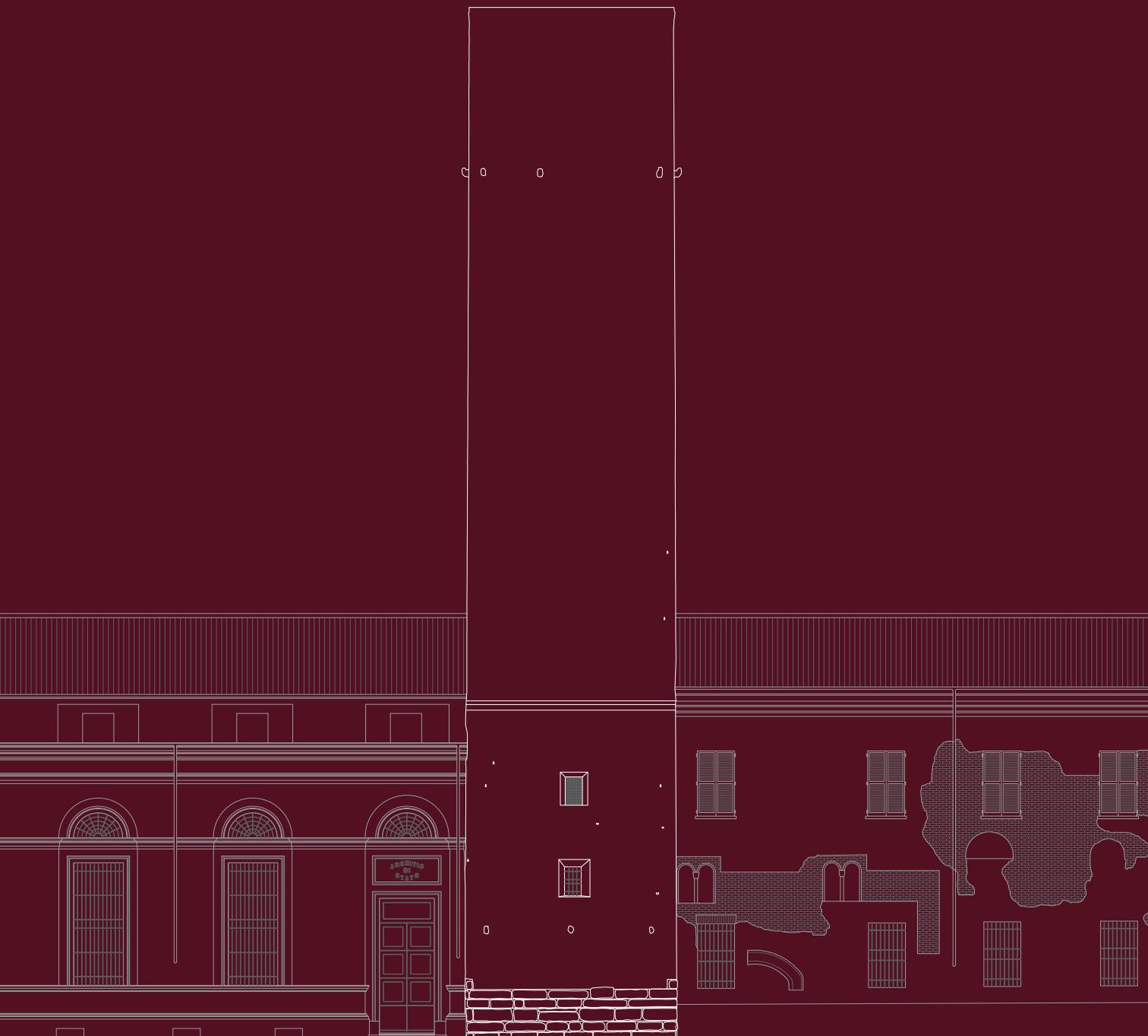


Progetto diagnostico per la conservazione di un edificio storico
LA TORRE DEI GAMBULINI A MANTOVA

Diagnostic project for the preservation of an historical building
GAMBULINI'S TOWER IN MANTOVA





