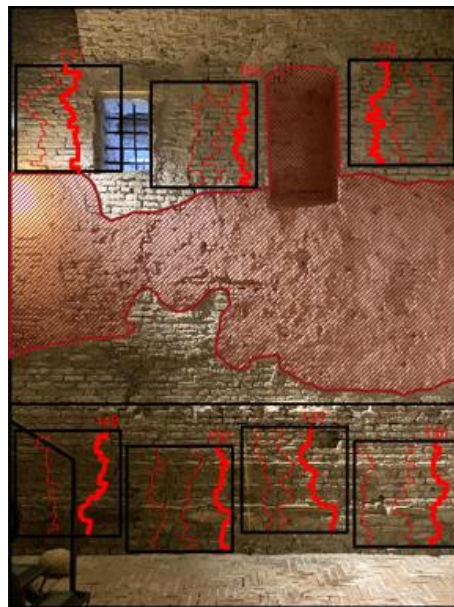


Figura 2.14 - Esempio di metodologia grafica riferita all'individuazione della LMTm in un'intera facciata

4. Avendo tutte murature in mattoni pieni con sporadici blocchi in arenaria si considerano le formule che hanno all'interno i tre coefficienti correttivi r ,

m e g per il calcolo dell'indice della qualità muraria, come descritto nel capitolo §2.1.6.1 [56].

È fondamentale poi verificare in sede di sopralluogo che tutti i giunti siano di uno spessore maggiore di 13 mm.

Le formule di calcolo per le azioni verticali, nel piano e fuori dal piano prendono in considerazione la fessurazione dei giunti se si hanno tutte murature in mattoni pieni e malta di calce/cementizia, poiché la lesione può avvenire solamente in corrispondenza del giunto. Infatti, nell'aggiornamento IQM delle NTC18 [43] viene espresso che:

“la malta, anche se di elevata qualità, risulta in genere meno resistente dei blocchi o poco aderente ad essi. Ciò fa in modo che l'intero fenomeno fessurativo, dalla sua insorgenza sino alla rottura. Si espliciti esclusivamente nei giunti di malta (rottura all'interno della malta o distacco dalla superficie del mattone.” [43] [55]

2.2.1.1 Metodologia di confronto dei parametri meccanici dell'IQM con quelli da normativa (NTC18)

Per confrontare i parametri meccanici calcolati attraverso l'utilizzo dell'IQM (§2.1.6.1) con i parametri meccanici corrispondenti a ciascuna tipologia muraria riportati nella circolare del 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. nella tabella C8.5.I [42] si confrontano gli intervalli di ciascun parametro meccanico.

Inoltre, si è deciso di calcolare i parametri meccanici maggiorati (in relazione alla Tabella 2.8 nel §2.1.6.1) solo nel caso in cui si abbia a che fare con i parametri murari che presentano un indice di qualità muraria verticale, nel piano e fuori dal piano tutti di categoria A.

Nel confronto tra gli intervalli derivanti dal calcolo dell'IQM e delle NTC18 si va a calcolare la percentuale in cui l'intervallo dei parametri meccanici calcolato tramite l'IQM risulti inferiore, contenuto, contenente, o superiore rispetto all'intervallo da NTC (opportunitamente migliorato, dove necessario).

Possono verificarsi differenti casi. L'intervallo dei parametri meccanici calcolato con l'analisi IQM potrebbe risultare:

- Del tutto inferiore rispetto a quello corrispondente in normativa (Figura 2.15):

$$\text{estremo}_{\text{sup,IQM}} < \text{estremo}_{\text{inf,NTC}}$$

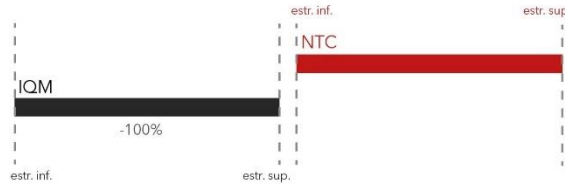


Figura 2.15 - Rappresentazione intervallo IQM del tutto inferiore alla normativa

In cui $x = -100\%$

- In parte inferiore e in parte contenuto all'interno di quello della normativa (Figura 2.16):

$$\text{estremo}_{\text{inf,IQM}} < \text{estremo}_{\text{inf,NTC}} \wedge \text{estremo}_{\text{inf,NTC}} < \text{estremo}_{\text{sup,IQM}} < \text{estremo}_{\text{sup,NTC}}$$

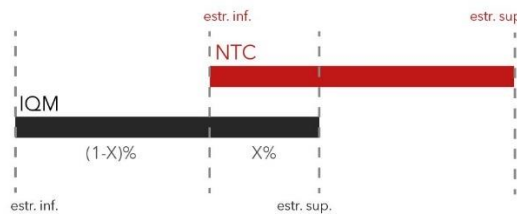


Figura 2.16 - Rappresentazione intervallo IQM in parte inferiore e in parte contenuto in quello da normativa

$$\text{In cui } x = \frac{\text{estremo}_{\text{inf,IQM}} - \text{estremo}_{\text{inf,NTC}}}{\text{estremo}_{\text{sup,IQM}} - \text{estremo}_{\text{inf,IQM}}} \%$$

- In parte superiore e in parte contenuto all'interno di quello della normativa (Figura 2.17):

$$\text{estremo}_{\text{inf,NTC}} < \text{estremo}_{\text{inf,IQM}} < \text{estremo}_{\text{sup,NTC}} \wedge \text{estremo}_{\text{sup,NTC}} < \text{estremo}_{\text{sup,IQM}}$$

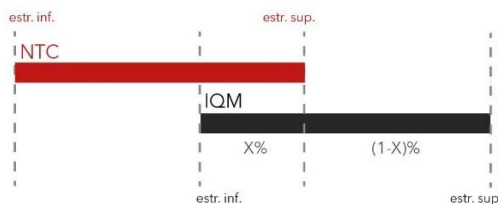


Figura 2.17 - Rappresentazione intervallo IQM in parte superiore e in parte contenuto in quello da normativa

$$\text{In cui } x = \frac{\text{estremo}_{\text{sup,NTC}} - \text{estremo}_{\text{inf,IQM}}}{\text{estremo}_{\text{sup,IQM}} - \text{estremo}_{\text{inf,IQM}}} \%$$

- Del tutto superiore rispetto a quello corrispondente della normativa (Figura 2.18):

$$\text{estremo}_{\text{sup,NTC}} < \text{estremo}_{\text{inf,IQM}}$$

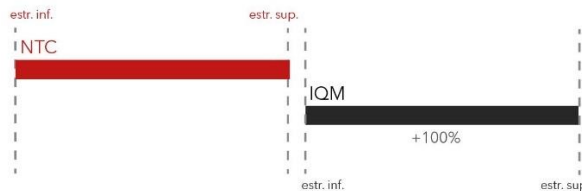


Figura 2.18 - Rappresentazione intervallo IQM del tutto superiore rispetto a quello da normativa

$$\text{In cui } x = +100\%$$

- Del tutto contenuto all'interno di quello della normativa (Figura 2.19):

$$\text{estremo}_{\text{inf,NTC}} < \text{estremo}_{\text{inf,IQM}} < \text{estremo}_{\text{sup,IQM}} < \text{estremo}_{\text{sup,NTC}}$$

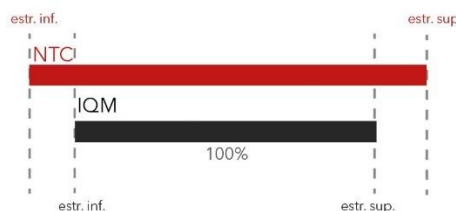


Figura 2.19 - Rappresentazione intervallo IQM del tutto contenuto in quello da normativa

$$\text{In cui } x = 100\%$$

- Contenente l'intervallo della normativa (Figura 2.20):

$$\text{estremo}_{\text{inf,IQM}} < \text{estremo}_{\text{inf,NTC}} < \text{estremo}_{\text{sup,NTC}} < \text{estremo}_{\text{sup,IQM}}$$

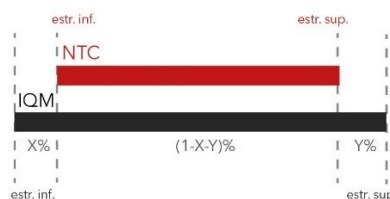


Figura 2.20 - Rappresentazione intervallo da normativa totalmente contenuto in quello dell'IQM

$$\text{In cui } x = \frac{\text{estremo}_{\text{inf,NTC}} - \text{estremo}_{\text{inf,IQM}}}{\text{estremo}_{\text{sup,IQM}} - \text{estremo}_{\text{inf,IQM}}} \% ; y = \frac{\text{estremo}_{\text{sup,IQM}} - \text{estremo}_{\text{sup,NTC}}}{\text{estremo}_{\text{sup,IQM}} - \text{estremo}_{\text{inf,IQM}}} \%$$

2.2.2 Blocchi

Per effettuare l'analisi dimensionale degli elementi murari descritta nel paragrafo §2.1.6.2 si è resa necessaria una preventiva suddivisione materica in due principali gruppi: i blocchi con forme pressoché costanti e uniformi grazie alle quali ne è possibile distinguere la posizione nel paramento, come ad esempio i laterizi, e i blocchi di pietra squadrata e non, dei quali non si hanno informazioni né sulla disposizione né sul criterio dimensionale. Sulla base di questi due gruppi sono stati formulati altrettanti metodi, il metodo "Ortostati-Diatoni" per il primo e il metodo "Combinatorio" per il secondo, che permettessero di analizzare al meglio le dimensioni delle due categorie di elementi per poter creare una catalogazione dimensionale degli elementi utilizzati nella Rocca utile a comprendere in maniera più approfondita le fasi storiche e gli interventi che hanno caratterizzato i singoli paramenti.

2.2.2.1 Metodo I "Ortostati-Diatoni"

Il primo metodo è pensato per essere utilizzato per l'individuazione tipologica di quegli elementi per i quali è possibile riconoscere il posizionamento nella tessitura muraria, perciò è possibile differenziare se siano ortostati, misurandone la lunghezza, o diatoni, posizionati quindi di testa e dai quali è possibile misurarne la larghezza. Tale metodo, i cui passi principali sono di seguito descritti, può riguardare ad esempio tutte le murature costituite da laterizi dai quali, per composizione, è più agevole dividere in prima battuta le due categorie di lunghezza.

- 1) **Inquadramento paramento:** come primo passo, nel caso di presenza di rinzaffi o elementi che impediscano la completa visibilità dei blocchi murari, si delinea per ogni paramento l'eventuale area non analizzabile. La restante parte, analizzata nella sua interezza, viene suddivisa in più aree numerate con

andamento dall'alto verso il basso, sia per comodità di ritrovamento delle misure all'interno del paramento e nel foglio di calcolo sia per provare in prima battuta a capire in maniera qualitativa se sia visibile una ricorrenza di misure simili all'interno di una fascia (Figura 2.21).

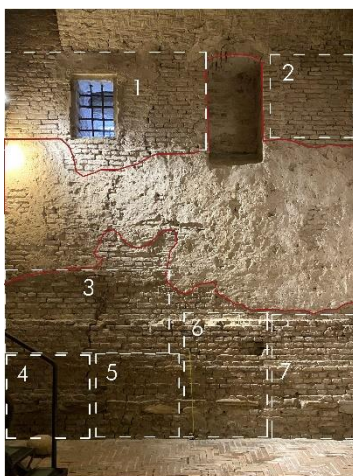


Figura 2.21 - Metodo Ortostati-Diatoni - Esempio Fase 1, inquadramento del paramento

Tali aree non hanno influenza sul metodo e sull'individuazione delle categorie dei blocchi, dal momento in cui si esegue un'analisi della totalità del paramento misurando quante più lunghezze possibili, ma è comunque un utile strumento per avere sotto controllo la posizione degli elementi analizzati e le loro relative dimensioni.

- 2) **Misurazione:** dopo aver verificato che l'immagine sia scalata correttamente, si procede con la misurazione vera e propria degli elementi resistenti, divisa per ortostati e diatoni con relativa altezza (Figura 2.22). Si misura a questo punto la maggiore quantità possibile di elementi distribuiti sull'intera superficie analizzata.



Figura 2.22 - Metodo Ortostati-Diatoni - Esempio Fase 2, misurazione elementi

Sono riportate le scale di colore per le differenti categorie misurate:

- Rosso per i diatoni
- Blu per gli ortostati

3) **Catalogazione:** si passa all'elaborazione delle misure acquisite attraverso la creazione di un foglio di lavoro Excel all'interno del quale si inserisce una tabella, visibile in Tabella 2.10, che riporta: l'inquadramento del paramento attraverso la zona, il piano, l'indicazione del macroelemento e il codice del muro, la posizione dell'elemento nel paramento, le dimensioni rilevate di ortostati, diatoni e relativa altezza e il numero di campioni analizzati divisi per tipologia.

Tabella 2.10 - Metodo Ortostati-Diatoni - Esempio Fase 3, catalogazione

ZONA	PIANO	MACRO	CODICE MURO	MQ RIF	DIMENSIONI RILEVATE				N. CAMPIONI	
					LUNGHEZZE ORTOSTATI	LUNGHEZZE DIATONI	ALTEZZE ORTOSTATI	ALTEZZE DIATONI	ORTOSTATI	DIATONI
					22,4	10,5	4,5	4,2		
					18,6	10,3	5	4,6		
					22	10,5	4,4	4,9		
					23,1	10,2	4,6	4,7		
				1	24,8	10,6	5,3	4,8		
					23,1	10	4,7	4,9		
					24,8	10,2	5,2	4,6		
					17,7	10		4,7		
					23,2	10,4	5,5	4,5		
					26	10,6	4,9	4,5		
						15,7		4,8		
					16,3	10	4,6	4,6		
					21,7	10,4	4,7	4,9		
					24	10,2	4,5	4,4		
				2	22,6	10,2	5,3	5		
					23,4	10,6	5	4,7		
					20,1	10,1	4,4	4,5		
					23,8	10,7	4,4	4,6		
					23,2	10,9	4,9	5,1		
					22,8	10,6	4,6	4,4		
					24,3	11,1	4,5			
					17	10,1	4,4	5,7		
					25,5	11,5	5,1	5,3		
					26,4	10,3	5,3	5,3		
					18,8	10	5,1	5,1		
					24,9	11,3	5,4	5,6		
				3		15,4	4,4	5,2		
					23,1	10,6	5,7	5,4		
					24,7	11,2	5,7	5,8		
					24,6	11,1	5,7	4,6		
					23,6	10,2	5,7	5,4		
						11,2				
					28,8	11,1	5,7	5,1		
MA	PT	MA	MA_NO.dx	4	24,6	11,9	5,1	5,1	55	70
					26,7	11	5,2	4,9		
						11,8		4,9		
						10,4		4,9		
						11,3		5,3		
					28,1	10,3	5,5	5,1		
					28,7	11,4	5,6	4,9		
					24,8	9,9	6,1	5,1		
					24,4	11,3	5,6	6		
				5	22,3	11,3	4,7	4,4		
					28,7	11,7	5,6	4,8		
						10,7		5,1		
						11,2		5,3		
						11,4		5,7		
						11,3		5,3		
					25,3	11,3	5,7	5,8		
					23,1	11,4	5	5,1		
					22,1	11,2	5,3	4,9		
					19,3	11,9	5	5,6		
						10,6				
				6		15,7	5,1	5,3		
					19,8	10,6	5,3	5,2		
					24,9	11,3	5,6	5,2		
					24,8	10,1	5,1	5		
					25,3	10,9	5,2	5,3		
					25,4	11,4	5,4	5		
					24,4	11,3	5,6	4,7		
					24,8	10,6	5,6	5		
					25,6	11,1	5,2	5,2		
					23,9	11,4	4,7	5		
					16,9	11	4,4	5		
				7	23,2	10,9	5,1	5,3		
					16,2	10,7	4,1	5,3		
						11,8				
						14,5	4,1	4,3		
					17,8	10,4	4,9	4,8		
						11,5		5,5		

4) **Analisi delle ampiezze:** nell'elaborazione dei dati si deve tenere conto di errori nella scala dell'immagine, nella misurazione degli elementi e nella fabbricazione dei laterizi stessi, ammettendo un errore di ± 2 cm dalla misura esatta del laterizio, ottenendo quindi un intervallo massimo di errore di 4 cm. Nel caso in cui ci fosse un intervallo di misurazione maggiore di 4 cm, avviene un ulteriore approfondimento attraverso un'analisi nel campione dei valori di minimo, mediana e massimo (Tabella 2.11) e si creano grafici di tipo box plot per individuare gli intervalli di variazione minimi e massimi delle dimensioni di ortostati, diatoni e altezze, per controllare se siano presenti o meno valori outlier da escludere (Grafico 2.1).

Tabella 2.11 – Metodo Ortostati-Diatoni - Esempio Fase 4, tabella per Box Plot

ANALISI DELLE AMPIEZZE			
	ortostati	diatoni	altezze
MINIMO	16,20	9,9	4,1
I QUARTILE	22,1	10,40	4,7
MEDIANA	24	11	5
III QUARTILE	24,9	11,3	5,3
MASSIMO	28,8	15,7	6,1

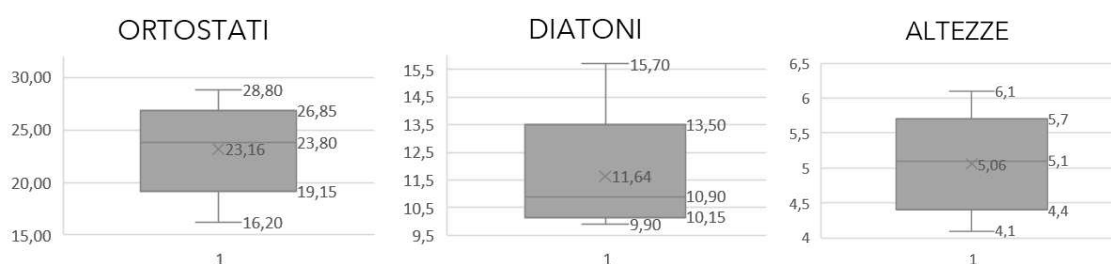


Grafico 2.1 – Metodo Ortostati-Diatoni - Esempio Fase 4, Box Plot

5) **Analisi statistica tramite Regola di Sturges:** nel caso in cui gli intervalli di variazione rimangano comunque maggiori di 4 cm, gli elementi analizzati (ortostati e diatoni) vengono suddivisi in più gruppi attraverso la regola di Sturges e graficizzati in istogrammi. La Regola di Sturges permette di determinare un numero di classi o intervalli necessari per rappresentare un

insieme di dati statistici. Tale metodo è basato sul numero di campioni x che consentirebbe di trovare il numero di classi (k) e la relativa ampiezza di intervallo (a):

$$k = 1 + 3,322 \cdot \log_{10}(N)$$

$$a = \frac{(\text{limite superiore} - \text{limite inferiore})}{k}$$

k : numero di classi

a : ampiezza dell'intervallo

N : numero totale di osservazioni

Le equazioni sopra descritte sono inserite in una tabella (Tabella 2.12) per la creazione delle classi di lunghezze e larghezze nelle quali suddividere l'intervallo misurato.

Tabella 2.12 - Metodo Ortostati-Diatoni - Esempio Fase 5, Regola di Sturges

	ORTOSTATI		DIATONI	
N	55		70	
min - max	16,20	28,8	9,9	15,7
k	7		7	
a	2		1	
	RIVEDI		RIVEDI	

Dato il numero elevato di campioni analizzati, derivante da un'analisi della totalità del paramento, seguendo la regola di Sturges si ottengono valori k elevati e bassi valori di ampiezza, spesso. Contando però il massimo errore di 4 cm ammesso in precedenza, si procede invertendo la formula di Sturges imponendo l'ampiezza a e ricavando il numero di intervalli necessari a descrivere il gruppo (Tabella 2.13).

$$k = \frac{(\text{limite superiore} - \text{limite inferiore})}{a}$$

Tabella 2.13 - Metodo Ortostati-Diatoni - Esempio Fase 5, Regola di Sturges con a imposto

a	4	3
k	4	2

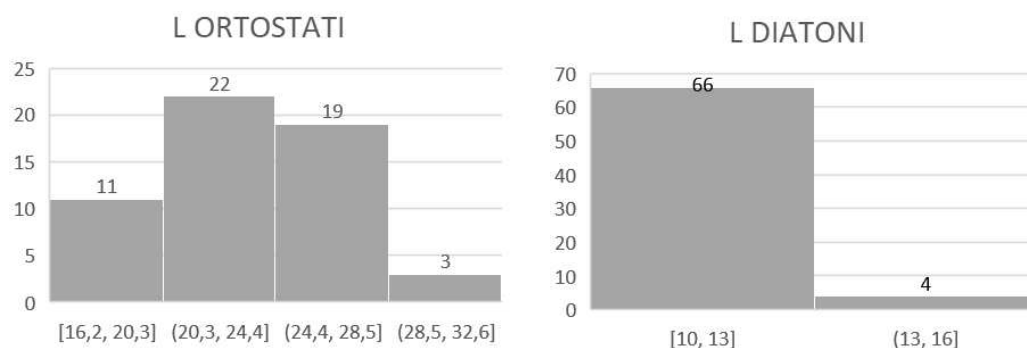


Grafico 2.2 - Metodo Ortostati-Diatoni - Esempio Fase 5, istogrammi

Il Grafico 2.2 riporta un esempio di istogrammi che identificano le classi di lunghezza individuate imponendo il valore dell'ampiezza con la formula inversa di Sturges.

- 6) **Combinazioni:** tutti gli intervalli individuati di altezze, larghezze e lunghezze vengono poi combinati tra di loro; si ottengono di conseguenza numerosi range di possibili dimensioni di blocchi; tra questi range vanno scartati quelli meno attendibili secondo la regola dell'arte, la quale, nel caso dei laterizi ad esempio, prevede la creazione di elementi con valori di larghezza circa metà della lunghezza; un esempio di eliminazione in questo senso è riportato in Tabella 2.14. Un altro criterio di eliminazione dei range potrebbe prevedere uno studio del peso nel caso in cui si conoscesse il tipo di materiale impiegato e la tecnica utilizzata per la posa in opera; ad esempio, nel caso di un paramento costruito senza l'ausilio di macchinari per il sollevamento, si potrebbero stimare i pesi dei singoli blocchi ottenuti e si potrebbero scartare quelli con un peso eccessivo rispetto alla capacità degli operatori di manovrare l'elemento.

Tabella 2.14 - Metodo Ortostati-Diatoni - Esempio Fase 7, combinazioni (in rosso range esclusi)

BLOCCHI D1	
La1 - Lu1	4 - 6 x 10 - 13 x 16 - 20
La1 - Lu2	4 - 6 x 10 - 13 x 20 - 24
La1 - Lu3	4 - 6 x 10 - 13 x 24 - 28
La1 - Lu4	4 - 6 x 10 - 13 x 28 - 32
BLOCCHI D2	
La2 - Lu1	4 - 6 x 13 - 16 x 16 - 20
La2 - Lu2	4 - 6 x 13 - 16 x 20 - 24
La2 - Lu3	4 - 6 x 13 - 16 x 24 - 28
La2 - Lu4	4 - 6 x 13 - 16 x 28 - 32

- 7) **Range dimensionali provvisori:** i range non scartati dal precedente step vengono, per ogni paramento, raccolti e descritti secondo lo schema:

altezza x larghezza x lunghezza

Tali blocchi risultanti individuano le tipologie di elementi resistenti provvisori che possono essere presenti all'interno del manufatto e risultano provvisori poiché facenti riferimento al relativo paramento dal quale scaturiscono. Il passo successivo sarà quello di accorpate tutti i risultati provvisori e definire i range finali che descrivono tutti i paramenti analizzati.

- 8) **Elaborazione finale dei range dimensionali:** per selezionare e definire i blocchi resistenti presenti nel manufatto analizzato si procede attraverso un'analisi delle frequenze degli estremi dei range provvisori raccolti. In questo caso non si fa più riferimento al singolo paramento, bensì alla totalità delle misurazioni effettuate. Per fare ciò viene creata una tabella (Tabella 2.15) suddivisa per le 3 categorie dimensionali indagate, altezza, larghezza e lunghezza e, per ognuna di queste grandezze, vengono specificati: il numero totale di campioni analizzati, gli intervalli risultanti dai range provvisori e il loro relativo peso sulla totalità dei risultati ottenuti (ad esempio, su 10 paramenti analizzati, l'intervallo 10 -13 cm è presente come

risultato in 8 paramenti; quindi %PRESENZA=80%). Il processo a cui vengono sottoposti gli intervalli individuati è un controllo di presenza dei singoli valori che permette di escludere o includere specifici valori dai range per ridurre ulteriormente gli intervalli e renderli più precisi sulla base delle misure presenti sul manufatto. Perciò, per ogni intervallo, viene analizzata in totale e in percentuale l'effettiva presenza dei valori estremi che lo costituiscono, andando a scartare quelli non realmente presenti nel paramento riducendo così l'intervallo stesso. Ad esempio, in un intervallo 29,5 - 33,4 cm, se non sono presenti valori compresi tra 32,5 e 33,4 cm, sarà possibile ridurre il campione a 29,5 - 32,5 cm. Procedendo in questo senso è possibile scartare e comprendere valori specifici definendo i blocchi finali propri del manufatto.

N MISURE	INTERVALLI PROBABILI	N PARAMENTI	% PRESENZA	CONTROLLO PRESENZA MISURE			ESTREMI	
				Intervallo	n	%	SCARTATI	PRESENTI
1427	H	10	100%					
764	L DIATONO	10 - 13	8	80%	10 - 11,4	271	35%	10
		11 - 14	2	20%				
		13 - 16	8	80%	15,5 - 16,4	29	4%	16
		14 - 17	2	20%	16,5 - 17,4	21	3%	17
665	L ORTOSTATO	20 - 24	5	50%	20,5 - 21,4	27	4%	20
		21 - 25	5	50%				
		24 - 28	5	50%				
		28 - 32	5	50%	29,5 - 31,4	18	2,7%	31
		29 - 33	5	50%	31,5 - 33,4	0	0,0%	32 - 33
TOT	2856	10						

Tabella 2.15 - Metodo Ortostati-Diatoni - Esempio Fase 8, elaborazione finale dei range

- 9) **Range dimensionali finali:** in (Tabella 2.16) vengono raccolti i blocchi definitivi che costituiscono gli elementi resistenti costituenti il caso studio analizzato. Questi vengono suddivisi secondo gli intervalli di altezza, larghezza e lunghezza. Nella definizione dei blocchi finale è importante verificare che una eventuale combinazione di 3 dimensioni non rientri in più di un blocco.

Tabella 2.16 - Metodo Ortostati-Diatoni - Esempio Fase 9, restituzione dei range dimensionali finali

H	LARGH	LUNG
4 - 6	x 10 - 13	x 20 - 24
4 - 6	x 10 - 13	x 25 - 28
4 - 6	x 14 - 16	x 28 - 31

2.2.2.2 Metodo Il "Combinatorio"

Il metodo Combinatorio è stato utilizzato per comprendere i criteri dimensionali degli elementi lapidei impiegati nella Rocca di Gradara, non regolari come i laterizi il cui metodo dedicato è stato precedentemente descritto. Nel caso studio corrente la presenza di elementi lapidei a vista e quindi analizzabili è veramente ridotta, per questo tale metodo è stato utilizzato solamente per le 24 pietre a vista presenti nel paramento Nord Ovest del mastio affacciato sul cortile e, data la scarsità di elementi analizzati, la puntualità dei risultati ottenuti è ridotta rispetto al primo metodo. La discussione dei risultati relativi alla Rocca di Gradara è rimandata al Capitolo 3 (§3.2.2.3). Di seguito sono sintetizzate e descritte le fasi da seguire:

- 1) **Inquadramento e misurazione:** come primo passo vengono importate le immagini acquisite in sede di sopralluogo nel foglio di lavoro AutoCAD e vengono scalate seguendo il processo descritto nel metodo Ortostati - Diatoni. Successivamente si misurano le lunghezze e le altezze degli elementi irregolari da analizzare.
- 2) **Catalogazione:** in un foglio di lavoro Excel si riportano tutte le misure effettuate, divise per lunghezze ed altezze ed evidenziando il numero di campioni e la posizione del paramento analizzato (Tabella 2.17).

Tabella 2.17 - Metodo Combinatorio - Esempio Fase 2, Catalogazione

ZONA	PIANO	MACRO	CODICE MURO	DIMENSIONI RILEVATE		N. CAMPIONI
				LUNGHEZZE	ALTEZZE	
				123	62	
				86	61	
				44	55	
				62	53	
				99	62	
				81	53	
				106	55	
				52	52	
				123	54	
				28	63	
				145	31	
MA	PT	MA	MA_NO.sx	31	58	24
				78	38	
				34	54	
				47	46	
				36	37	
				51	35	
				94	35	
				114	27	
				35	26	
				76	28	
				82	18	
				69	18	
				96	27	

- 3) **Analisi statistica con Regola di Sturges:** si procede individuando gli intervalli e le ampiezze necessari a descrivere il campione utilizzando la regola di Sturges (Tabella 2.18) già descritta nel precedente paragrafo (§2.2.2.1); in questo caso non è necessario utilizzare le formula inversa avendo come risultato un valore elevato di ampiezza (>4 cm) a causa della forte irregolarità degli elementi analizzati.

Tabella 2.18 - Metodo Combinatorio - Esempio Fase 3, regola di Sturges

	L		H	
N	24		24	
min - max	27,70	145	18	63,4
k	6		6	
a	21		8	
	OK		OK	

Successivamente vengono creati gli istogrammi contenenti gli intervalli di misurazione relativi alle lunghezze e alle altezze dei blocchi, come mostrato nel Grafico 2.3.

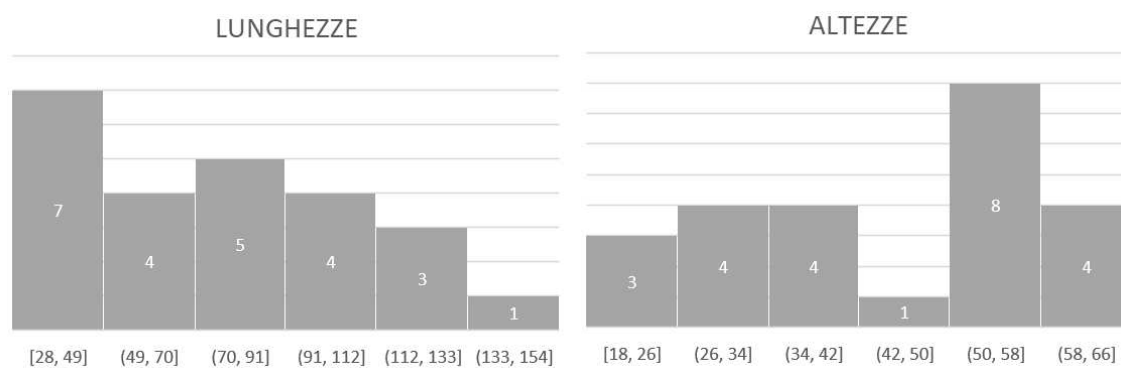


Grafico 2.3 - Metodo Combinatorio - Fase 3, Istogrammi delle misurazioni di lunghezze ed altezze

- 4) **Risistemazione delle misurazioni:** una volta noti gli intervalli e gli estremi che li descrivono, si riordinano le misure seguendo le altezze come riferimento e dividendo la catalogazione in un numero di blocchi pari al numero di intervalli di altezze sopra individuati (Tabella 2.19).

Tabella 2.19 - Metodo Combinatorio - Esempio Fase 4, Riordinamento delle misurazioni

DIMENSIONI ORDINATE	
LUNGHEZZE	ALTEZZE
82	18
69	18
35	26
96	27
114	27
76	28
145	31
51	35
94	35
36	37
78	38
47	46
52	52
62	53
81	53
34	54
123	54
44	55
106	55
31	58
86	61
123	62
99	62
28	63

- 5) **Attribuzione dei blocchi a relativi intervalli di altezze e lunghezze:** si crea una tabella con colonne relative agli intervalli di lunghezza e righe relative a quelli di altezza all'interno della quale ogni blocco registrato nella prima fase è assegnato alla relativa cella individuata dalla coppia di valori sopra descritti. Si riporta come esempio la Tabella 2.20.

Tabella 2.20 - Metodo Combinatorio - Esempio Fase 5, attribuzione dei blocchi ai relativi intervalli di altezze e lunghezze

	L1		L2		L3		L4		L5		L6	
H1	H1 26	L1 35	H1 18	L2 69	H1 18	L3 82	H1	L4	H1	L5	H1	L6
H2	H2	L1	H2	L2	H2 28	L3 76	H2 27	L4 96	H2 27	L5 114	H2 31	L6 145
H3	H3 37	L1 36	H3 35	L2 51	H3 38	L3 78	H3 35	L4 94	H3	L5	H3	L6
H4	H4 46	L1 47	H4	L2	H4	L3	H4	L4	H4	L5	H4	L6
H5	H5 54	L1 34	H5 52	L2 52	H5 53	L3 81	H5 55	L4 106	H5 54	L5 123	H5	L6
	55	44	53	62	-	-	-	-	-	-	-	-
	58	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H6	H6 63	L1 28	H6	L2	H6 61	L3 86	H6 62	L4 99	H6 62	L5 123	H6	L6

6) **Combinazione I tipo**: le combinazioni delle misure per questo metodo sono di più tipologie poiché vanno a considerare diversi probabili criteri di dimensionamento dei blocchi lapidei.

Per la prima combinazione, ovvero per la prima possibile dimensione di ogni blocco, si fa riferimento alla tabella della fase 5.

Intervallo altezza H x Intervallo lunghezza L x Intervallo lunghezza combinata L*

Si riporta l'esempio relativo al primo blocco in Tabella 2.21.

Tabella 2.21 - Metodo Combinatorio - Esempio Fase 6, Combinazione I tipo

	BLOCCHI H1								P. Min	P. Max			
H1 - L1 - L2*	18	-	26	x	28	-	49	x	49	-	70	54	196
H1 - L1 - L3*	18	-	26	x	28	-	49	x	70	-	91	78	255
H1 - L2 - L3*	18	-	26	x	49	-	70	x	70	-	91	136	364

	L1			L2			L3	
H1	H1	L1		H1	L2		H1	L3
	26	35		18	69		18	82

Le combinazioni, effettuate utilizzando gli intervalli di altezze e lunghezze ricavati nella fase 3, saranno quindi:

H1xL1xL2*

H1xL1xL3*

H1xL2xL3*

Il numero di combinazioni $C_{(n,k)}$ effettuate per ogni intervallo di altezza sarà pari a:

$$C_{(n,k)} = \binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$

Dove:

n= numero di intervalli di lunghezza che ricadono negli intervalli di altezza

k= numero di elementi che contiene ogni cella

Viene inoltre proposto per ogni combinazione un range di grandezza dato dal peso minimo e peso massimo del blocco (contando gli estremi delle misure combinate) utilizzando un peso specifico di 22 kN/m³ relativo dell'arenaria, tipologia di pietra impiegata ad esempio nella Rocca di Gradara. Tale informazione è utile nel fornire un'idea della posa in opera del blocco indagato e, in caso di peso estremamente elevato, può fare escludere la veridicità di qualche combinazione.

- 7) **Combinazione II tipo:** per il secondo criterio di combinazione, la terza dimensione indagata è posta pari all'intervallo di altezza del relativo blocco, diventando quindi:

Intervallo altezza H x Intervallo lunghezza L x Intervallo altezza H

Si riporta l'esempio relativo al primo blocco in Tabella 2.22.

Tabella 2.22 - Metodo Combinatorio - Esempio Fase 7, Combinazione II tipo

	BLOCCHI H1				P. Min	P. Max							
H1 - L1 - H1*	18	-	26	x	28	-	49	x	18	-	26	20	73
H1 - L2 - H1*	18	-	26	x	49	-	70	x	18	-	26	35	104
H1 - L3 - H1*	18	-	26	x	70	-	91	x	18	-	26	50	135

In questo caso il numero di combinazioni effettuate sarà uguale a:

$$C_{(n,t)} = \binom{n}{t} = \frac{n!}{t!(n-t)!}$$

Dove:

n= numero di intervalli di lunghezza che ricadono negli intervalli di altezza

t= numero di elementi che contiene ogni cella (in questo caso se ne considera solo 1)

- 8) **Combinazione III tipo:** per questo terza combinazione vengono misurati i rapporti tra altezze e lunghezze presenti nelle pietre misurati, andando a considerare poi per la terza dimensione, il massimo e il minimo rapporto tra i due valori riscontrato direttamente sul caso studio. Si riportano di seguito (Figura 2.23) gli schemi relativi a due esempi di rapporti estremi misurati tra H e L e l'esempio di combinazioni relative al primo blocco (Tabella 2.23).

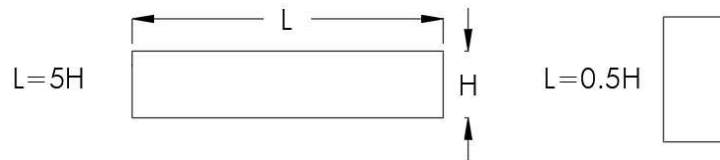


Figura 2.23 - Metodo Combinatorio - Esempio Fase 8, Rapporti H e L min e max

Tabella 2.23 - Metodo Combinatorio - Esempio Fase 8, Combinazione III tipo

	BLOCCHI H1				P. Min	P. Max							
H1 - L1 - H1*	18	-	26	x	28	-	49	x	9	-	130	10	364
H1 - L2 - H1*	18	-	26	x	49	-	70	x	9	-	130	17	521
H1 - L3 - H1*	18	-	26	x	70	-	91	x	9	-	130	25	677

Il criterio del numero di combinazioni e dei valori inseriti nelle stesse rimane analogo alla combinazione del II tipo ma lo spessore minimo e massimo viene ricavato dalle seguenti equazioni:

$$S_{min} = H_{min} * \left(\frac{L}{H}\right)_{min}$$

$$S_{max} = H_{max} * \left(\frac{L}{H}\right)_{max}$$

- 9) **Confronto con cantonali:** come risultati del metodo combinatorio possono essere considerati validi e tutti i risultati delle combinazioni sopra descritte, ma per avere risultati più puntuali si potrebbero scartare le combinazioni non accettabili e selezionare le più veritiere tenendo conto dei cantonali riscontrabili nei paramenti analizzati, ovvero quegli elementi lapidei alloggiati negli angoli che permettono di conoscere le 3 dimensioni del blocco. Una volta catalogati, si indaga per ogni cantonale la combinazione alla quale esso può essere assegnato e la stessa viene evidenziata e considerata più attendibile della definizione del criterio dimensionale di tali elementi.

2.2.3 Dissesti

Per andare a classificare le lesioni presenti nella Rocca di Gradara e per individuare il quadro fessurativo differenziando tra fessure passanti, non passanti e discontinuità è stato utilizzato un metodo che ha unito il tracciamento delle lesioni

alla suddivisione del paramento in Unità Stratigrafiche (US) per aiutare anche la lettura dello stesso a livello storico, evolutivo e di interventi subiti nel tempo.

2.2.3.1 "Metodo Comparativo"

Per la definizione del metodo Comparativo si è reso necessario uno studio preventivo in letteratura per comprendere al meglio le potenzialità dell'analisi stratigrafica dei manufatti storici con riferimento all'interpretazione del quadro fessurativo. I testi rivelatisi più utili a questo proposito sono stati *"Stratigrafia dell'Architettura e Ricerca Storica"* [59], *"Criteri per la datazione delle strutture: l'analisi stratigrafica delle strutture murarie e il diagramma di Harris"* [60], *"Analisi Stratigrafica nel Percorso di Conoscenza della Storia Integrale del Manufatto Architettonico"* [61]. Come descritto in letteratura, si è proceduto con un'analisi stratigrafica degli elevati, la quale consiste nell'individuare ogni stratificazione architettonica omogenea (Unità Stratigrafica), come prodotto di eventi costruttivi, distruttivi o di trasformazione per comprendere i fenomeni che hanno lasciato traccia sul manufatto ed ordinarli tra loro gerarchicamente, secondo rapporti cronologici relativi [60]. Tali relazioni tra le parti dell'edificio possono essere quindi di contemporaneità, anteriorità e posteriorità e vengono descritte dal diagramma di Harris, il quale applica la legge della successione stratigrafica, la quale stabilisce che "ogni unità si colloca tra la più antica di tutte le unità stratigrafiche che le sono stratigraficamente posteriori e la più recente di quelle che le sono stratigraficamente anteriori". Un esempio di tale diagramma è riportato nella Figura 2.24.

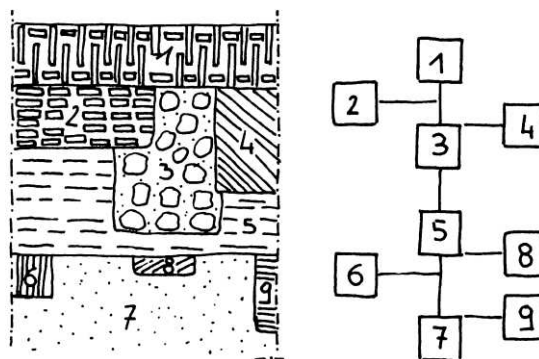


Figura 2.24 - Esempio di Diagramma di Harris per una sezione di muro con diversi interventi. Fonte [59]

Tale approccio è utile per ottenere una sequenza cronologica del paramento e avere un'idea ricostruttiva per fasi, senza mai perdere di vista la difficoltà operativa e la non sempre ottima attendibilità di questo approccio qualitativo dal momento in cui, come anticipato più volte, nella pratica ricostruttiva venivano spesso utilizzati laterizi o elementi relativi alle fasi precedenti che rendono ancora più complessa la lettura dei paramenti. Nonostante la consapevolezza di tale limite causato da un approccio qualitativo, l'utilizzo delle Unità Stratigrafiche ha permesso di individuare con maggiore sicurezza le discontinuità presenti nel paramento dividendole dalle lesioni vere e proprie causate da sollecitazione. In un intervento dell'ingegner Paolo Faccio riportato nel testo *"Analisi Stratigrafica nel Percorso di Conoscenza della Storia Integrale del Manufatto Architettonico"* [61], si fa riferimento proprio al rapporto tra la stratigrafia e il dissesto, specificando come in presenza di un complesso costruttivo lesionato sia indispensabile conoscere il comportamento meccanico dell'edificio creando modelli esplicativi raggiungibili solamente attraverso la raccolta di informazioni documentali integrate con rilievi stratigrafici e conoscendo la stratigrafia delle fasi edilizie. *"Per conoscere le cause perturbatrici che possono aver determinato un tale quadro di dissesti, è utile integrare tali informazioni con quelle desunte dall'analisi stratigrafica e dalla documentazione storica"* [61].

Di seguito vengono riportate le fasi principali del metodo Comparativo che permette la catalogazione delle lesioni riscontrate in un manufatto storico.

- 1) **Individuazione delle fessure:** si riportano nel software AutoCAD le immagini relative ai paramenti interessati dai dissesti e in seconda battuta vengono tracciati gli andamenti delle fessure per essere meglio visualizzati (Figura 2.25).



Figura 2.25 - Metodo Comparativo - Esempio Fase 1, Individuazione delle fessure

- 2) **Individuazione delle Unità Stratigrafiche (US):** su ogni paramento si individuano qualitativamente le Unità Stratigrafiche, divise in tre differenti tipologie, murarie (USM), di rivestimento (USR) e di taglio (USN) con relativa simbologia esplicitata in Figura 2.26 e vengono ordinate cronologicamente secondo una scala di colore più chiara per le parti più antiche e più scura per quelle di recente concezione (Figura 2.27).