POLITECNICO
MILANO 1863

Scuola di Architettura Urbanistica Ingegneria delle Costruzioni
Corso di laurea in Architectural Design and History
Polo territoriale di Mantova
a.a 2020-2021

Progetto diagnostico per la conservazione di un edificio storico

LA TORRE DEI GAMBULINI A MANTOVA

Diagnostic project for the preservation of an historical building

GAMBULINI'S TOWER IN MANTOVA

RELATORE

Prof.ssa. Antonella Elide Saisi

CANDIDATO

Annachiara Gualtieri 942045

Sessione di Laurea
27 Aprile 2022

Abstract	9
CHAPTER 1: The historical-archival investigation	
1.1 _ MANTOVA FORTIFIED CITY: THE ROLE OF THE TOWERS	13
1.2 _ THE GAMBULINI's TOWER	25
1.3 _ THE HISTORICAL EVENTS	30
CHAPTER 2: The geometric survey	
2.1 _ THE SURVEY PROJECT	75
2.2 _ THE PHOTOGRAMMETRIC AND LASER SCANNER SURVEY OF THE TOWER	84
2.3 _ THE GEOMETRIC SURVEY OF THE TOWER: CONSIDERATIONS	116
CHAPTER 3: The investigation of the masonry	
3.1 _ THE DIAGNOSTIC SURVEY PROJECT	127
3.2 _ THE INVESTIGATIONS OF THE '90s	141
3.3 _ A NEW INVESTIGATION PROJECT: IN-DEPTH HYPOTHESIS	162
CHAPTER 4: The constructive and structural investigation	
4.1 _ METHOD AND PURPOSES OF THE STRUCTURAL INTERVENTION IN HISTORICAL BUILDINGS	179
4.2 _ THE ASSESSMENTS ON THE STRUCTURE	186
4.3 _ IDENTIFICATION OF CRITICALITIES: ANALYSIS OF SEISMIC VULNERABILITY (LV1)	201
CHAPTER 5: The preservation and structural consolidation intervention	
5.1 _ THE PRESERVATION AND CONSOLIDATION PROJECT	235
5.2 _ THE PRESERVATION AND PROTECTION PROJECT OF THE 1990s	252
5.3 _ A PRESERVATION AND STRUCTURAL CONSOLIDATION PROJECT FOR THE TOWER	255
CHAPTER 6: The reuse project	
6.1 _ THE RESTORATION AND REUSE PROJECT ON THE ARCHITECTURAL HERITAGE	275
6.2 _ EXAMPLES OF REUSE OF MEDIEVAL TOWERS	279
6.3 _ A REUSE PROJECT FOR THE GAMBULINI's TOWER	295
Sources	318

"E' nella loro imperitura testimonianza di fronte agli uomini, nel loro placido contrasto col carattere transitorio di tutte le cose, in quella forza che, attraverso lo scorrere delle stagioni, delle età, e il declino e il sorgere delle dinastie, e il mutare del volto della terra e dei limiti del mare, mantiene la sua bellezza scultorea per un tempo insormontabile, congiunge epoche dimenticate alle epoche che seguono, e quasi costituisce l'identità delle nazioni, così come ne attrae su di sè le simpatie. E' in quella dorata patina del tempo che dobbiamo cercare la vera luce, il vero colore e la vera preziosità dell'architettura."

John Ruskin, Aforisma 30,
"The Seven Lamps of Architecture"

Mai come oggi a mio parere, l'architettura può prescindere dal rapportarsi con la preesistenza. Che si tratti di progettazione, di adeguamento o di conservazione, il compito dell'architetto è quello di trovare una soluzione che risponda alle esigenze del presente rispettando ciò che il tempo ha portato fino a noi quale "*imperitura testimonianza*" di ciò che è stato. Un qualunque tipo di approccio alla preesistenza presuppone tuttavia il raggiungimento di una conoscenza approfondita del manufatto, che ne ricostruisca esaustivamente ogni aspetto della storia e dello stato di fatto, in modo da elaborarne un intervento che risulti il più possibile appropriato e ne eviti irreparabili perdite.