□ US1	■ US5	□ murarie (USM)
□ US2	■ US6	○ di rivestimento (USR)
□ US3	■ US7	△ di taglio (USN)
■ US4	■ US8	

Figura 2.26 - Metodo Comparativo - Esempio Fase 2, legenda delle US: a) legenda cronologica; b) legenda tipologica



Figura 2.27 - Metodo Comparativo - Esempio Fase 2, Individuazione US

- 3) **Definizione del Diagramma di Harris:** sulla base delle US individuate si crea il diagramma stratigrafico, dal quale è possibile leggere i rapporti relativi tra le parti: rapporti di contemporaneità, dove una US "si lega" ad un'altra e rapporti di posteriorità, dove una US "copre / si appoggia" ad un'altra o la "taglia" (Figura 2.28).

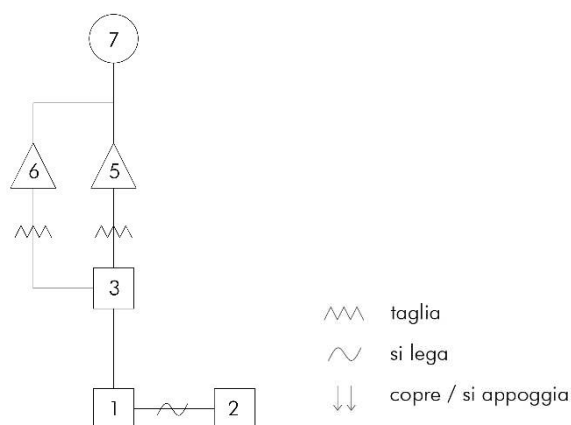


Figura 2.28 - Metodo Comparativo - Esempio Fase 3, Definizione del Diagramma di Harris

- 4) **Confronto tra US e bordi dei disesti:** vengono sovrapposte le fessure individuate nella fase 1 con le aree relative alle Unità Stratigrafiche della fase 2, come mostrato in Figura 2.29; il confronto tra i due livelli permette di

catalogare una lesione come "discontinuità" nel caso in cui questa percorra il bordo dell'US, andando quindi ad individuare una linea di debolezza rispetto al resto e che nel tempo è stata portata alla luce.

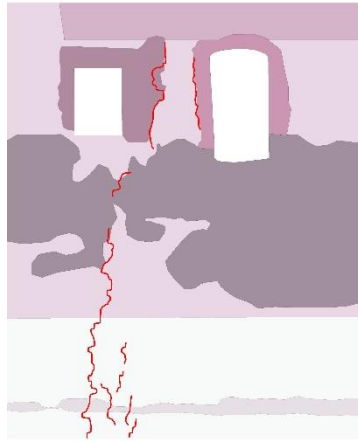


Figura 2.29 - Metodo Comparativo - Esempio Fase 4, Confronto tra US e bordi dei dissesti

- 5) **Differenziazione dei dissesti e catalogazione:** individuate le vulnerabilità specifiche dalla precedente fase, si procede alla differenziazione cromatica e alla numerazione del quadro fessurativo catalogato successivamente in tabella (Figura 2.30).

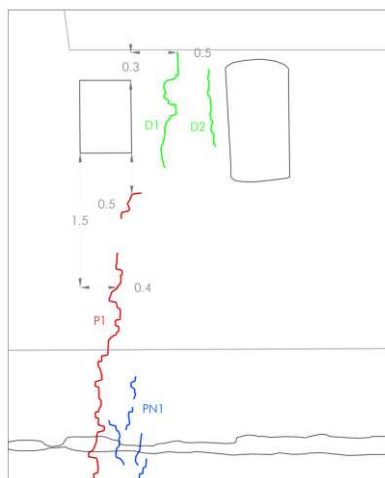


Figura 2.30 - Metodo Comparativo - Esempio Fase 5, Differenziazione dissesti e catalogazione. Discontinuità (D) - verde; Fessura passante (P) - rosso; Fessura non passante (NP) - blu

BIBLIOGRAFIA

- [1] POLO MUSEALE DELLE MARCHE, MIBACT, *Avviso manifestazione interesse indagini Rocca Demaniale di Gradara*, 2019.
- [2] Antonio Cassi Ramelli, *Dalle Caverne ai Rifugi Blindati, trenta secoli di storia dell'architettura militare*, Milano: Nuova Accademia Editrice, 1964.
- [3] Grassi Leonardi G., *ARCHITETTURE FORTIFICATE E TERREMOTO: influenza delle tecniche costruttive sui meccanismi di danno*, Bologna: Alma Mater Studiorum - Università di Bologna, 2017.
- [4] Mariotti C., *Il restauro dei castelli in Italia: 1964-2014*, Bologna: Alma Mater Studiorum - Università di Bologna, 2017.
- [5] «icastelli.org,» [Online]. Available:
http://www.icastelli.org/evoluzione/la_transizione/la_transizione.htm.
- [6] «icastelli.org,» [Online]. Available:
<http://www.icastelli.org/monografie/Gradara/gradara.htm>.
- [7] Girolamo Maggi M; Fusti Castriotto J., *Della fortificazione della città*,

Venezia, 1564.

- [8] Coisson E., Ferretti D., Lenticchia E., «Analysis of damage mechanism suffered by Italian fortified buildings hit by earthquakes in the last 40 years,» *Bull Earthquake Eng* (2017) 15: 5139-5166, 2017.
- [9] Andrea Dall'Asta, Graziano Leoni, Alessandra Meschini, Enrica Petrucci, Alessandro Zona, «Integrated approach for seismic vulnerability analysis of historic massive defensive structures,» *Journal of cultural heritage*, vol. 35, pp. 86-98, 2019.
- [10] Antonio Maria D'Altri, Giovanni Castellazzi, Stefano de Miranda, «Collapse investigation of the Arquata del Tronto medieval fortress after the 2016 Central Italy seismic sequence,» *Journal of Building Engineering*, vol. 18, pp. 245-251, 2018.
- [11] «INGV,» [Online]. Available: <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>.
- [12] M. Luni, *Castrum Firmignani: Castello del Ducato di Urbino*, Urbino: Quattroventi, 1994.
- [13] Andrea Scala, Fabio Gabbrielli, Marco Giamello, Sonia Mugnaini, «Archaeometric analysis of building mortars used in the historic centre of Siena (Italy) between the 13th and 16th centuries,» *Applied Radiation and Isotopes*, vol. 70, n. 10, pp. 2460-2465, 2012.
- [14] Cattari S, Degli Abbati S., Ferretti D, Lagomarsino S., Ottonelli D., Tralli A., «Damage assessment of fortress after the 2012 Emilia earthquake (Italy),» *Bull Earthquake Eng* (2014) 12: 2333-2365, 2013.
- [15] Istituto centrale del Restauro, «Raccomandazioni Normal n.1/88,» Roma, 1988.
- [16] Dipartimento della Protezione Civile, «Scheda per il rilievo del danno ai beni culturali - Palazzi,» MiBAC (Ministero per i beni e le attività

culturali), PCM-DPC-1-14-(2006), 2006.

- [17] Bartoli G., Betti M., Galano L., Posi L., Zini G., «Analisi del rischio sismico di una torre medioevale in muratura,» Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Firenze, Firenze, 2016.
- [18] Leoni G., Zona A., Piattoni Q., Meschini A., Petrucci E., Dall'Asta A., Dezi., «Assessment of seismic vulnerability of historical defensive walls,» in *5° ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*, Crete Island, Greece, 2015.
- [19] Meschini A., Leoni G., Petrucci E., Sicuranza F., Zona A., Piattoni Q., Dezi L., Dall'Asta A., «An integrated Survey Experience for Assessing the Seismic Vulnerability of Senigallia's Fortress (Italy): Documentation for Conservation and FEM Modeling,» in *Digital Heritage 2015*, Granada, Spain, 2015.
- [20] Cascini L., Brando G., Portioli F., Forgiione M.R., Mazzanti C., Vasta M., «Force-Based Seismic Evaluation of Retrofitting Interventions of Historic Masonry Castel by 3D Rigid Block Limit Analysis,» *Applied sciences*, 2020.
- [21] Badan N., «Le architetture fortificate del Friuli Venezia Giulia colpite dal sisma del 1976. Studi e osservazioni su alcuni interventi realizzati, anche con riferimento alla circolare n.26 del 2/12/2010 relativa alla valutazione e riduzione del rischio sismico,» Università degli Studi di Trento, Trento, 2012.
- [22] Enrica Petrucci, Diana Lapucci, Noemi Lapucci, «La Rocca di Arquata del Tronto: simbolo di rinascita per il territorio marchigiano colpito dal sisma,» Università di Camerino, Scuola di Architettura e Design, Ascoli Piceno, 2020.

- [23] REGIONE MARCHE - Commissione Delegato, «CODICE DI PRATICA (LINEE GUIDA) PER LA PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI RIPARAZIONE, MIGLIORAMENTO SISMICO E RESTAURO DEI BENI ARCHITETTONICI DANNEGGIATI DAL TERREMOTO UMBRO-MARCHIGIANO DEL 1997,» ISTITUTO UNIVERSITARIO DI ARCHITETTURA DI VENEZIA - D.S.A. Prof. Francesco DOGLIONI, 1999.
- [24] «Art, culture & digital bits,» [Online]. Available:
<http://www.glitchmagazine.eu/mete-e-itinerari/2018/08/14/galeotto-fu-castello-alla-scoperta-gradara-dei-suoi-segreti/>.
- [25] Euweb, «<http://www.euweb.it>,» 2002. [Online]. Available:
<http://www.euweb.it/courtesy/uploads/cittafuturainfo.it/pdf/GRADARA.pdf>.
- [26] Riccardo Cesari, *Gradara e il suo Castello*, Rimini: Edizioni Cesari, 1996.
- [27] Delio Bischi, *Le Mura di Gradara*, Fano: Editrice Fortuna, 1996.
- [28] Delio Bischi, *Gradara nella sua storia, nell'arte, nel turismo*, Rimini: Edizioni Pama Graphicolor, 1985.
- [29] Dino Palloni, «Prime note sullo sviluppo del castello di Gradara - desunte dall'esame della consistenza attuale,» in *Atti e Memorie 94 (1989)*, Ancona, Deputazione di Storia Patria per le Marche, 1991.
- [30] F. Mancini - W. Vichi, *Castelli, rocche e torri di Romagna*, Bologna: Editrice il nuovo diario messaggero, 1959.
- [31] M. R. Valazzi, *La Rocca di Gradara*, Roma: Ist. Poligrafico dello Stato, 2003.
- [32] F. Montevicchi, *Rocche e castelli di Romagna*, Bologna, 1970.

- [33] A. Settia, *Castelli e villaggi dell'Italia padana*, Napoli: Liguori Editore, 1984.
- [34] Dino Palloni, *I castelli. Catalogo d'esposizione sull'architettura militare medievale*, Pazzini, 1994.
- [35] Delio Bischi, «Gradara fra archivi e restauri,» in *Atti e Memorie 94 (1989)*, Ancona, Deputazione di Storia Patria per le Marche, 1991.
- [36] «Castelli Emilia Romagna,» [Online]. Available:
https://castelliemiliaromagna.it/it/s/verucchio/6056-rocca_malatestiana.
- [37] «Romagna.net,» [Online]. Available:
<https://www.romagna.net/rimini/monumenti/castel-sismondo/>.
- [38] «Wikipedia,» [Online]. Available:
[https://it.wikipedia.org/wiki/Rocca_Malatestiana_\(Cesena\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Rocca_Malatestiana_(Cesena)).
- [39] «Castello Sant'Argangelo di Romagna,» [Online]. Available:
<https://www.castellosantarcangelo.it/castello/>.
- [40] «Wikipedia,» [Online]. Available:
[https://it.wikipedia.org/wiki/Rocca_Malatestiana_\(Fano\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Rocca_Malatestiana_(Fano)).
- [41] «Castelli Emilia Romagna,» [Online]. Available:
https://castelliemiliaromagna.it/it/s/san_leo/6053-fortezza_di_san_leo.
- [42] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, *Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"* (in Italian), 2018.
- [43] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, consiglio Superiore dei Lavori pubblici, *CIRCOLARE 21 gennaio n.7 _ Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle "Norme tecniche per le*

costruzioni"" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018, Gazz. Uff. Della Repubblica Italiana, 2019.

- [44] Ordinanza Commissariale n.44,, «Commissario straordinario ricostruzione sisma 2016,» 2017. [Online]. Available: <https://dev.sisma2016data.it/wp-content/uploads/2017/12/Ordinanza-n.-44-del-15-dicembre-2017.pdf>.
- [45] Regione Umbria, Interventi di ricostruzione degli edifici distrutti e di ripristino con miglioramento sismico - Schede tecniche di accompagnamento al progetto STAP, 1997.
- [46] Regione Umbria, Interventi di ricostruzione degli edifici distrutti e di ripristino con miglioramento sismico - Schede tecniche di accompagnamento al progetto STAP, 1999.
- [47] Regione Umbria, Regolamento Regionale n. 9/2003 - Norme regolamentari di attuazione - LR 18/2002, art. 5, 2003.
- [48] Ufficio Speciale per la Ricostruzione del comune dell'Aquila, Manuale Istruzioni della Scheda di accompagnamento ai Progetti di Ricostruzione del Comune dell'Aquila - V02, 2014.
- [49] European Seismological Commission, Scala Macrosismica Europea 1998 EMS-98, Luxembourg, 2019.
- [50] Regione Toscana, Rilevamento della Vulnerabilità Sismica degli Edifici - schede GNDT, 2003.
- [51] Regione Toscana, Edifici in muratura in zona sismica rilevamento delle carenze strutturali - Scheda delle Carenze, 2003.
- [52] Regione Emilia-Romagna, Schede raccolta dati per la qualificazione

spedifica dei materiali, 2009.

- [53] Regione Emilia-Romagna, Allegato A2 - Abaco delle Tipologie Murarie, 2009.
- [54] Borri A., De Maria A., «indice di Qualità Muraria (IQM) correlazione con le caratteristiche meccaniche e livelli di conoscenza», 2015.
- [55] Borri A., De Maria A., «Allegato 1 - LINEE GUIDA PER LA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA IQM», 2015.
- [56] Borri A., De Maria A., «Il metodo IQM per la stima delle caratteristiche delle murature: allineamento con la circolare n.7/2019, XVIII Congr. Naz. "L'ingegneria Sismica Ital. Ascoli Piceno"», 2019.
- [57] Riccardo Francovich, Roberto Parenti, Archeologia e restauro dei monumenti, Firenze: Edizioni all'insegna del Giglio, 1988.
- [58] Beni culturali, UNI 11182, Materiali lapidei naturali ed artificiali, Descrizione della forma di alterazione: Termini e Definizioni, Milano, 2006.
- [59] Silvia Beltramo, STRATIGRAFIA DELL'ARCHITETTURA E RICERCA STORICA, Roma: Carocci editore, 2009.
- [60] Ing. Donatella Rita Fiorino, «Criteri per la datazione delle strutture: l'analisi stratigrafica delle strutture murarie e il diagramma di Harris,» Facoltà di Architettura, Università di Cagliari, Cagliari.
- [61] Arch. Laura Masciangelo, Arch. Fabiola Zeka Lorenzi, *L'ANALISI STRATIGRAFICA NEL PERCORSO DI CONOSCENZA DELLA STORIA INTEGRALE DEL MANUFATTO ARCHITETTONICO*, 2013.
- [62] Dipartimento della Protezione Civile, ReLuis, A.G.I., A.L.G.I., A.L.I.G, Linee guida per modalità di indagine sulle strutture e sui terreni per i

progetti di riparazione, miglioramento e ricostruzione di edifici inagibili, Roma, 2012.

- [63] M. Rossi, G. Bianchi e G. Verdi, «Titolo dell'articolo,» *Journal Name*, pp. 10-15, 2018.
- [64] G. Bianchi, G. Verdi e M. Rossi, «Titolo dell'articolo,» *Journal Name*, vol. 48, n. 3, pp. 11-15, 2018.
- [65] G. Verdi, «Titolo del capitolo,» in *Titolo del libro*, R. Cristiano, A cura di, Ancona, CasaEditrice, 2017, pp. 10-20.
- [66] C. Perogalli, *Castelli e rocche in Emilia Romagna*, Novara: Gorlich Editore, 1994.
- [67] A&L Ingegneria, «ABACO DEI DISSESTI,» Lucca.
- [68] «iCastelli.it,» [Online]. Available:
<https://www.icastelli.it/it/puglia/foggia/apricena/rocca-di-castel-pagano>.
- [69] «Castelli Emilia Romagna,» [Online]. Available:
https://castelliemiliaromagna.it/it/s/verucchio/6056-rocca_malatestiana.
- [70] «Romagna.net,» [Online]. Available:
<https://www.romagna.net/rimini/monumenti/castel-sismondo/>.

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1 - Rocca di Castel Pagano (FG). Fonte [68].....	12
Figura 1.2 - Cinta esterna del Castello di Gradara. Fonte [5].....	13
Figura 1.3 - Organizzazione interna Mastio. Fonte [4].....	16
Figura 1.4 - Macroelemento Mastio. Fonte [4].....	16
Figura 1.5 - Macroelemento Palatium. Fonte [4].....	17
Figura 1.6 - Organizzazione interna Palatium. Fonte [4].....	17
Figura 1.7 - Schema difensivo delle torri. Fonte [3].....	18
Figura 1.8 - Evoluzione del macroelemento torre. Fonte [4].....	19
Figura 1.9 - Evoluzione compositiva della Rocca di Gradara. Fonte [5].....	19
Figura 1.10 - Criterio dei tracciati murari. Fonte [7].....	20
Figura 1.11 - Setti murari per l'ampliamento degli spessori. Fonte [7].....	21
Figura 1.12 - Tiro piombante e tiro radente. Fonte [5].....	22
Figura 1.13 - Componenti dell'apparato a sporgere.....	23
Figura 1.14 - Evoluzione della scarpa muraria. Fonte [4].....	24
Figura 1.15 - Tipologie di difesa piombante. Fonte [2].....	24
Figura 1.16 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale. Fonte immagine: [11].....	29
Figura 1.17 - a) Foro di Augusto, Fano; b) Portale di S. Francesco, Pesaro; c) Palazzo ducale di Urbino, Urbino; d) Torre di Fermignano. Fonte immagini: [12].....	34
Figura 1.18 - a) Cripta della Cattedrale di Siena; b) Palazzo pubblico di Siena; c) Pareti della stalla dell'Ospedale di Santa Maria della Scala; d) Porta Pispini; e) Bastione Peruzzi; f) Fortezza Medicea. Fonte immagini [13].	37
Figura 1.19 - Dettaglio di sezione costruttiva con mancato ammorsamento. Fonte [14].....	41

Figura 1.20 - Risposta sismica di torri connesse alle mura perimetrali. Fonte [14]...	42
Figura 1.21 - Quadro fessurativo a collasso: influenza della rigidità dei vincoli. Fonte [17].....	44
Figura 1.22 - Tensioni di sollecitazione da sisma nei modelli di torre isolata (a), torre vincolata da pareti corte (b), torre vincolata da pareti alte (c). Fonte [14].....	45
Figura 1.23 - Tensioni di sollecitazione nella parte sommitale della torre nei modelli di torre isolata (a) e di torre vincolata (b). Fonte [14].....	46
Figura 1.24 - Tipologie di muratura presenti nei torrioni della Rocca di Senigallia. Fonte [18].....	46
Figura 1.25 - Sollecitazioni prodotte sul torrione da azioni sismiche e gravitazionali. Fonte [19].....	47
Figura 1.26 - Meccanismi nel piano influenzati dalla presenza di aperture. Fonte [20]	50
Figura 1.27 - San Felice sul Panaro. Fonte [14]	67
Figura 1.28 - Fortezza di Finale Emilia. Fonte [14].....	68
Figura 1.29 - Forte Galeazza. Fonte [14]	69
Figura 1.30 - Torrioni di San Pietro in Elda. Fonte [14].....	70
Figura 1.31 - Rocca Possente Stellata. Fonte castlesintheworld.wordpress.com.....	71
Figura 1.32 - Sezione di Rocca Possente Stellata. Fonte [14].....	71
Figura 1.33 - Rocca di Arquata del Tronto. Fonte it.wikipedia.org.....	72
Figura 1.34 - Pianta Rocca. Fonte [22]	72
Figura 1.35 - Il Borgo e la Rocca di Gradara. Fonte immagine [24]	76
Figure 1.36 - a) Torri; b) Mastio; c) Cinta muraria; d) Palatium; e) Ingresso; f) Ponte Levatoio; g) Merlatura; h) Cammino di Ronda; i) Apparato a sporgere; l) Scarpa muraria; m) Feritoie; n) Falsabraga	79
Figura 1.37 - Pietre romane sepolcrali con epigrafe rinvenute alla base del mastio.	81
Figura 1.38 - Ricostruzione storica del borgo di Gradara - Fase 1	82
Figura 1.39 - Arco ogivale nel piano terra del mastio	83
Figura 1.40 - Ricostruzione in pianta della Fase 1	84
Figura 1.41 - Ricostruzione in sezione della Fase 1	85
Figura 1.42 - Ricostruzione storica del Borgo di Gradara - Fase 2.....	87
Figura 1.43 - Vecchio ingresso sopraelevato del mastio, ora chiuso.....	88

Figura 1.44- Cisterna per la raccolta dell'acqua nel mastio a piano terra	90
Figura 1.45 - Ricostruzione in pianta della Fase 2	91
Figura 1.46 - Ricostruzione in sezione della Fase 2	92
Figura 1.47 - Ricostruzione storica del Borgo di Gradara - Fase 3	93
Figura 1.48 a) Ponticella che fa da collegamento tra il Palatium e gli edifici; b) Bifore del primo piano sul lato Sud-Ovest.....	95
Figura 1.49 - Archi presenti all'interno della muratura del terzo piano del mastio...	96
Figura 1.50 - Ricostruzione in pianta della Fase 3.....	97
Figura 1.51 - Ricostruzione in sezione nella Fase 3.....	98
Figura 1.52 - a) Torre Ovest; b) Torre Sud.....	99
Figura 1.53 - Bertesca e Ponte levatoio.....	101
Figura 1.54 - Fossato e scarpa muraria	101
Figura 1.55 - Ricostruzione storica del Borgo di Gradara - Fase 4.....	103
Figura 1.56 - Ricostruzione in pianta della Fase 4	104
Figura 1.57 - Ricostruzione in sezione della Fase 4	105
Figura 1.58 - a) Beccatelli esterni che sorreggono il camminamento di ronda rinforzati ad intervalli regolari con mensole di legno annegate nella muratura b) Resti di beccatelli interni al secondo piano. Fonte [35].....	107
Figura 1.59 - Falsabraga	108
Figura 1.60 - a) Porticati Sforzeschi; b) Scalinata in marmo del cortile	109
Figura 1.61 - Ricostruzione in pianta della Fase 5	110
Figura 1.62 - Ricostruzione in sezione della Fase 5	111
Figura 1.63 - Disegno del Liverani raffigurante il quarto portico. Fonte immagine [27].....	113
Figura 1.64 - Disegno del Liverani la rovina delle mura di Gradara.....	113
Figura 1.65 - Ricostruzione in pianta della Fase 6	118
Figura 1.66 - Ricostruzione in sezione della Fase 6	119
Figura 1.67 - Gradara in una xilografia di G. Malmerendi (sec. XX).	120
Figura 1.68 - Individuazione della quota originaria del cortile	123
Figura 1.69 - Ritrovamento di rasatura su lato orientale del mastio. Fonte [35].....	124
Figura 1.70 - Individuazione della tipologia di beccatelli inizialmente presenti come coronamento del mastio. Fonte [5].....	124
Figura 1.71 - Ipotesi evolutiva di un precedente apparato a sporgere nel mastio.	125

Figura 1.72 - Impronta di tronchi nel caso della Rocca di San Giovanni in Galilea (FO). Fonte [35]	125
Figura 1.73 - Squarcio sulla speronatura. Fonte [35].....	126
Figura 1.74- Rocche a confronto: a) Rocca Malatestiana di Verucchio, Rimini; b) Castel Sismondo, Rimini; c) Rocca Malatestiana di Cesena, Cesena; d) Rocca di Sant'Arcangelo, Rimini; e) Rocca Malatestiana di Fano, Fano; f) Fortezza di San Leo, San Leo. Fonti immagini: a) [36]; b) [37]; c) [38]; d) [39]; e) [40]; f) [41]	128
Figura 2.1 - Definizione in pianta delle zone	132
Figura 2.2 - Piano terra, esempio di nomenclatura con l'indicazione delle macrozone, macroelementi e fasi storiche.....	134
Figura 2.3 - Individuazione dei paramenti analizzati nella pianta del piano terra, dove in rosso sono evidenziate le pareti tessite, in verde le pareti intonacate e in blu le sezioni a vista	136
Figura 2.4 - Esempi di immagini del rilievo fotografico; a) fotografia scattata con l'utilizzo di una torcia e di un metro rigido; b) fotografia scattata con l'utilizzo di un metro rigido.....	137
Figura 2.5 - Raddrizzamento immagini. a) immagine iniziale; b) importazione nell'ambiente Camera Raw; c) creazione di riferimenti verticali e orizzontali per l'elaborazione; d) immagine raddrizzata	138
Figura 2.6 - Scheda speditiva per l'analisi tecnologico - costruttivo della muratura.	143
Figura 2.7 - Esempio di LMT sulla parete MA_NO.1.dx.i.....	146
Figura 2.8 - Esempio di differenziazione materica dei paramenti.....	151
Figura 2.9 - Riferimento metrico per la scala dell'immagine	152
Figura 2.10 - Tipologie di tessiture murarie [57]. a) laterizi per fascia; b) laterizi per testa; c) laterizi con disposizione gotica o fiamminga; d) laterizi con disposizione "senese" o "Monk"; e) materiali lapidei irregolari senza ricorsi, a blocchi spaccati, con o senza zeppe; f) materiali lapidei irregolari, a blocchi sfaldati, con o senza zeppe; g) materiali lapidei a corsi paralleli e orizzontali, con lastre, "pseudoisodoma"; h) materiali lapidei a corsi paralleli e orizzontali, con conci, "isodoma".....	153

Figura 2.11 - a) Esempio di prospetto fotoraddrizzato con l'individuazione del degrado materico in base alle UNI 11182 [58]; b) Carta del degrado in base alle UNI 11182 [58].	155
Figura 2.12 - a) Esempio di prospetto fotoraddrizzato con l'individuazione degli interventi; b) Carta degli interventi.	157
Figura 2.13 - Esempio di Individuazione delle parti non rilevabili e della suddivisione del paramento in riferimento alla parete MA_NO.1.dx.	159
Figura 2.14 - Esempio di metodologia grafica riferita all'individuazione della LMTm in un'intera facciata	160
Figura 2.15 - Rappresentazione intervallo IQM del tutto inferiore alla normativa	162
Figura 2.16 - Rappresentazione intervallo IQM in parte inferiore e in parte contenuto in quello da normativa	162
Figura 2.17 - Rappresentazione intervallo IQM in parte superiore e in parte contenuto in quello da normativa	162
Figura 2.18 - Rappresentazione intervallo IQM del tutto superiore rispetto a quello da normativa	163
Figura 2.19 - Rappresentazione intervallo IQM del tutto contenuto in quello da normativa	163
Figura 2.20 - Rappresentazione intervallo da normativa totalmente contenuto in quello dell'IQM	163
Figura 2.21 - Metodo Ortostati-Diatoni - Esempio Fase 1, inquadramento del paramento	165
Figura 2.22 - Metodo Ortostati-Diatoni - Esempio Fase 2, misurazione elementi	166
Figura 2.23 - Metodo Combinatorio - Esempio Fase 8, Rapporti H e L min e max	180
Figura 2.24 - Esempio di Diagramma di Harris per una sezione di muro con diversi interventi. Fonte [59].	181
Figura 2.25 - Metodo Comparativo - Esempio Fase 1, Individuazione delle fessure	183
Figura 2.26 - Metodo Comparativo - Esempio Fase 2, legenda delle US: a) legenda cronologica; b) legenda tipologica	183
Figura 2.27 - Metodo Comparativo - Esempio Fase 2, Individuazione US	184
Figura 2.28 - Metodo Comparativo - Esempio Fase 3, Definizione del Diagramma di Harris	184

Figura 2.29 - Metodo Comparativo - Esempio Fase 4, Confronto tra US e bordi dei dissesti 185

Figura 2.30 - Metodo Comparativo - Esempio Fase 5, Differenziazione dissesti e catalogazione. Discontinuità (D) - verde; Fessura passante (P) - rosso; Fessura non passante (NP) - blu 185

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1.1 - Abaco delle caratteristiche identificative delle architetture fortificate in Italia. Fonti [8], [9], [10].....	30
Tabella 1.2 - Database materico: blocchi. Fonte [12].....	31
Tabella 1.3 - Database materico: malte. Fonte [13].....	35
Tabella 1.4 - Abaco principali tipologie di murature negli edifici e fortezze storiche. Fonti [9], [10], [14].....	38
Tabella 1.5 - Abaco dei meccanismi di collasso delle torri.....	48
Tabella 1.6 - Abaco dei meccanismi di collasso delle mura e dei complementi difensivi.....	51
Tabella 1.7 - Abaco dei meccanismi di collasso degli edifici interni alla fortificazione	53
Tabella 1.8 - Abaco unito dei meccanismi di collasso delle architetture fortificate - codici.....	58
Tabella 1.9 - Danni nelle architetture fortificate di Umbria e Marche a seguito del sisma del 1997	60
Tabella 1.10 - Danni nelle architetture fortificate in Emilia a seguito del sisma del 2008	60
Tabella 1.11 - Danni nelle architetture fortificate in Emilia a seguito del sisma del 2012	61
Tabella 1.12 - Danni nelle architetture fortificate in Abruzzo a seguito del sisma del 2009	63
Tabella 1.13 - Danni nelle architetture fortificate nel Centro Italia a seguito del sisma del 2016.....	63
Tabella 1.14 - Interventi e meccanismi di danno su casi studio di architetture fortificate.....	66

Tabella 1.15 - Ritrovamenti storico-costruttivi della Soprintendenza Regionale durante i lavori di restauro e consolidamento del 1984	122
Tabella 2.1 - Prospetto dei sopralluoghi realizzati all'interno della Rocca di Gradara durante il periodo di studio.....	130
Tabella 2.2 - Riepilogo della nomenclatura delle macrozone e dei macroelementi.	134
Tabella 2.3 - Riepilogo della nomenclatura dei paramenti analizzati	135
Tabella 2.4 - Punteggi da attribuire ai parametri della regola dell'arte per il calcolo di IQMV, IQMFP e IQMNP [56].....	145
Tabella 2.5 - Coefficienti correttivi rV, rFP, rNP in funzione del parametro MA [56]:	147
Tabella 2.6 - Attribuzione delle categorie murarie in base ai valori di IQM [56]:	147
Tabella 2.7 - Tabella C8.5.I nella Circolare del 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP. con l'indicazione della tipologia di muratura in relazione alle caratteristiche meccaniche [42].	149
Tabella 2.8 - Coefficienti correttivi massimi da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato; ristilatura armata con connessione dei paramenti [42].	150
Tabella 2.9 - Giudizi in corrispondenza di presenza di diatoni nel caso in cui non si abbiano a disposizione sezioni aperte (PD).....	159
Tabella 2.10 - Metodo Ortostati-Diatoni - Esempio Fase 3, catalogazione.....	167
Tabella 2.11 - Metodo Ortostati-Diatoni - Esempio Fase 4, tabella per Box Plot ...	168
Tabella 2.12 - Metodo Ortostati-Diatoni - Esempio Fase 5, Regola di Sturges.....	169
Tabella 2.13 - Metodo Ortostati-Diatoni - Esempio Fase 5, Regola di Sturges con a imposto.....	170
Tabella 2.14 - Metodo Ortostati-Diatoni - Esempio Fase 7, combinazioni (in rosso range esclusi).....	171
Tabella 2.15 - Metodo Ortostati-Diatoni - Esempio Fase 8, elaborazione finale dei range	172
Tabella 2.16 - Metodo Ortostati-Diatoni - Esempio Fase 9, restituzione dei range dimensionali finali	173
Tabella 2.17 - Metodo Combinatorio - Esempio Fase 2, Catalogazione	174

Tabella 2.18 - Metodo Combinatorio - Esempio Fase 3, regola di Sturges	174
Tabella 2.19 - Metodo Combinatorio - Esempio Fase 4, Riordinamento delle misurazioni	176
Tabella 2.20 - Metodo Combinatorio - Esempio Fase 5, attribuzione dei blocchi ai relativi intervalli di altezze e lunghezze	177
Tabella 2.21 - Metodo Combinatorio - Esempio Fase 6, Combinazione I tipo.....	177
Tabella 2.22 - Metodo Combinatorio - Esempio Fase 7, Combinazione II tipo	179
Tabella 2.23 - Metodo Combinatorio - Esempio Fase 8, Combinazione III tipo	180

INDICE DEI GRAFICI

Grafico 2.1 - Metodo Ortostati-Diatoni - Esempio Fase 4, Box Plot.....	168
Grafico 2.2 - Metodo Ortostati-Diatoni - Esempio Fase 5, istogrammi	170
Grafico 2.3 - Metodo Combinatorio - Fase 3, Istogrammi delle misurazioni di lunghezze ed altezze	175

RINGRAZIAMENTI

In conclusione a questo lavoro di tesi vorremmo ringraziare innanzitutto il Professor Enrico Quagliarini, che ci ha dato la possibilità di lavorare su un caso studio così importante come la Rocca di Gradara e ci ha guidato, con pazienza e professionalità, nella stesura del lavoro, mostrandoci quanto la conoscenza tecnica, l'attenzione al dettaglio, la passione e il continuo mettersi in discussione siano ingredienti fondamentali per portare avanti un progetto.

È inoltre doveroso ringraziare l'Ingegnere Benedetta Gregorini, che ha percorso con noi il primo tratto di strada e, con esperienza e bonarietà, ci ha insegnato a percorrerla senza mai perdere di vista l'obiettivo.

Un grazie va anche a Marta e Matteo, preziosi compagni di viaggio che si sono messi a disposizione nell'aiutarci in ogni momento e che sono stati fondamentali nel supporto pratico e morale.

Tutto questo percorso non sarebbe stato possibile senza il contributo della Soprintendenza Archeologica Belle Arti e Paesaggio delle Marche e del personale della Rocca che con infinita gentilezza ed estremo interesse ci ha condotto in ogni angolo del manufatto, e al quale va quindi un caloroso ringraziamento.



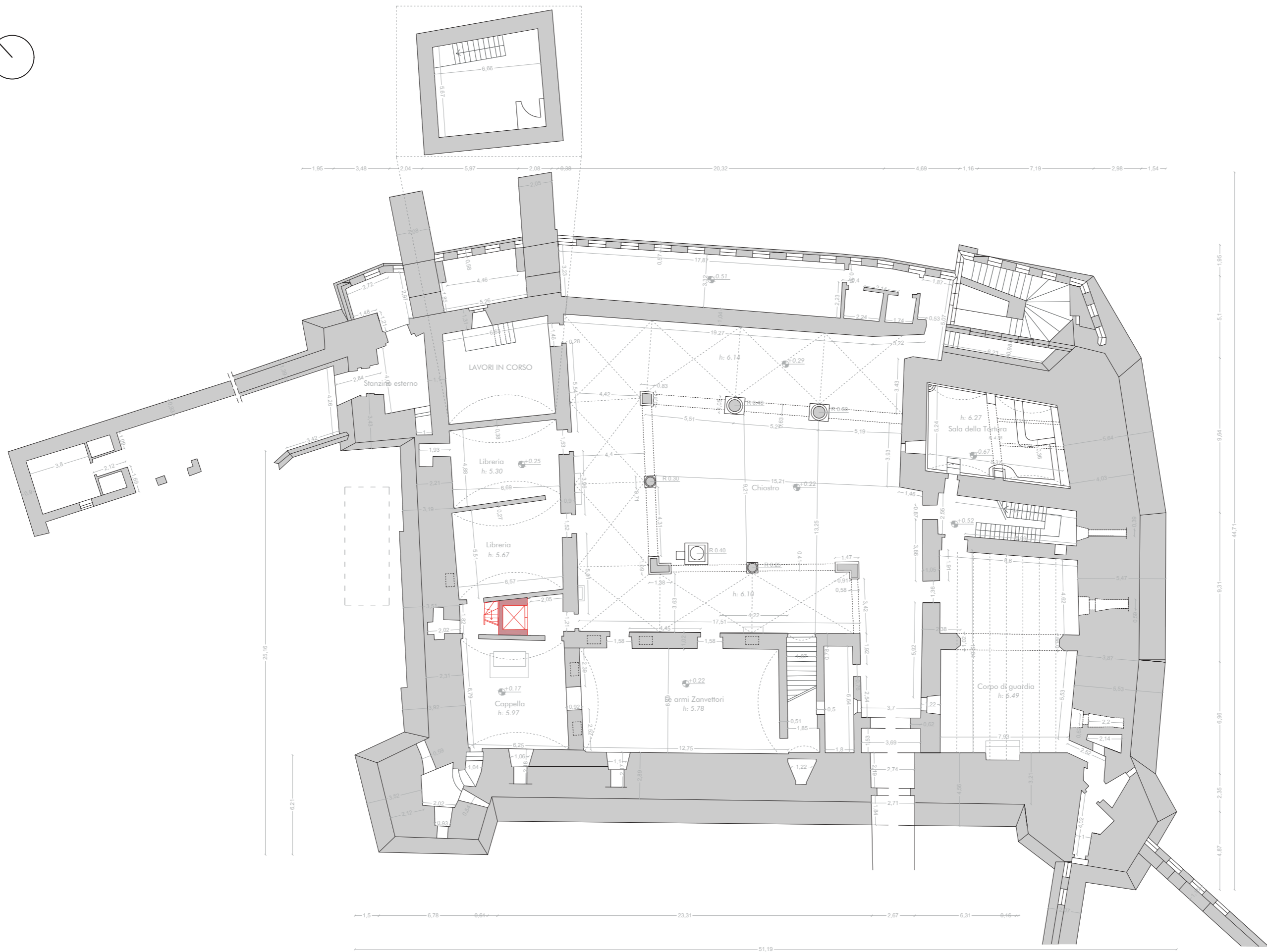
UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

Facoltà di Ingegneria Edile-Architettura

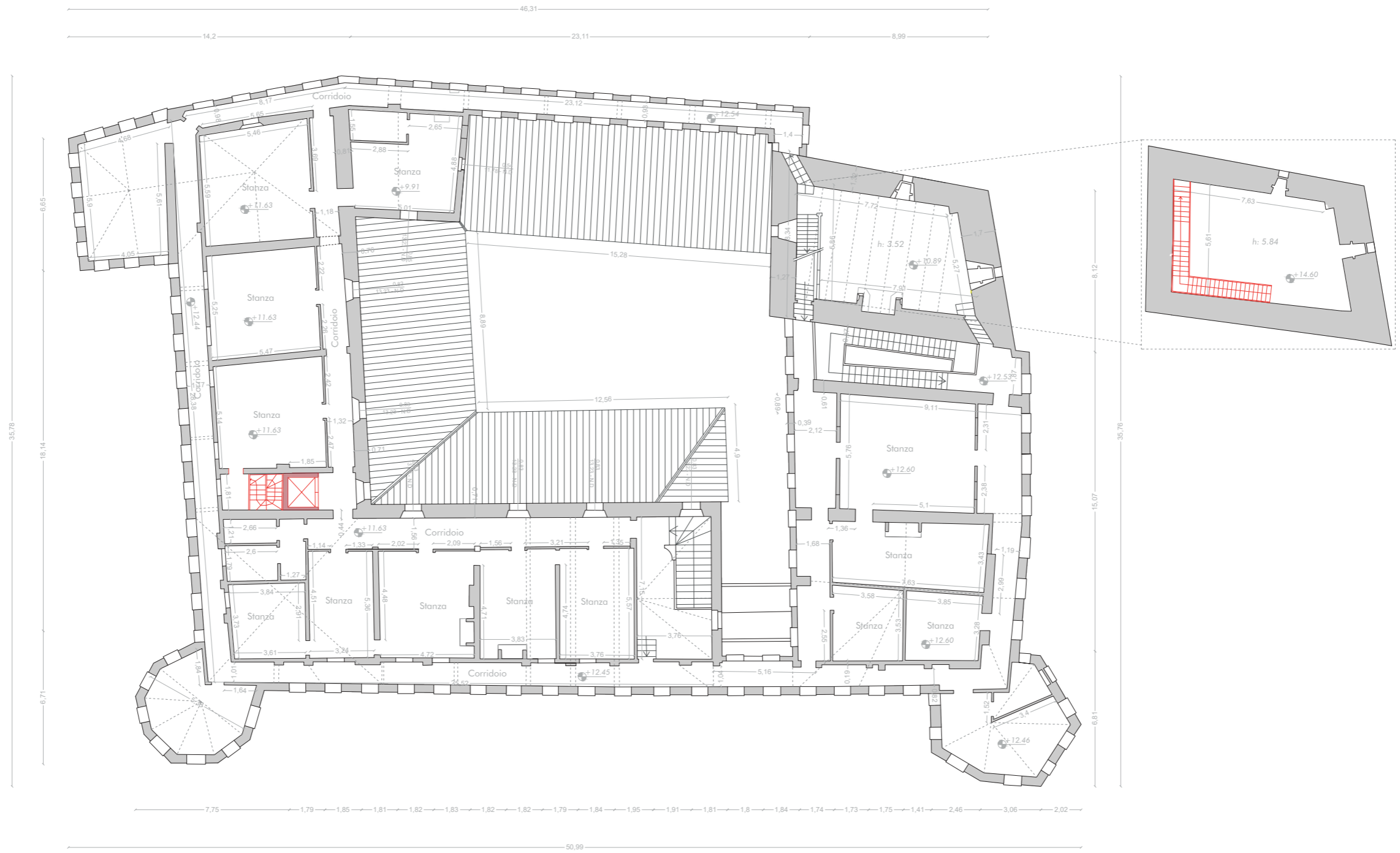
Architetture fortificate: processi evolutivi, tecniche costruttive e
vulnerabilità.
Il caso studio della Rocca di Gradara
Parte 1