Obiettivo di questa ricerca è dunque fornire un metodo di approccio alla preesistenza che sia ripetibile nelle fasi e nei metodi e che per quanto variabile alle specificità di ogni singolo caso assicuri una conoscenza sufficientemente esaustiva del bene. Partendo dalle competenze acquisite durante la mia esperienza universitaria e dai miei ambiti di interesse, ho voluto applicare il metodo di lavoro appreso ad un caso studio ad oggi poco indagato ma a mio parere molto interessante per la storia della città di Mantova: la Torre dei Gambulini.

Il progetto di indagine diagnostica è cominciato con la ricerca storico-critica presso l'*Archivio di Stato di Mantova* volta alla conoscenza degli interventi e dei cambi d'uso subiti, inevitabili fonti di trasformazione della fabbrica. A questa prima fase è seguita la realizzazione del rilievo del manufatto tramite il supporto di fotogrammetria con drone e laser scanner, che hanno permesso di ottenere precise informazioni sulla Torre sia dal punto di vista geometrico che materico. Le indagini sulla qualità muraria e strutturale che ne sono conseguite, focalizzate all'individuazione di eventuali stati di degrado e di vulnerabilità sismica, sono state la necessaria premessa alla stesura di un adeguato progetto di conservazione e consolidamento strutturale, che arrestasse e risolvesse l'inevitabile processo di deterioramento dell'edificio. Infine, partendo dalla convinzione che l'utilizzo del bene sia un presupposto fondamentale alla sua trasmissibilità nel tempo, il progetto si è concluso con una proposta di adeguamento e riuso per la Torre, da anni in disuso, volto alla predisposizione di una terrazza panoramica sulla città accessibile al pubblico.

Never more than today in my opinion has architecture been able to do without relating to the pre-existence. Whether it is design, adaptation or conservation, the architect's task is to find a solution that meets the needs of the present while respecting what time has brought to us as an "*undying testimony*" of what has been. However, any type of approach to pre-existence presupposes the achievement of an in-depth knowledge of the artefact, which comprehensively reconstructs every aspect of its history and current state, in order to develop an intervention that is as appropriate as possible and avoids irreparable losses.

The aim of this research is therefore to provide a method of approaching the pre-existence that is repeatable in the phases and methods and which, although variable to the specifics of each individual case, ensures a sufficiently exhaustive knowledge of the property. Starting from the skills acquired during my university experience and from my fields of interest, I wanted to apply the working method learned to a case study that is not yet investigated but in my opinion very interesting for the history of the city of Mantova: the Gambulini Tower.

The diagnostic investigation project began with historical-critical research at the *Archivio di Stato di Mantova* aimed at learning about the interventions and changes in use suffered, inevitable sources of transformation of the building. This first phase was followed by the realization of the survey of the artefact through the support of photogrammetry with drone and laser scanner, which allowed to obtain precise informations both from a geometric and material point of view. The resulting investigations on the masonry and structural quality, focused on identifying any states of degradation and seismic vulnerability, were the necessary premise for the drafting of an adequate conservation and structural consolidation project, which would stop and resolve the inevitable deterioration process of the structure. At the end, starting from the belief that the use of the property is a fundamental prerequisite for its transmissibility over time, the project ended with a proposal for adaptation and reuse for the Tower, which has been in disuse for years, aimed at preparing a panoramic terrace on the city accessible to the public.



the historical-archival investigation



J. C. Leopold, "View of Mantova", XVIII century

1.1 _ MANTOVA CITTA' FORTIFICATA: IL RUOLO DELLE TORRI

La città di Mantova, e più in generale la provincia di cui fa parte, presenta numerose costruzioni militari Medievali: fortificazioni, castelli e torri la caratterizzavano in tutto il suo territorio ed in particolare ai confini con altri ducati e signorie. Il territorio mantovano, in vari periodi storici, è stato una zona strategica dal punto di vista militare sia per la sua posizione geografica, trovandosi ad essere terra di confine, sia per le condizioni idrologiche naturali del luogo tra il Po, il Mincio, il Secchia e i numerosi canali. Le rappresentazioni cartografiche del territorio dal XV secolo testimoniano la presenza di un diffuso sistema di fortificazioni e strutture difensive destinate al controllo del territorio, distribuite nella provincia in modo uniforme, ma oggi in buona parte distrutte e scomparse. I segni di questa presenza sopravvivono nella toponomastica o nell'organizzazione del tessuto urbano¹.