ALLEGATO 1

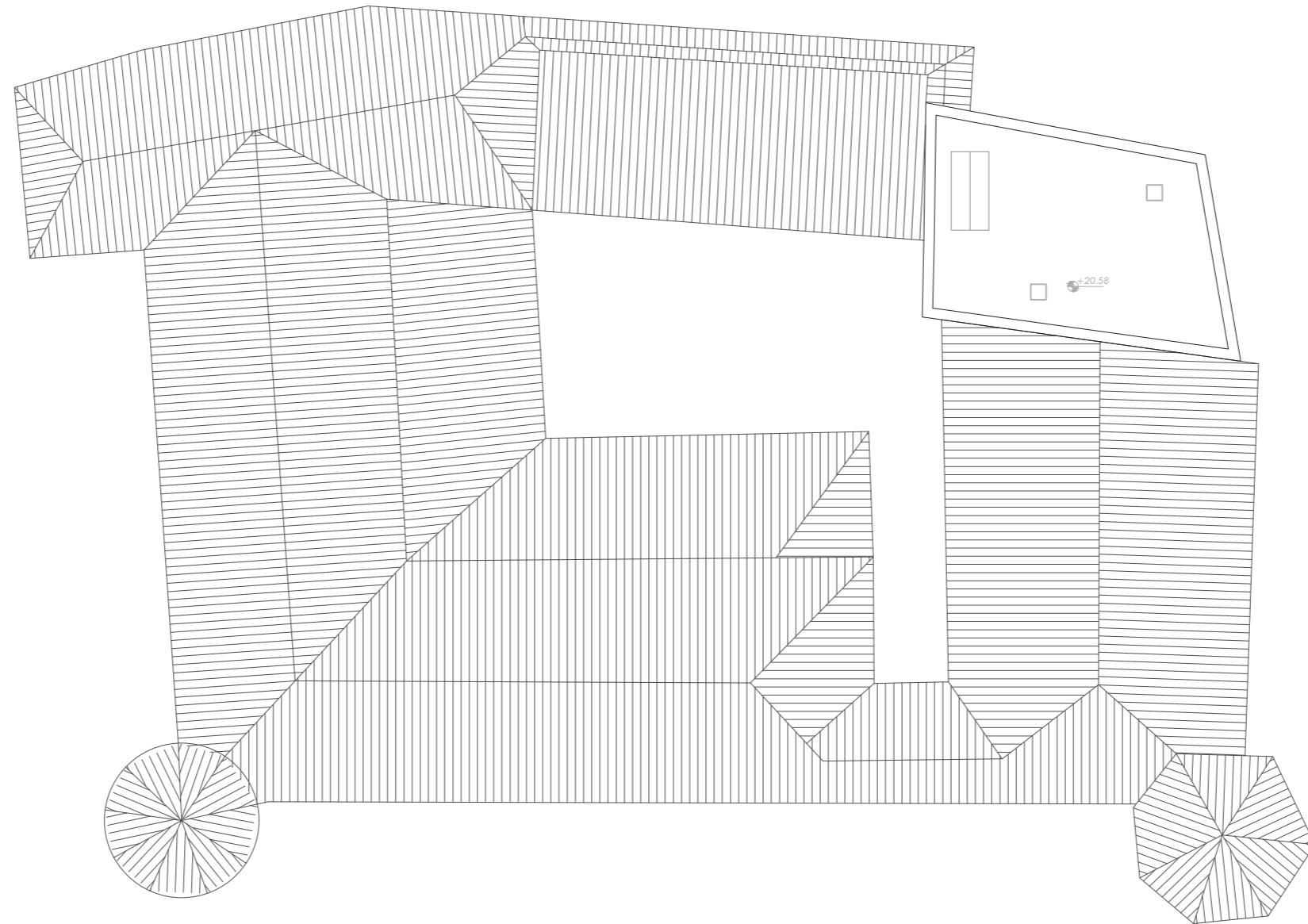
Rilievo geometrico Rocca di Gradara



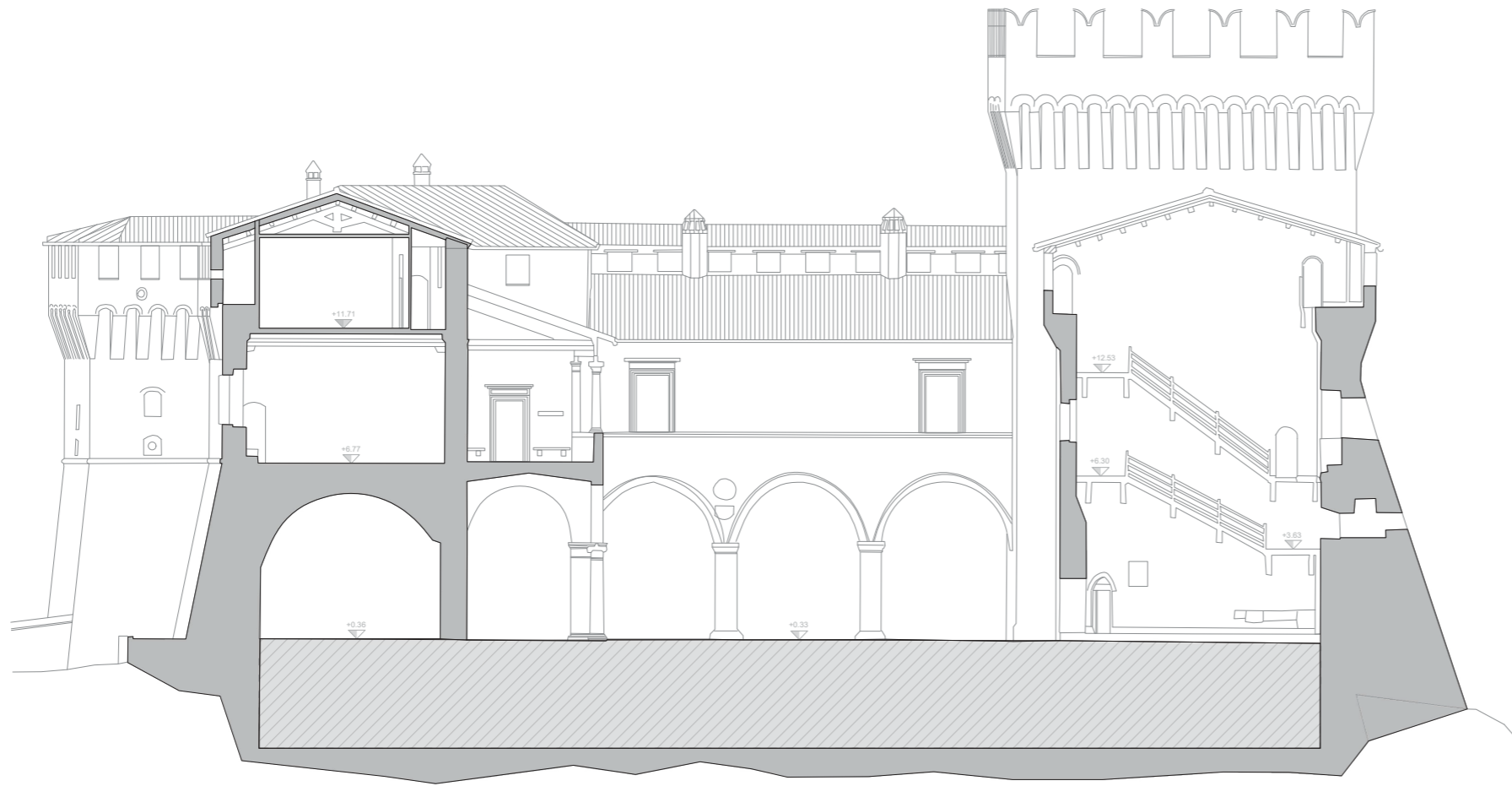
PIANTA PIANO TERRA
Scala 1:100



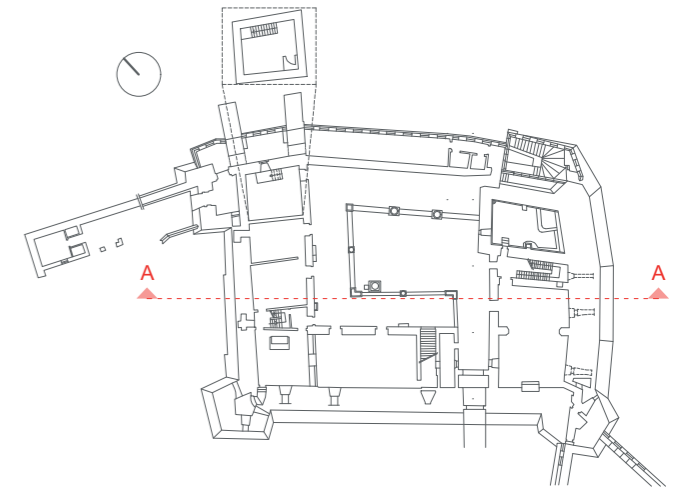
PIANTA PIANO SECONDO E TERZO
Scala 1:100



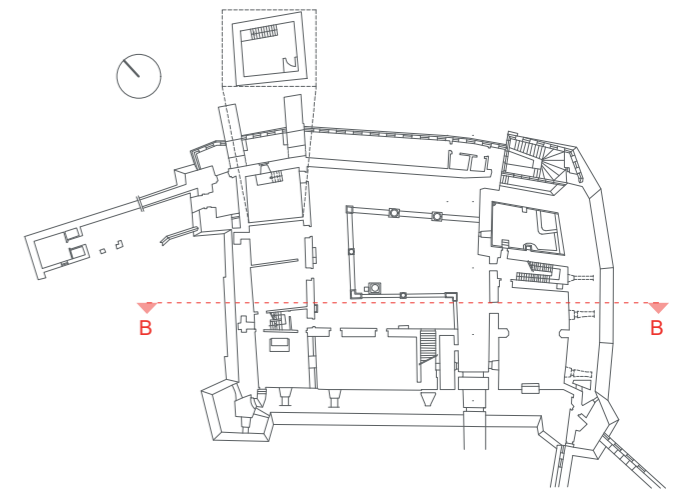
PIANTA PIANO QUARTO
Scala 1:100

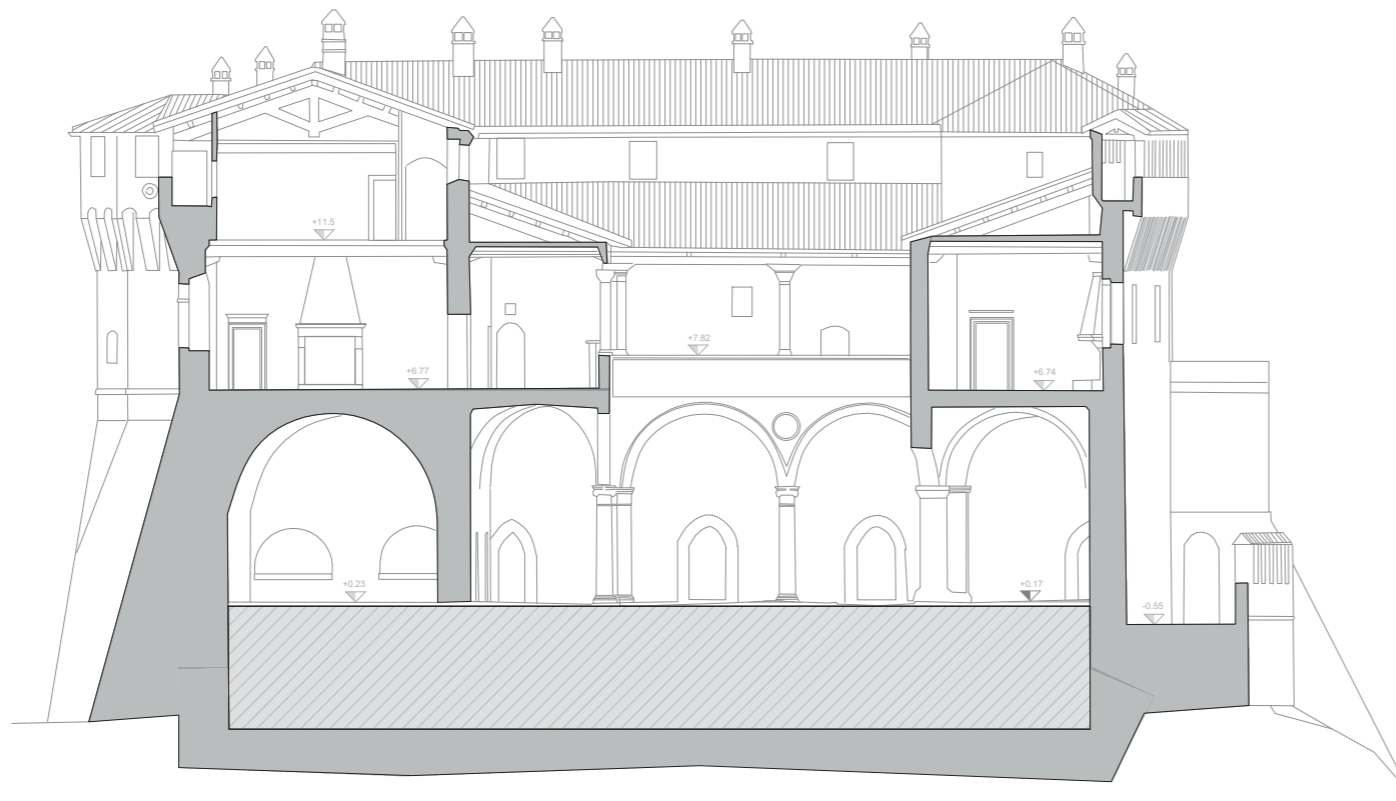


SEZIONE AA
Scala 1:100

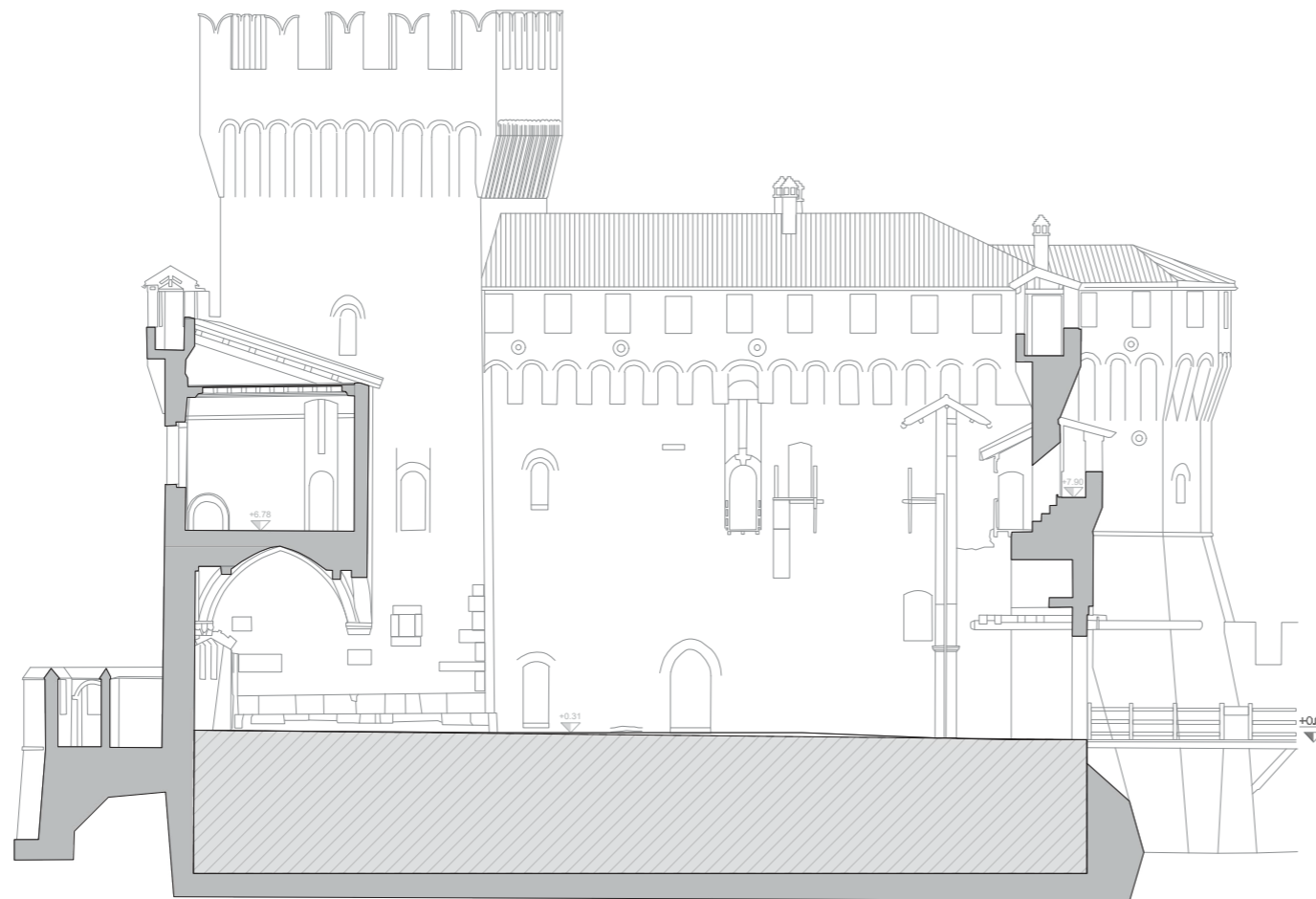
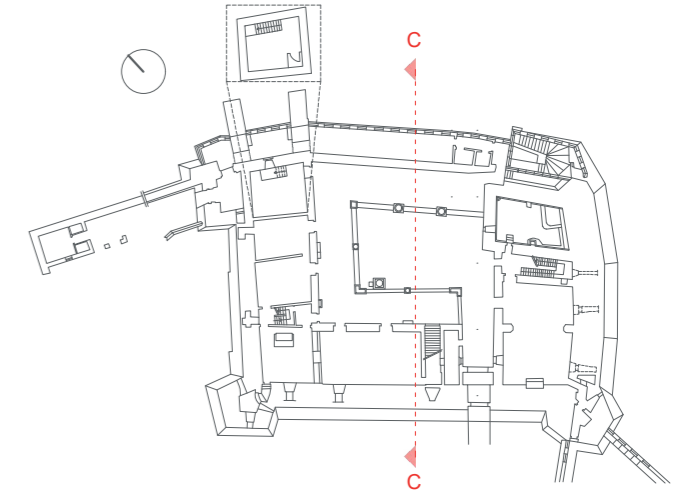


SEZIONE BB
Scala 1:100

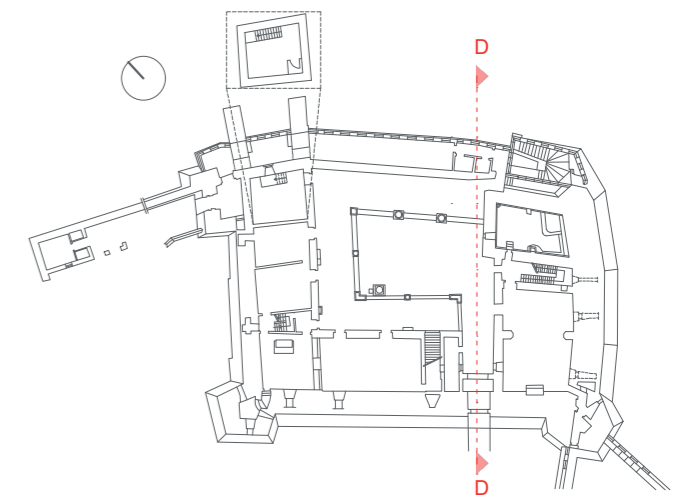


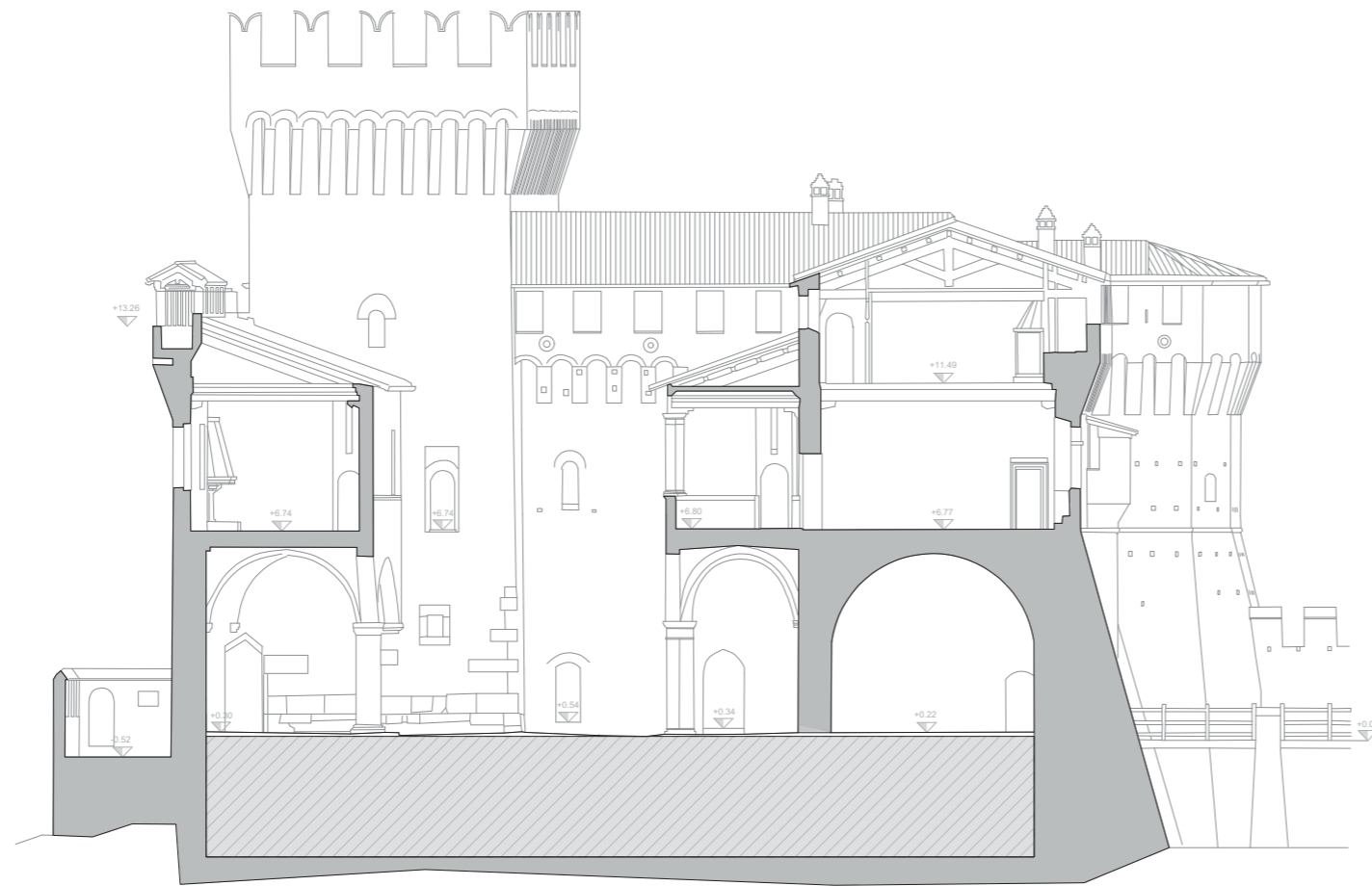


SEZIONE CC
Scala 1:100

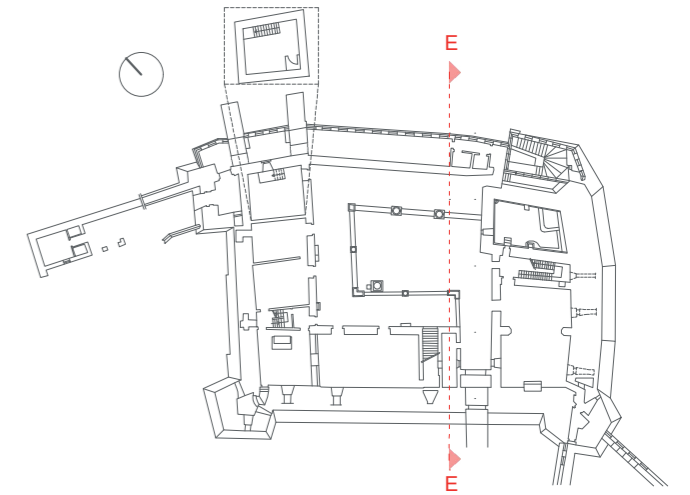


SEZIONE DD
Scala 1:100





SEZIONE EE
Scala 1:100





UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

Facoltà di Ingegneria Edile-Architettura

Architetture fortificate: processi evolutivi, tecniche costruttive e
vulnerabilità.

Il caso studio della Rocca di Gradara

Parte 1

ALLEGATO 2

Rilievo fotografico Rocca di Gradara

Rilievo fotografico - Pianta piano terra



0_1



0_2



0_3



0_4



0_5



0_6



0_7



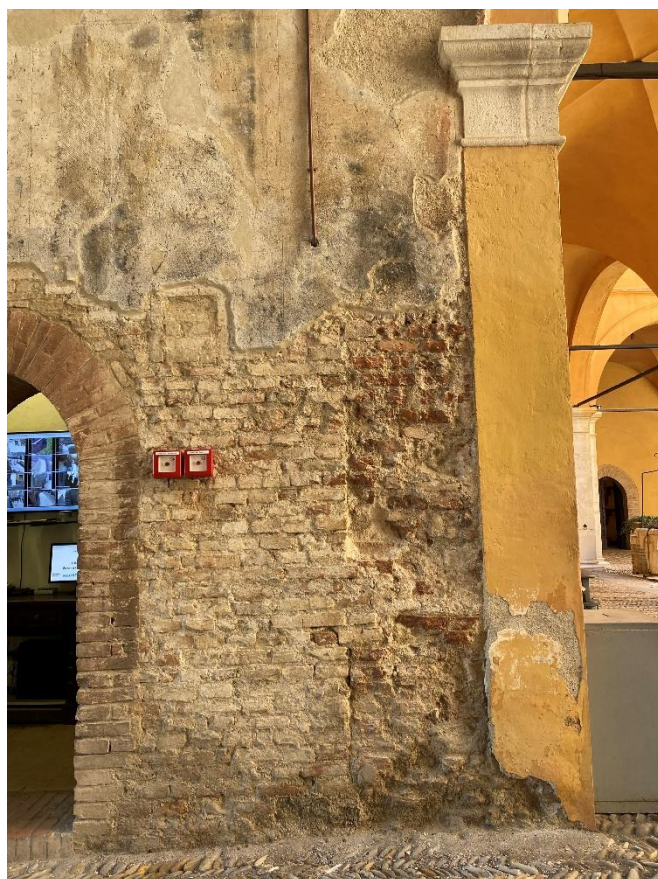
0_8



0_9



0_10



0_11



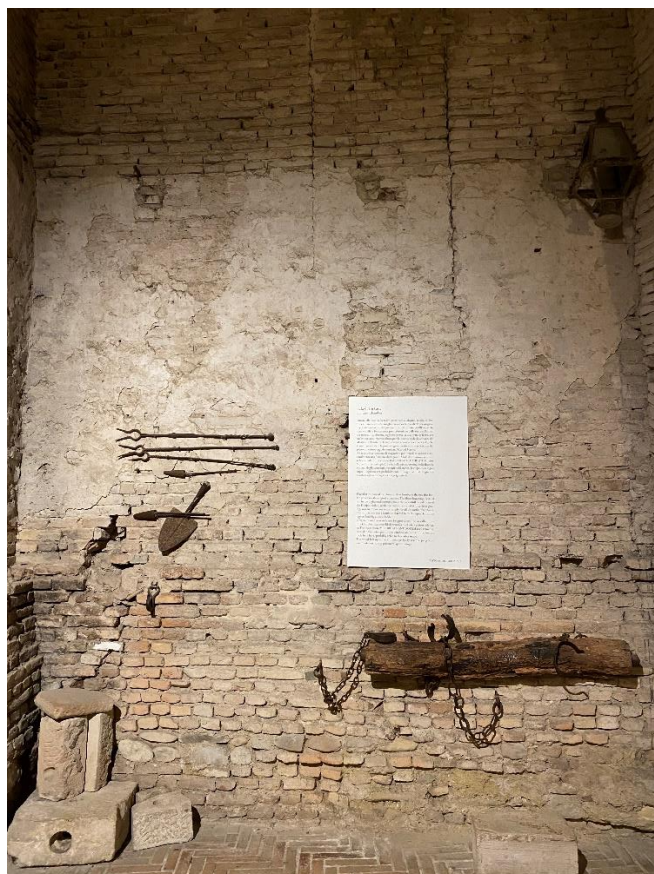
0_12



0_13



0_14



0_15



0_16



0_17



0_18



0_19



0_20



0_21



0_22



0_23



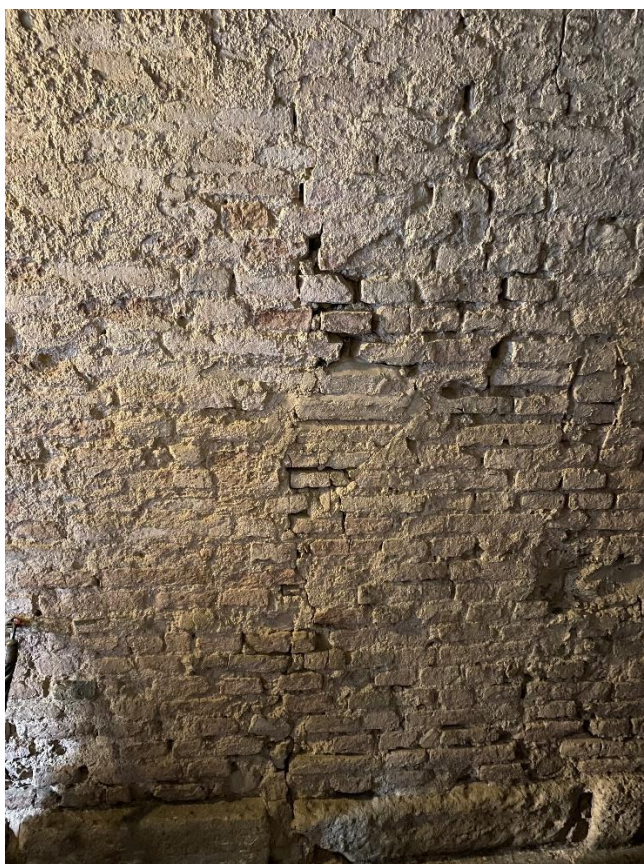
0_24



0_25



0_26



0_27



0_28



0_29



0_30



0_31



0_32



0_33



0_34



0_35



0_36



0_37



0_38



0_39



0_40



0_41



0_42



0_43



0_44



0_45



0_46



0_47



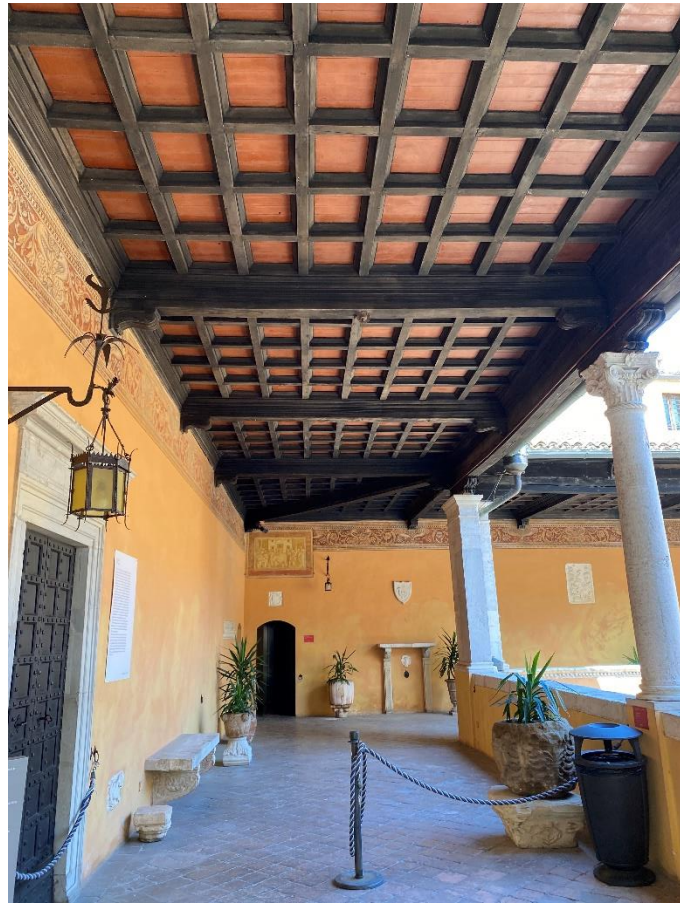
0_48



Rilievo fotografico - Pianta piano primo



+1_1



+1_2



+1_3



+1_4



+1_5



+1_6



+1_7



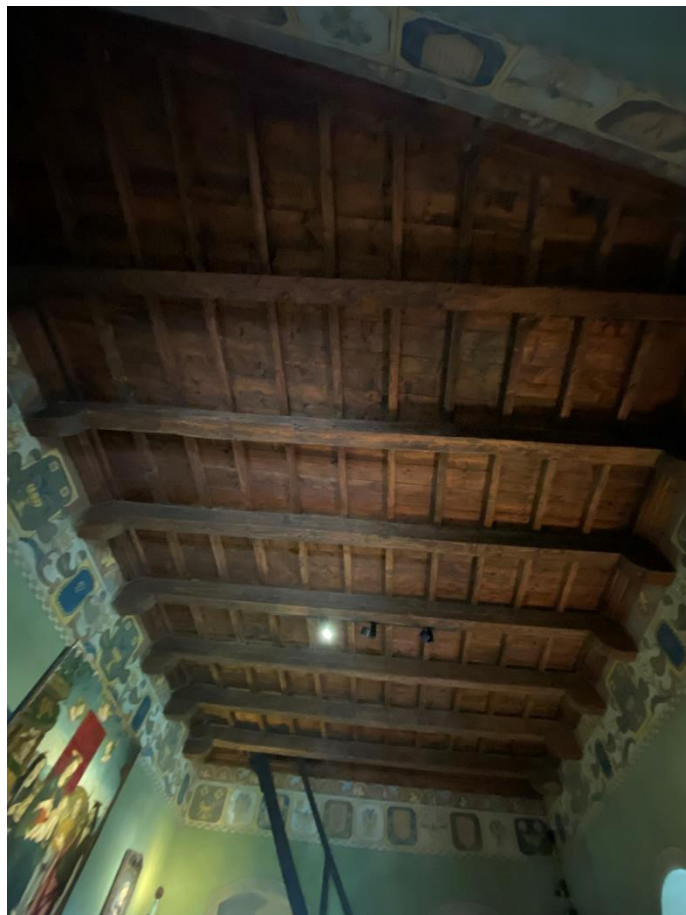
+1_8



+1_9



+1_10



+1_11



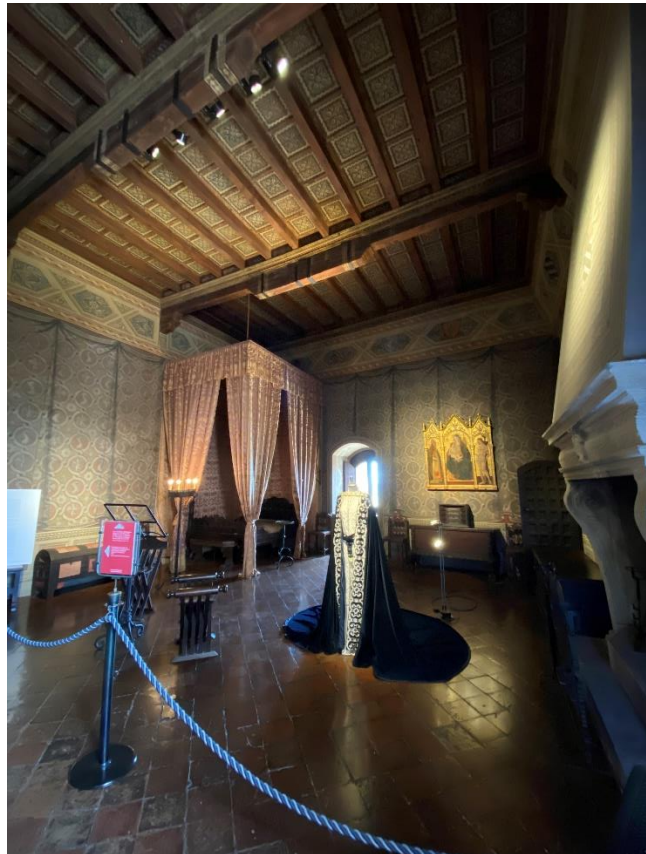
+1_12



+1_13



+1_14



+1_15



+1_16



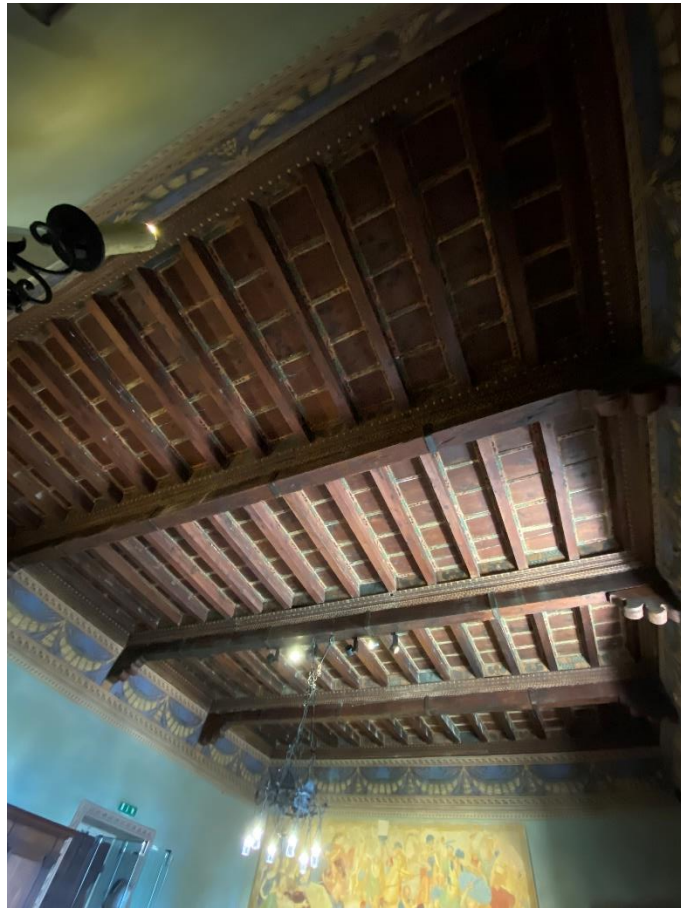
+1_17



+1_18



+1_19



+1_20



+1_21



+1_22



+1_23



+1_24



+1_25



+1_26



+1_27



+1_28



+1_29



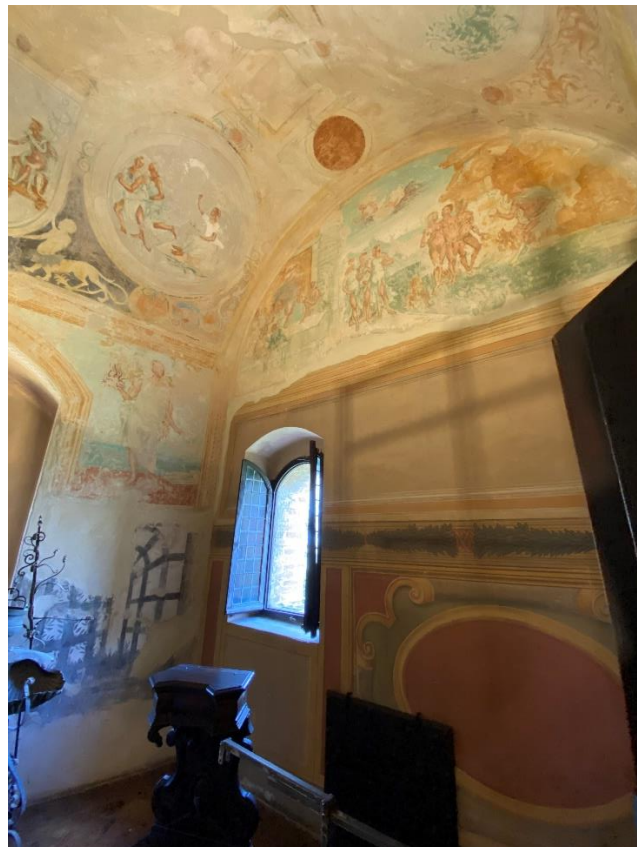
+1_30



+1_31



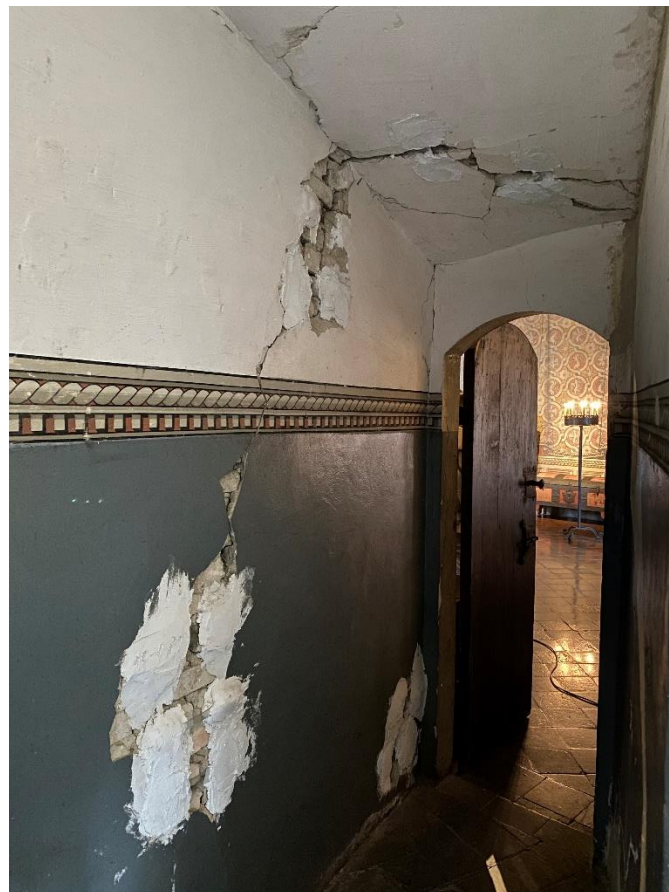
+1_32



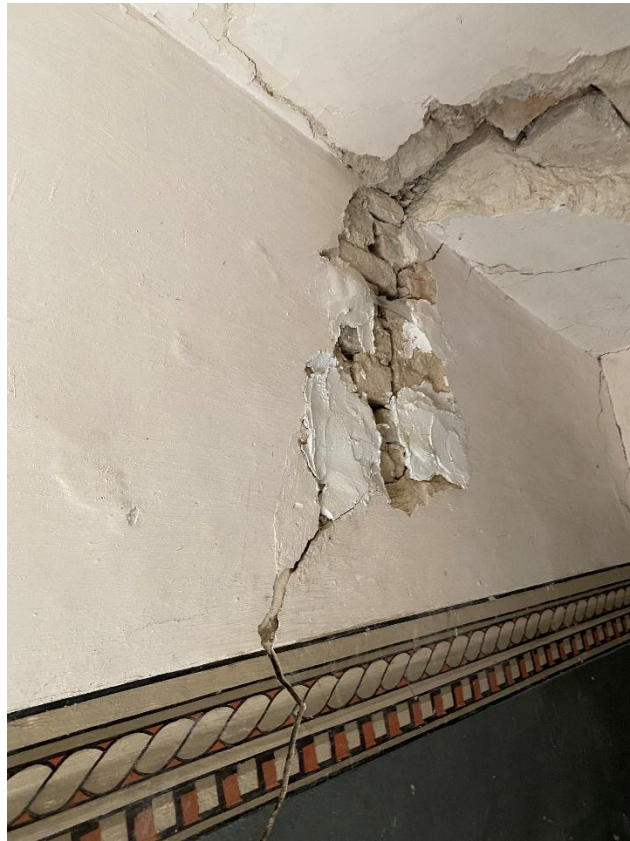
+1_33



+1_34



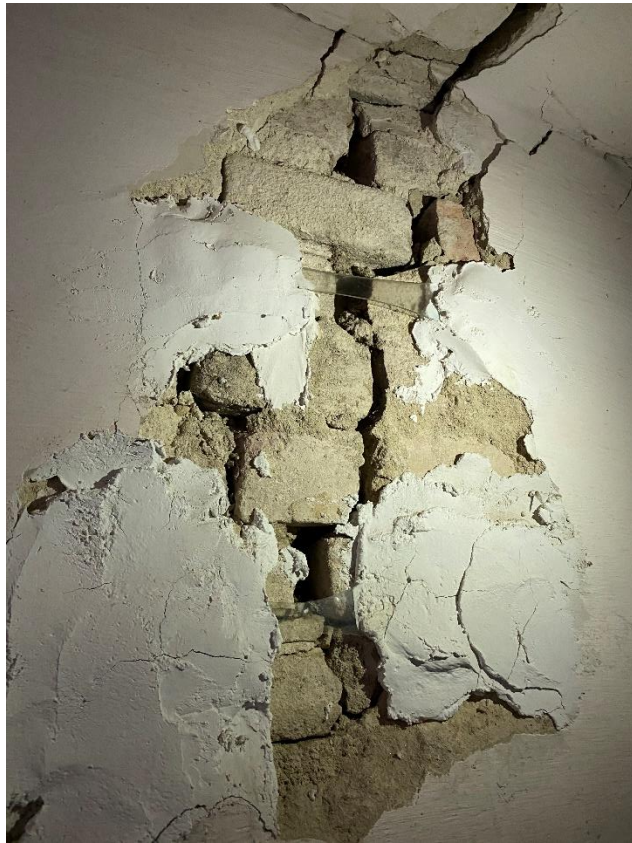
+1_35



+1_36



+1_37



+1_38



+1_39



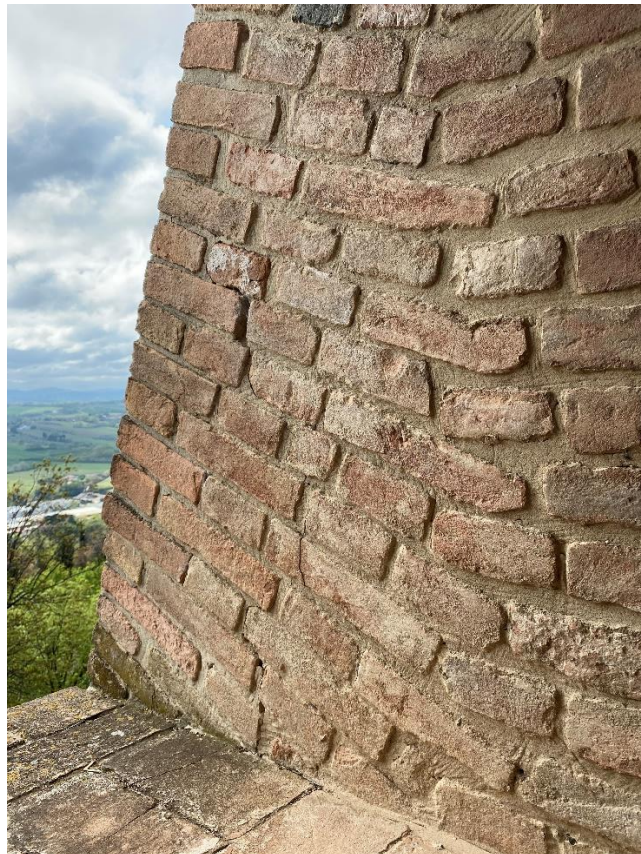
+1_40



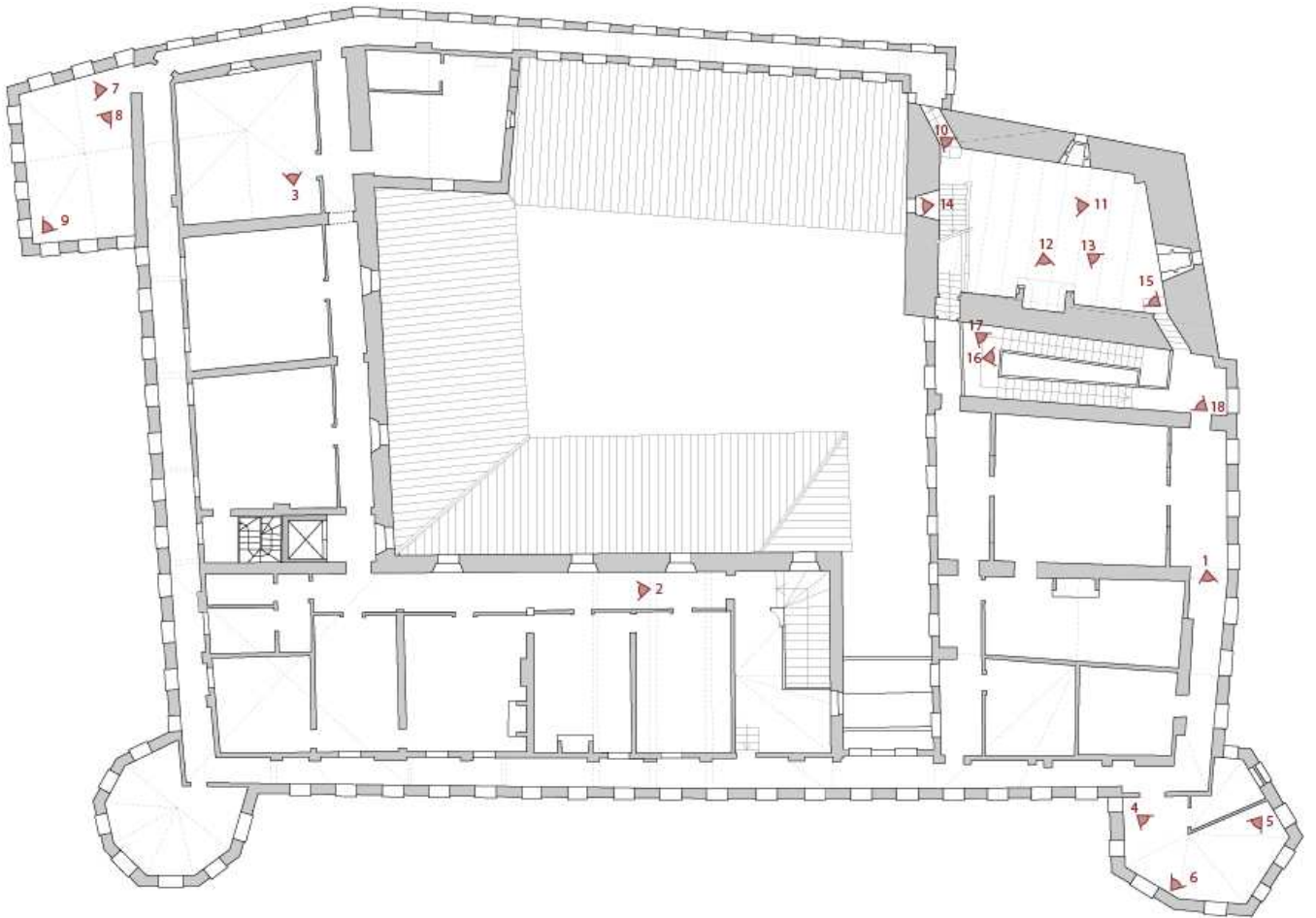
+1_41



+1_42



Rilievo fotografico - Pianta piano secondo



+2_1



+2_2



+2_3



+2_4



+2_5



+2_6



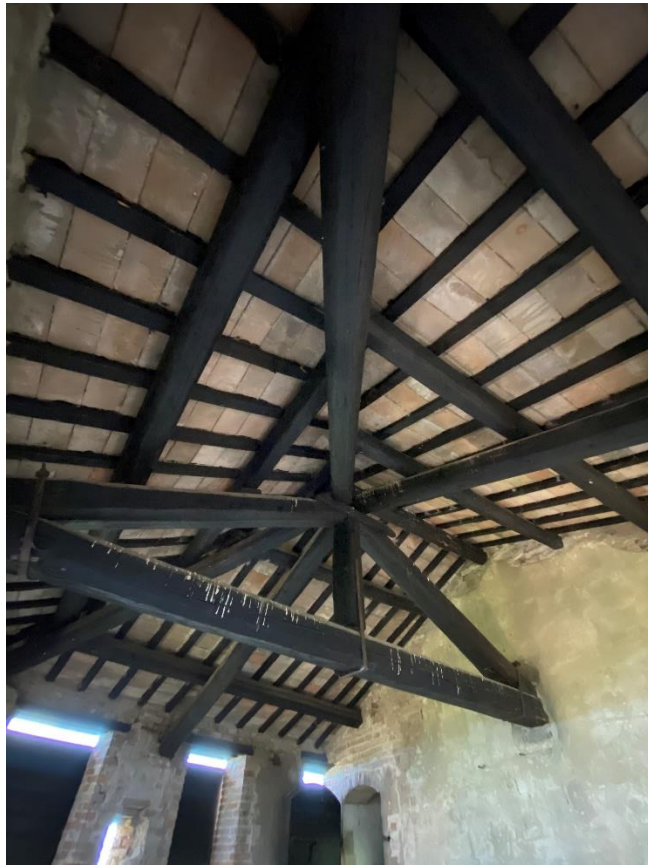
+2_7



+2_8



+2_9



+2_10



+2_11



+2_12



+2_13



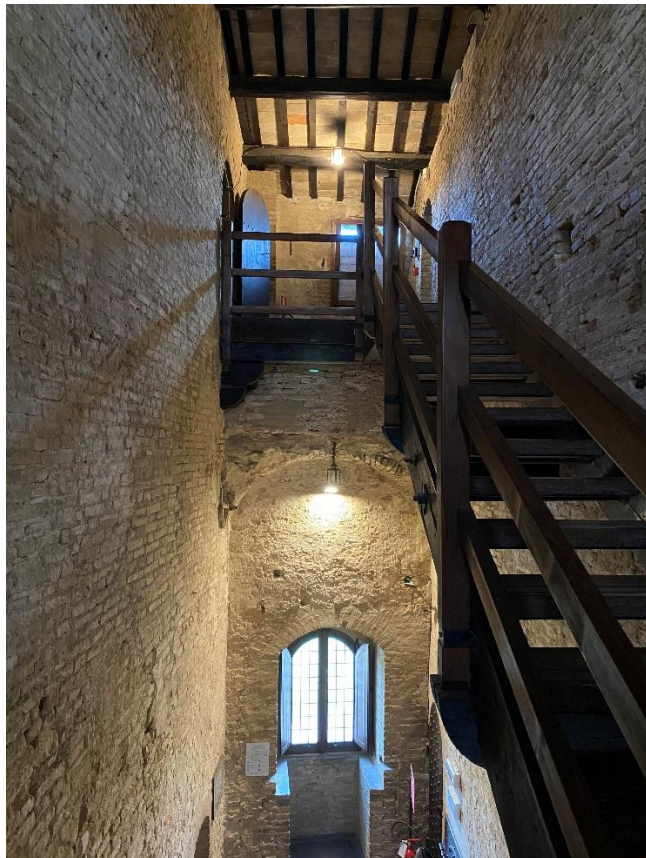
+2_14



+2_15



+2_16



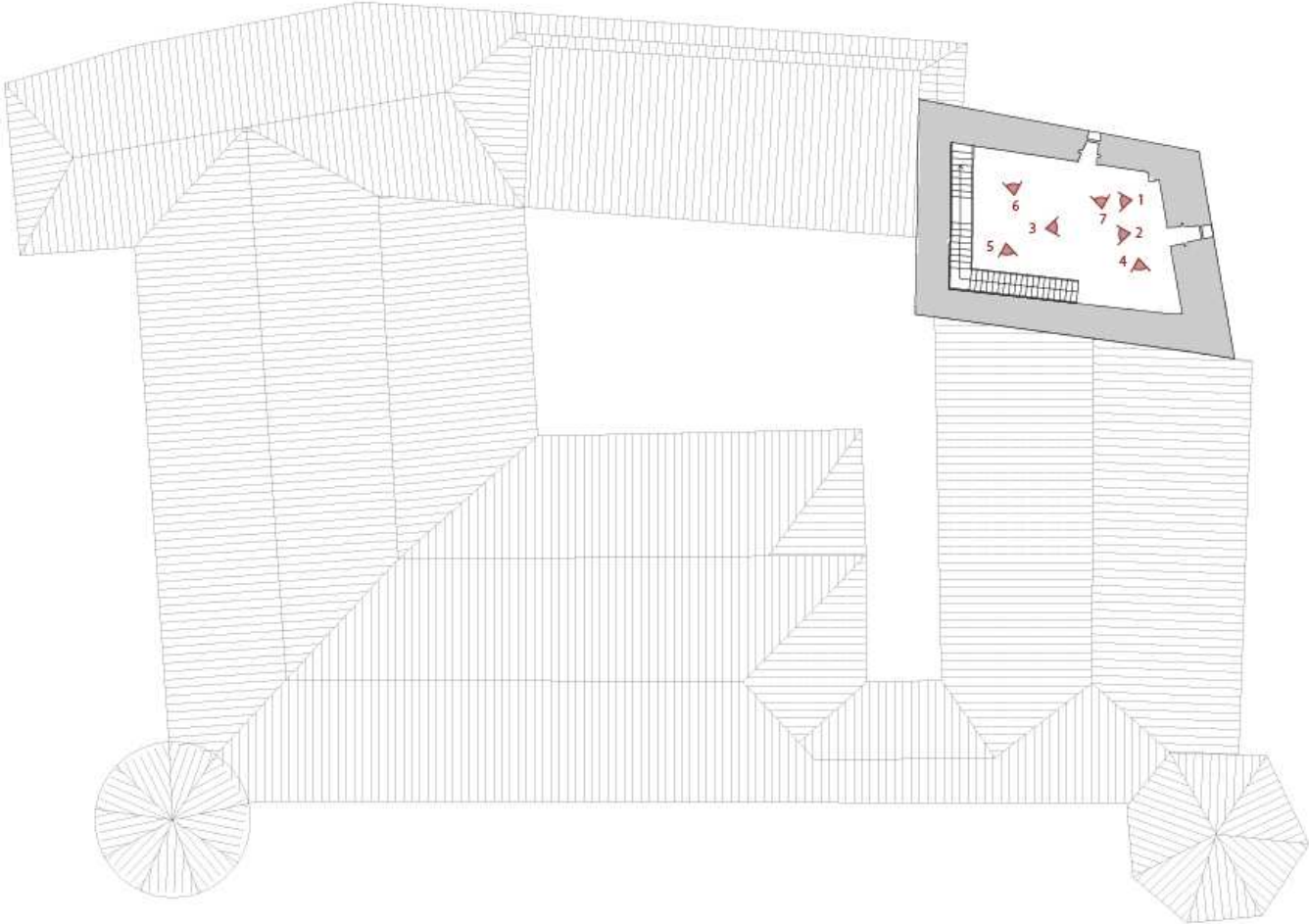
+2_17



+2_18



Rilievo fotografico - Pianta piano terzo



+3_1



+3_2



+3_3