Molti di questi esempi derivano dal "castrum" Romano, opere difensive poste in punti strategici del proprio territorio. Quelli mantovani, in particolare, furono i cosiddetti *Castra fortilia*, costruiti alle frontiere dello stato quali fortificazioni di sbarramento, volti a dare l'allarme e fungere da prima difesa agli attacchi, sia che il pericolo fosse un

1.1 _ MANTUA FORTIFIED CITY: THE ROLE OF THE TOWER

The city of Mantua, and more generally the province to which it belongs, has numerous medieval military constructions: fortifications, castles and towers characterized it throughout its territory and in particular on the borders with other duchies and lordships. The Mantuan territory, in various historical periods, has been a strategic area from a military point of view both for its geographical position, being a borderland, and for the natural hydrological conditions of the place between the Po, the Mincio, the Secchia and the numerous channels. The cartographic representations of the territory from the fifteenth century testify to the presence of a widespread system of fortifications and defensive structures intended for the control of the territory, distributed in the province in a uniform way, but today largely destroyed and disappeared. The signs of this presence survive in the toponymy or in the organization of the urban fabric¹.

Many of these examples derive from the Roman "castrum", defensive works placed in strategic points of their territory. The Mantuan ones, in particular, were the so-called *Castra fortilia*, built at the borders of the state as barrage fortifications, aimed at raising the alarm and acting as a first defense

1. A. Saisi, S. Terenzoni, "Architetture fortificate nel mantovano: gli effetti del terremoto del 2012" in *Castellum*, Roma-Castel Sant'Angelo, 2014

effettivo attacco di milizia armata nemica, sia che il pericolo consistesse in acque straripanti che avrebbero distrutto, anche se in maniera differente, tutto ciò che la popolazione possedeva. Conseguenza diretta fu per le signorie che succedettero al dominio romano erigere direttamente sui *Castra* esistenti i propri castelli e le proprie corti: essi dovevano fungere prima di tutto da residenze ma anche e soprattutto da luoghi di difesa dai possibili attacchi nemici e dalle eventuali rivolte del proprio stesso popolo. Per costruire queste fortezze furono chiamati a Mantova abili e rinomati artisti dell'ingegneria militare provenienti da tutta l'Italia, tra i quali occorre menzionare il *Beccaguto* (che si occupò della progettazione delle mura della città, con relativo baluardo da quadrio, fino alla zona di Porta Pusterla), e il *Leonbruno* (incaricato dal marchese Federico Gonzaga di occuparsi del rinnovamento del Castello di San Giorgio). Alla morte del Beccaguto fu chiamato a ricoprire il suo incarico l'ingegnere militare *Capino* (che si occupò della costruzione del bastione a ponente di Porta Pusterla). Altro importante costruttore di fortificazioni gonzaghesche per la città fu *Bartolino da Novara*, chiamato a corte da Francesco Gonzaga per erigere il Castello di San Giorgio, costruito sulla sponda del lago e contiguo al Palazzo Ducale, per alloggiare per più di mezzo secolo truppe e servitù di corte ed essere poi convertito da Lodovico Gonzaga intorno alla metà del '500 in dimora lussuosa². Tali costruzioni,