+3_4



+3_5



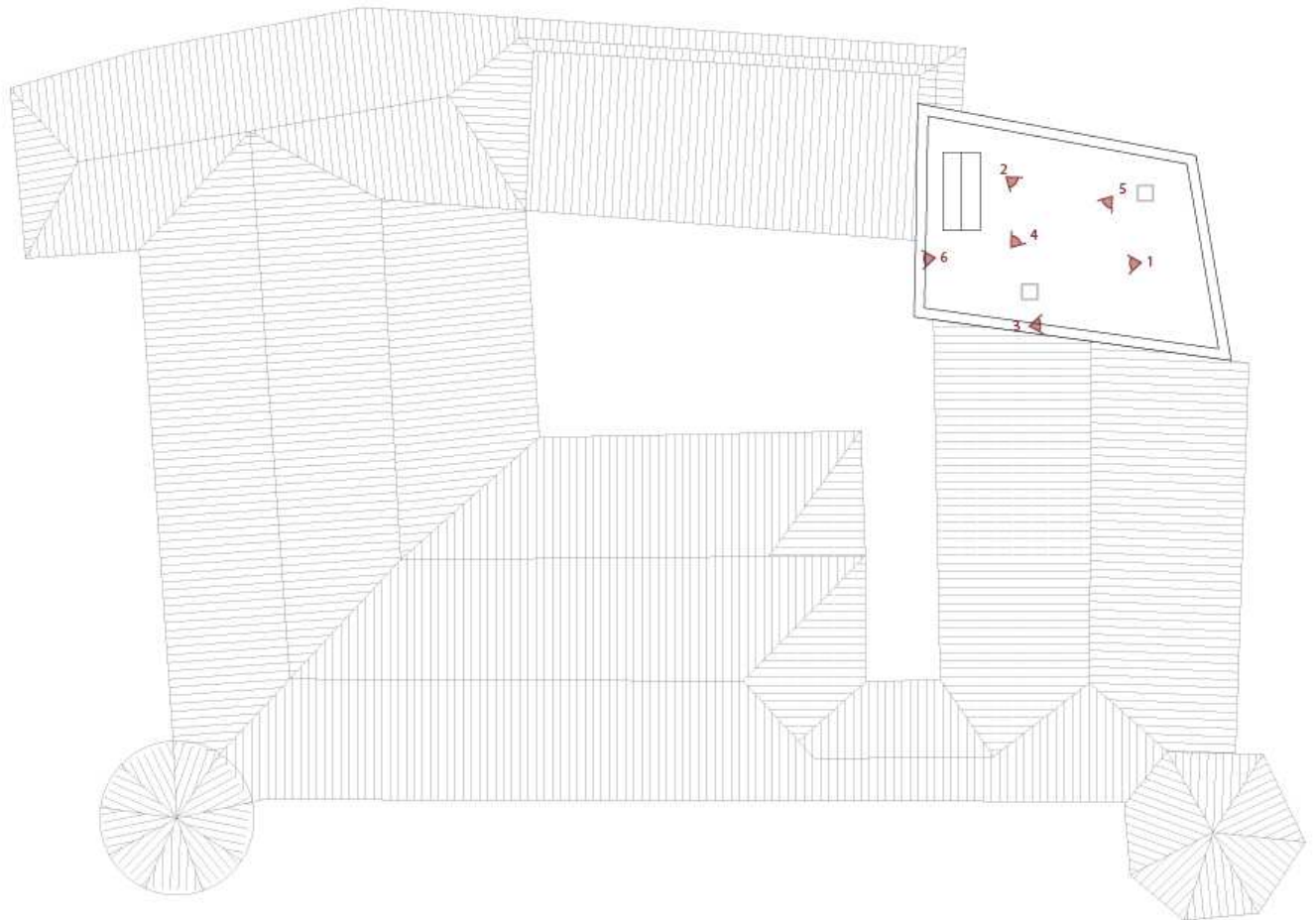
+3_6



+3_7



Rilievo fotografico - Pianta piano quarto



+4_1



+4_2



+4_3



+4_4



+4_5



+4_6





UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

Facoltà di Ingegneria Edile-Architettura

Architetture fortificate: processi evolutivi, tecniche costruttive e
vulnerabilità.

Il caso studio della Rocca di Gradara
Parte 1

ALLEGATO 3

Guida alla compilazione della scheda speditiva

SEZIONE 0: IDENTIFICAZIONE

A. NOME:

A. NOME	
Piano	
Sigla macrozona	
Lettera progress. macroelemento	
Numero fase storica	
NOME COMPLETO	

Nella sigla piano si inserisce:

- 0 per il piano terra
- +1 per il primo piano
- +2 per il secondo piano
- +3 per il terzo piano
- +4 per il quarto piano

Per la sigla della macrozona, lettera progressiva del macroelemento e numero della fase storica si seguono le indicazioni del §2.1.2.

Il nome completo è dato dall'unione delle informazioni soprastanti.

B. TIPOLOGIA:

B. TIPOLOGIA	
<i>Tipologia risultante (tabella C8.5.1 - Circolare NTC 2018)</i>	
<input type="checkbox"/>	Muratura in pietrame disordinata
<input type="checkbox"/>	Muratura a conci sbozzati con paramenti di spessore diverso e/o nucleo
<input type="checkbox"/>	Muratura in pietre a spacco con buona tessitura
<input type="checkbox"/>	Muratura irregolare di pietra tenera (<i>tufo, calcarenite</i>)
<input type="checkbox"/>	Muratura a conci regolari di pietra tenera (<i>tufo, calcarenite</i>)
<input type="checkbox"/>	Muratura a blocchi lapidei squadri
<input type="checkbox"/>	Muratura in mattoni pieni e malta di calce
<input type="checkbox"/>	Muratura in mattoni semipieni e malta cementizia
<input type="checkbox"/>	Altro

All'interno di questa sezione viene individuata la tipologia muraria, quelle a cui si fa riferimento sono quelle identificate dalla circolare della NTC 2018.

SEZIONE 1: QUALITÀ MURARIA - SPEDITIVA

C. RILIEVO DEL METRO QUADRO

SEZIONE 1 : QUALITA' MURARIA - SPEDITIVA				
C. RILIEVO DEL METRO QUADRO				
a. Dati metrici			Nome completo	Lato 1
Paramento 1	<i>inserire foto mq 1</i>	SCHEMI LMT Paramento 1	<i>inserire foto mq1 con LMT</i>	
			Nome completo	Lato 2
Paramento 2	<i>inserire foto mq 2</i>	SCHEMI LMT Paramento 2	<i>inserire foto mq2 con LMT</i>	
			Nome completo	Sez
Sezione	<i>inserire foto sezione</i>	SCHEMI LMT Sezione	<i>inserire foto sezione con LMT</i>	

PARAMETRI		Giudizio	IQM_v	IQM_fp	IQM_np
			Voto_v	Voto_fp	Voto_np
OR	<i>Orizzontalità dei filari</i>	R - Rispettato	2	2	1
PD	<i>Presenza diatoni</i>	R - Rispettato	1	3	2
FEL	<i>Forma elementi</i>	R - Rispettato	3	2	2
SG	<i>Sfalsamento giunti verticali</i>	R - Rispettato	1	1	2
DEL	<i>Dimensione elementi</i>	R - Rispettato	1	1	1
MA	<i>Qualità malta/ zeppe</i>	R - Rispettato	2	1	2
REEL	<i>Resistenza Elementi</i>	R - Rispettato	1	1	1
r	<i>Coeff correttivo per MA</i>	R - Rispettato	1	1	1
m	<i>Coeff correttivo per malta</i>	Altri casi	1		
g	<i>Coeff correttivo per giunti</i>	Altri casi	1		
IQM	INDICE QUALITÀ MURARIA	Fessurazione dei giunti	10,00	10,00	10,00
CAT	CATEGORIA		A	A	A

Si inseriscono poi le foto delle varie porzioni di mq di ogni paramento che hanno portato alla determinazione della LMTm, seguendo le indicazioni nel §2.2.1

I metodi di giudizio dei parametri dell'indice di qualità muraria (IQM) qualitativi (valutabili già in situ) e quantitativi sono riportati nella tabella seguente:

	Valutazione Qualitativa	Valutazione Quantitativa
OR - Orizzontalità dei filari		
<i>Rispettato</i>	orizzontali per almeno 1m e su 2 facce	
<i>Parzialmente rispettato</i>	situazioni intermedie e/o orizzontali solo su una faccia	
<i>Non rispettato</i>	evidenti sfalsamenti	
PD - Presenza diatoni		
<i>Rispettato</i>	presenza sistematica di diatoni	LMTm >155 cm
<i>Parzialmente rispettato</i>	se diatoni per i 2/3 dello spessore, situazioni intermedie, diatoni solo su una faccia	125 < LMTm < 155
<i>Non rispettato</i>	diatoni pochi o assenti	LMTm <125 cm
FEL - Forma elementi		
<i>Rispettato</i>	blocchi regolari squadrati su 2 facce	
<i>Parzialmente rispettato</i>	mix blocchi reg e ciottoli, blocchi solo su 1 faccia, presenza di zeppe	
<i>Non rispettato</i>	irregolare, arrotondata, ciottoli	
SG - Sfalsamento giunti		
<i>Rispettato</i>	giunti verticali a 1/2 o nei quarti (no concat. chiave)	LMTm >160 cm x tutte e due le facce
<i>Parzialmente rispettato</i>	giunti correttamente sfalsati e non	140 < LMTm < 160 su almeno 1 faccia
<i>Non rispettato</i>	elevata % di giunti allineati	LMTm < 140 su almeno una faccia
DEL - Dimensione elementi		
<i>Rispettato</i>	dimensione max > 40	
<i>Parzialmente rispettato</i>	20 < dimensione max < 40, dimensione elementi variabile	
<i>Non rispettato</i>	dimensione max < 20 cm	
MA - Qualità malta/ zeppe		
<i>Rispettato</i>	malta buona, "a secco" buono, spessore adeguato	
<i>Parzialmente rispettato</i>	malta non buona ma con zeppe	
<i>Non rispettato</i>	malta scarsa, degradata, poca aderenza tra blocchi, spessore non adeguato	
REEL - Resistenza Elementi		
<i>Rispettato</i>	pietre, mattoni pieni e semipieni, cls, no degrado	
<i>Parzialmente rispettato</i>	elementi degradati (10%-50%), ϕ >55%, mattoni tufo tenero	
<i>Non rispettato</i>	elementi degradati, ϕ >70%, mattoni argilla	

SEZIONE 2: INQUADRAMENTO

D. GEOMETRICO

SEZIONE 2 : INQUADRAMENTO	
D. GEOMETRICO	
a. Rilievo <i>Piano</i>	
PIANTA + PIANTA ZOOM	
b. Tipologia muro	
<input type="checkbox"/> Esterno	<input type="checkbox"/> Portante <input type="checkbox"/> Non portante
<input type="checkbox"/> Interno	<input type="checkbox"/> Portante <input type="checkbox"/> Non portante
<input type="checkbox"/> <i>Altro</i>	<input type="checkbox"/> Ex-esterno <input type="checkbox"/> Scarpa
b. Posizione del muro	
<input type="checkbox"/> Isolato	
<input type="checkbox"/> Non isolato	<input type="checkbox"/> in adiacenza <input type="checkbox"/> in continuità
<input type="checkbox"/> Non definibile	

In corrispondenza della sezione dell'inquadrimento, il rilievo geometrico riporta in primo luogo la pianta generale con l'identificazione della sezione muraria in questione, e poi lo zoom della stessa pianta. La tipologia muraria fa distinzione tra muro esterno o interno e poi se risulta portante o non portante; invece, la posizione del muro si può definire isolato, o non isolato in adiacenza (quindi senza ammorsamento) e in continuità (se invece è ammorsato); oppure può essere non definibile.

E. STORICO

Si indica il periodo storico a cui appartiene ogni lato della sezione muraria in questione: è possibile che i due lati di uno stesso paramento appartengono a due periodi storici diversi, perché frutto di successive espansioni.

E. STORICO		Numero
Paramento 1		
<input type="checkbox"/>	Dal periodo Romano al periodo dei De Griffo	1°
<input type="checkbox"/>	Prima fase Malatestiana, Giovanni Malatesta	2°
<input type="checkbox"/>	Seconda fase Malatestiana	3°
<input type="checkbox"/>	Terza fase Malatrstiana, Sigismondo Malatesta	4°
<input type="checkbox"/>	Periodo Sforzesco	5°
<input type="checkbox"/>	Dal periodo dei Della Rovere al restauro di Zanvettori	6°
<input type="checkbox"/>	Altro	7°

Le fasi storiche fanno riferimento a quelle individuate nel paragrafo §1.3.2 dello stato dell'arte.

SEZIONE 3: DATI TECNOLOGICO COSTRUTTIVI

F. BLOCCHI

SEZIONE 3 : DATI TECNOLOGICO COSTRUTTIVI (in coerenza con Sezione 2)				
F. BLOCCHI				
Paramento 1		Nome completo lato 1		
a. Materiale				
<input type="checkbox"/>	Laterizio		%	
<input type="checkbox"/>	Pietra	<input type="checkbox"/>	Arenaria	%
		<input type="checkbox"/>	Calcere	%
		<input type="checkbox"/>	Tufo	%
		<input type="checkbox"/>	Altro	%
<input type="checkbox"/>	Altro	<input type="checkbox"/>	C.A	%
		<input type="checkbox"/>	Mix lat./pietra	%
		<input type="checkbox"/>	Terra cruda	%
		<input type="checkbox"/>	Tufo tenero	%
b. Tipologia				
<input type="checkbox"/>	Blocco	<input type="checkbox"/>	Forato con $\Phi > 45\%$	
<input type="checkbox"/>	Forato con $\Phi < 45\%$	<input type="checkbox"/>	Altro	
c. Lavorazione				
<input type="checkbox"/>	Assente (ciottoli)	<input type="checkbox"/>	Sbozzata	
<input type="checkbox"/>	A spacco	<input type="checkbox"/>	Spigoli finiti	

Si riporta il tipo di materiale presente (laterizio, pietra o altro), e indicativamente anche in che percentuale. Inoltre, si inserisce anche la tipologia e il tipo di lavorazione.

Questa distinzione si farà per ogni lato della sezione muraria.

G. MALTA

G. MALTA	
Paramento 1	Nome completo lato 1
a. Tipologia	
<input type="checkbox"/> A secco	<input type="checkbox"/> Calce aerea
<input type="checkbox"/> Argilla/sabbia	<input type="checkbox"/> Cementizia
<input type="checkbox"/> Calce idraulica	<input type="checkbox"/> <i>Altro</i>
b. Consistenza	
<input type="checkbox"/> Incoerente	<input type="checkbox"/> Compatta
<input type="checkbox"/> Friabile	<input type="checkbox"/> Tenace
c. Spessore	
<input type="checkbox"/> Ridotto < 1 cm	<input type="checkbox"/> Elevato > 2,5 cm
<input type="checkbox"/> Medio	<input type="checkbox"/> <i>Altro</i>

La malta si differenzia per tipologie e quindi in base al loro tipo di legante e tipologia di presa:

- A secco: quindi la malta è assente
- Argilla/sabbia
- Calce idraulica: è in grado di indurire anche a contatto con l'acqua
- Calce aerea: è in grado di indurire solo a contatto con l'aria
- Calce cementizia utilizza come legante il cemento

Per la consistenza della malta le alternative possono essere:

- Incoerente: polverulento, che si sgretola
- Friabile: friabile al tatto
- Compatta: non friabile al tatto
- Tenace: molto compatta

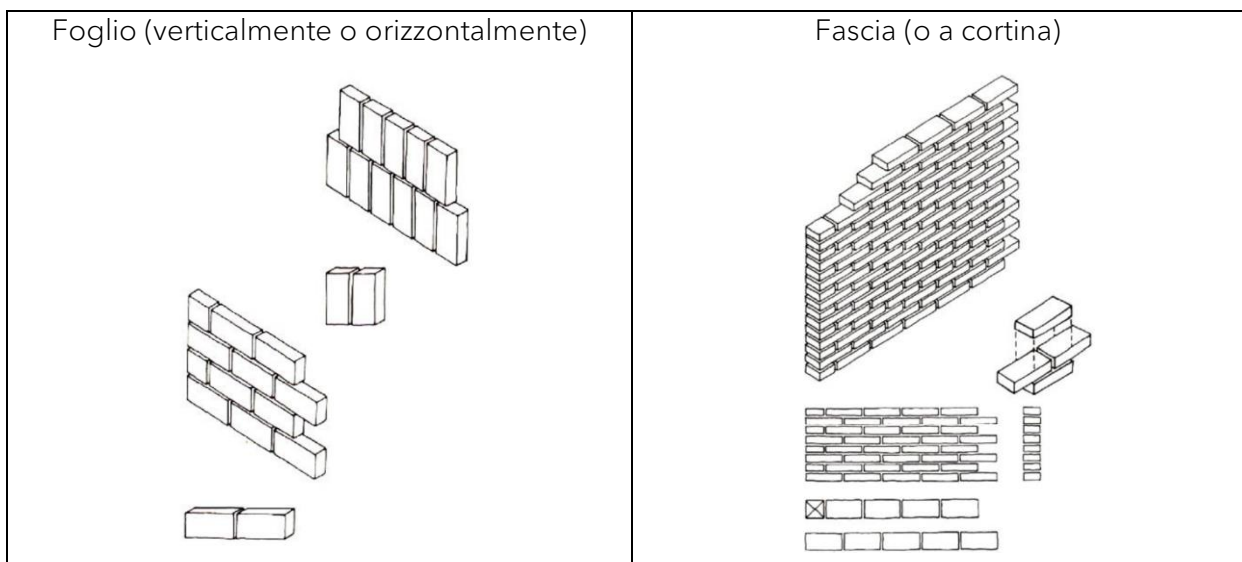
Inoltre, a seconda del giunto di malta si distingue in ridotto (< 1 cm), medio ed elevato (> 2,5 cm).

Questa distinzione si fa per ogni lato della sezione muraria.

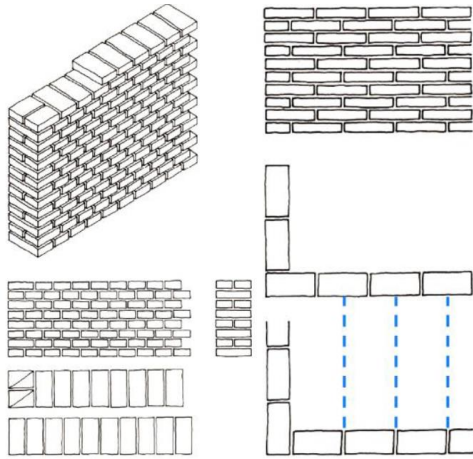
H. TESSITURA

H. TESSITURA	
Paramento 1	Nome completo lato 1
<input type="checkbox"/> Non leggibile (intonaco)	
<input type="checkbox"/> Leggibile standard	<input type="checkbox"/> Foglio <input type="checkbox"/> Fascia <input type="checkbox"/> Chiave <input type="checkbox"/> Gotico <input type="checkbox"/> Fiammingo <input type="checkbox"/> Croce <input type="checkbox"/> Blocco <input type="checkbox"/> Gotico variante
<input type="checkbox"/> Leggibile non standard	Giunti orizzontali
	<input type="checkbox"/> Filari orizzontali <input type="checkbox"/> Filari sub orizzontali <input type="checkbox"/> Filari non orizzontali <input type="checkbox"/> Listatura (materiale.....) <input type="checkbox"/> Zeppe <input type="checkbox"/> Blocco
	Giunti verticali
<input type="checkbox"/> Caotica	

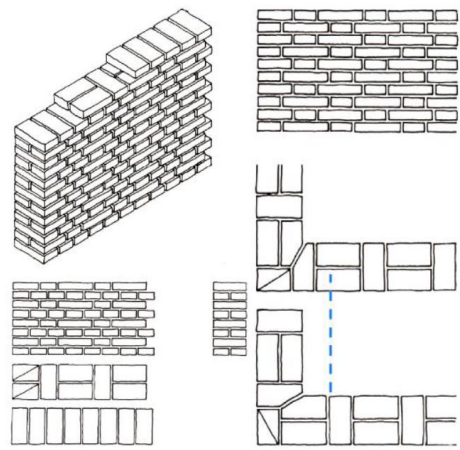
Per quanto riguarda la tessitura questa può essere non rilevabile perché intonacata, oppure presentare una tessitura standard (riportare nello schema sottostante) o non standard in cui sono identificabili però giunti orizzontali e verticali, e infine caotica.



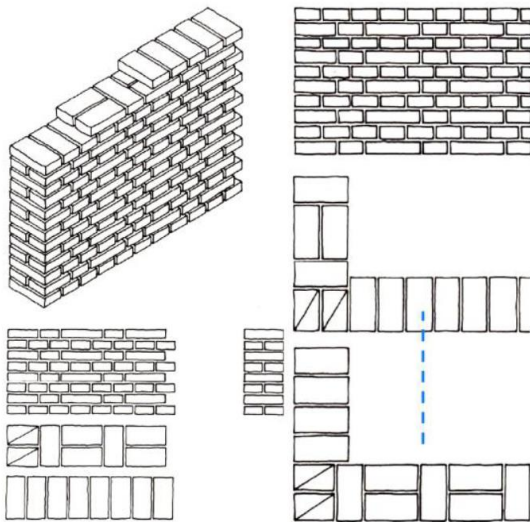
Chiave (o di testa)



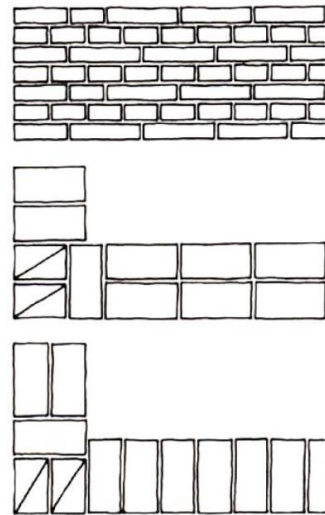
Gotico (o polacco)



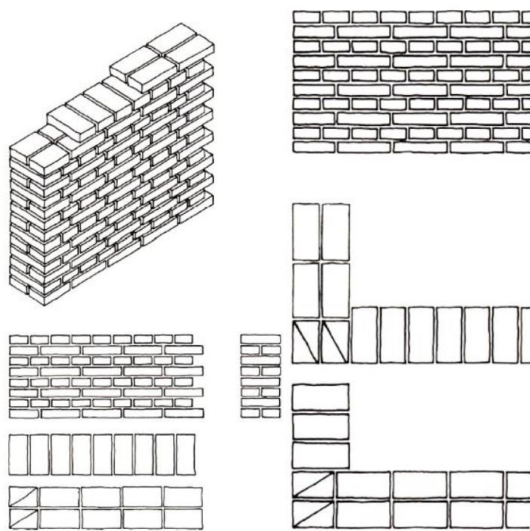
Fiammingo (o olandese)



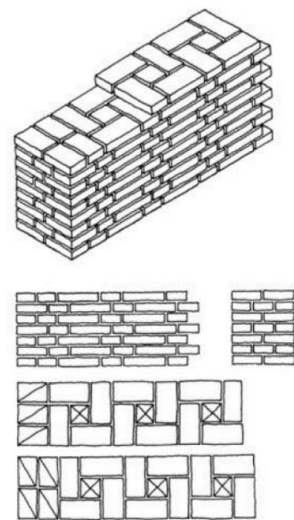
Croce



Blocco



Gotico Variante



I. APPARECCHIATURA

I. APPARECCHIATURA	
a. Spessore	
<input type="checkbox"/>	Dimensione (m)
<input type="checkbox"/>	2 teste
<input type="checkbox"/>	3 teste
<input type="checkbox"/>	4 Teste
<input type="checkbox"/>	Sacco
b.Paramenti	
<input type="checkbox"/>	Accostati
<input type="checkbox"/>	Ammorsati
<input type="checkbox"/>	Unico
c. Materiale Nucleo	
0	Dimensione (m)
<input type="checkbox"/>	Pietrame
<input type="checkbox"/>	Sabbia/conglomerato
<input type="checkbox"/>	Misto
d.Consistenza	
<input type="checkbox"/>	Coeso
<input type="checkbox"/>	Mediamente coeso
<input type="checkbox"/>	Incoerente

Eventuali note

L'apparecchiatura muraria si differenzia in muri e più teste, o a muratura a sacco. I vari paramenti a seconda delle connessioni trasversali possono risultare:

- Accostati: connessioni trasversali assenti, semplicemente accostati
- Ammorsati: connessioni trasversali presenti
- Unico

Nel caso in cui sia presente un nucleo, si riporti lo spessore dello stesso e il materiale dello stesso (pietrame, sabbia/conglomerato, o misto in pietrame e conglomerato).

Inoltre, si riporta la consistenza del nucleo che può essere:

- Coeso: aspetto conferito alla muratura da una malta di buona qualità
- Mediamente coeso: aspetto conferito alla muratura di qualità intermedia
- Incoerente: polverulento, che si sgretola

SEZIONE 4: CONSERVAZIONE, DEGRADO E INTERVENTI

J. STATO DI CONSERVAZIONE

SEZIONE 4 : CONSERVAZIONE, DEGRADO E INTERVENTI	
J. STATO DI CONSERVAZIONE	
Paramento 1	Nome completo lato 1
a. Blocchi	
<input type="checkbox"/> Buono/restaurato <input type="checkbox"/> Mediocre <input type="checkbox"/> Pessimo	<i>Eventuali note</i>
b. Malta	
<input type="checkbox"/> Buono/restaurato <input type="checkbox"/> Mediocre <input type="checkbox"/> Pessimo	
c. Degrado	
<input type="checkbox"/> Umidità <input type="checkbox"/> Sali ed efflorescenze <input type="checkbox"/> Vegetazione <input type="checkbox"/> Gelo	

Per quanto riguarda lo stato di conservazione, lo si valuta dal punto di vista dei blocchi e della malta (in buono stato di conservazione o restaurato, stato di conservazione mediocre o pessimo). Si rileva inoltre il degrado provocato da umidità, Sali ed efflorescenze e vegetazione, o si individuano altri tipi di degrado/alterazioni prendono in considerazione la nomenclatura adottata nelle raccomandazioni UNI 11182/2006.

K. DISSESTI

K. DISSESTI	
Paramento 1	Nome completo lato 1
a. Tipologie fessure	
<input type="checkbox"/> Non presenti	
<input type="checkbox"/> Presenti	<input type="checkbox"/> Non passanti <input type="checkbox"/> Passanti <input type="checkbox"/> Fuoriplombo
b. Dimensioni	
<input type="checkbox"/> < 1 mm <input type="checkbox"/> tra 2-3 mm <input type="checkbox"/> oltre i 4-5 mm	<i>Eventuali note</i>
b. Distribuzione	
<input type="checkbox"/> Diffuse <input type="checkbox"/> Non diffuse	

Per quanto riguarda i dissesti, se presenti, vengono distinti in:

- Non passanti: cioè riscontrabili in un solo lato del paramento murario

- Passanti: cioè riscontrabili su entrambi i lati del paramento e in corrispondenza, sono fessure che passano da un lato all'altro
- Fuori piombo: dissesti che provocano appunto il fuori piombo della parete
Si specificano le dimensioni della fessura (se <1 mm, o tra 2-3 mm, o oltre i 4-5 mm), e la loro distribuzione (diffuse o non diffuse).

L. INTERVENTI

L. INTERVENTI	
Paramento 1	Nome completo lato 1
<input type="checkbox"/> Malta	<input type="checkbox"/> Ristilatura dei giunti (<i>malta storica</i>) <input type="checkbox"/> Ristilatura dei giunti (<i>malta cementizia</i>) <input type="checkbox"/> <i>Altro</i>
<input type="checkbox"/> Blocchi	<input type="checkbox"/> Rimaneggiamenti <input type="checkbox"/> Sostituzione dei blocchi <input type="checkbox"/> Consolidamento del sacco <input type="checkbox"/> Scuci- cuci <input type="checkbox"/> Consolidamento superficiale <input type="checkbox"/> Protezione dall'acqua <input type="checkbox"/> Pulizia <input type="checkbox"/> <i>Altro</i>
<input type="checkbox"/> Strutturali	<input type="checkbox"/> Diatoni artificiali <input type="checkbox"/> Catene <input type="checkbox"/> <i>Altro</i>

Gli interventi vengono distinti in:

- **Interventi sulla malta, soprattutto individuabili nella:**
 - Ristilatura dei giunti con malta storica che utilizza malta idraulica o aerea;
 - Ristilatura dei giunti con malta cementizia che utilizza come legante il cemento;
- Interventi su blocchi come:
 - Rimaneggiamenti: (o rifacimenti parziali) vengono eseguiti con materiali e tecniche diverse da quelle originarie, che influiscono sul loro comportamento e sul loro stato di conservazione;
 - Consolidamento del sacco: tramite iniezioni di miscele leganti;
 - Scuci-cuci: è un tipo di intervento tradizionale ed avviene attraverso il ripristino della continuità muraria con la rimozione degli elementi lapidei o di laterizio lesionati o degradati e la realizzazione di una nuova tessitura muraria con nuovi elementi;
 - Consolidamento superficiale: mira solo a ripristinare la coesione di materiali in decomposizione, consentendo loro di affrontare l'ambiente con migliori possibilità di sopravvivenza;

- Protezione dell'acqua: utilizzo di particolari prodotti idrofobici per la protezione delle superfici;
- Pulizia: può avvenire con acqua, impacchi, interventi meccanici e tramite laser;
- Interventi strutturali come:
 - Diatoni artificiali: predisposizione di diatoni artificiali che conferiscano il collegamento tra i paramenti murari, evitando il distacco di uno di essi o l'innescò di fenomeni di instabilità per compressione;
 - Catene: per bloccare l'innescò di cinematismi, o per contrastare la spinta esercitata da orizzontamenti spingenti;
 - Etc ...