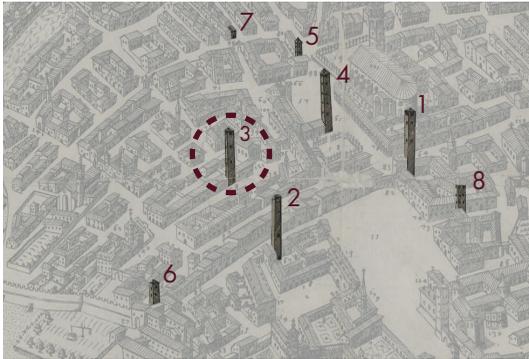
against attacks, whether the danger was an actual attack by an enemy armed militia, or that the danger consisted in overflowing waters that would have destroyed, albeit in a different way, everything that the population possessed. A direct consequence was for the lords that succeeded the Roman dominion to erect their castles and courts directly on the existing *Castra*: they had to act first of all as residences but also and above all as places of defense from possible enemy attacks and from any revolts of their own same people. To build these fortresses, skilled and renowned artists of military engineering from all over Italy were called to Mantua, among which we must mention Beccaguto (who was responsible for the design of the city walls, with relative bastion from quadrio, up to the di Porta Pusterla), and Leonbruno (commissioned by the Marquis Federico Gonzaga to take care of the renovation of the Castle of San Giorgio). On the death of Beccaguto, the military engineer Capino (who took care of the construction of the bastion to the west of Porta Pusterla) was called to fill his post. Another important builder of Gonzaga fortifications for the city was Bartolino da Novara, called to court by Francesco Gonzaga to erect the Castle of San Giorgio, built on the shore of the lake and adjacent to the Palazzo Ducale, to house troops and servants of court and then be converted by Lodovico Gonzaga around the middle of the 16th century into a luxurious residence².

infatti, erette prima di tutto per la guerra, non servivano solo a scopi bellici, ma potevano accogliere proprietari ed ospiti per lunghi soggiorni qualora ci si volesse allontanare periodicamente dalle proprie residenze fisse; o ancora, fungere da rifugi quando nei centri abitati imperversavano pericolose epidemie o minacce di qualunque tipo. Non si può parlare di edilizia militare senza fare cenno anche alle torri, distinguibili in torri puramente difensive e case-torri, che hanno svolto un ruolo fondamentale all'interno dell'edilizia militare del medioevo e che ancora oggi svettano tra gli altri edifici dei centri storici quale testimonianza del ruolo che le famiglie di appartenenza avevano all'interno del panorama politico cittadino durante il periodo comunale.

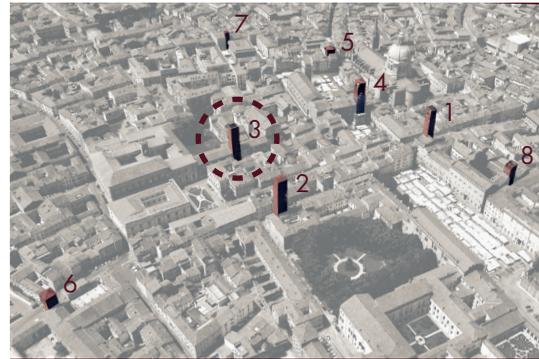
L'elemento della torre in particolare ha da sempre caratterizzato la fisionomia di Mantova, che è ancora oggi una città ricca di questa tipologia di architettura militare, che ne testimonia il passato storico e nobiliare e che ne rende il profilo altamente riconoscibile dal Ponte di San Giorgio. Le principali torri di epoca comunale che si possono ammirare pressochè integre ancora oggi per i vicoli del centro sono: la Torre della Gabbia (la più alta della città con i suoi 55 metri), la Torre degli Zuccaro (42m), la Torre dei Gambulini (di cui ci si occuperà in maniera approfondita, la terza più alta con i suoi 37m), la Torre delle

These buildings, in fact, erected first of all for the war, were not only used for war purposes, but could accommodate owners and guests for long stays if one wanted to periodically leave one's permanent residences; or again, to act as shelters when dangerous epidemics or threats of any kind raged in the inhabited centers. We cannot speak of military construction without also mentioning the towers, distinguishable in purely defensive towers and tower-houses, which played a fundamental role within the military construction of the Middle Ages and which still stand out among the other buildings of the centers historical evidence of the role that the families to which they belonged had within the political panorama of the city during the municipal period.

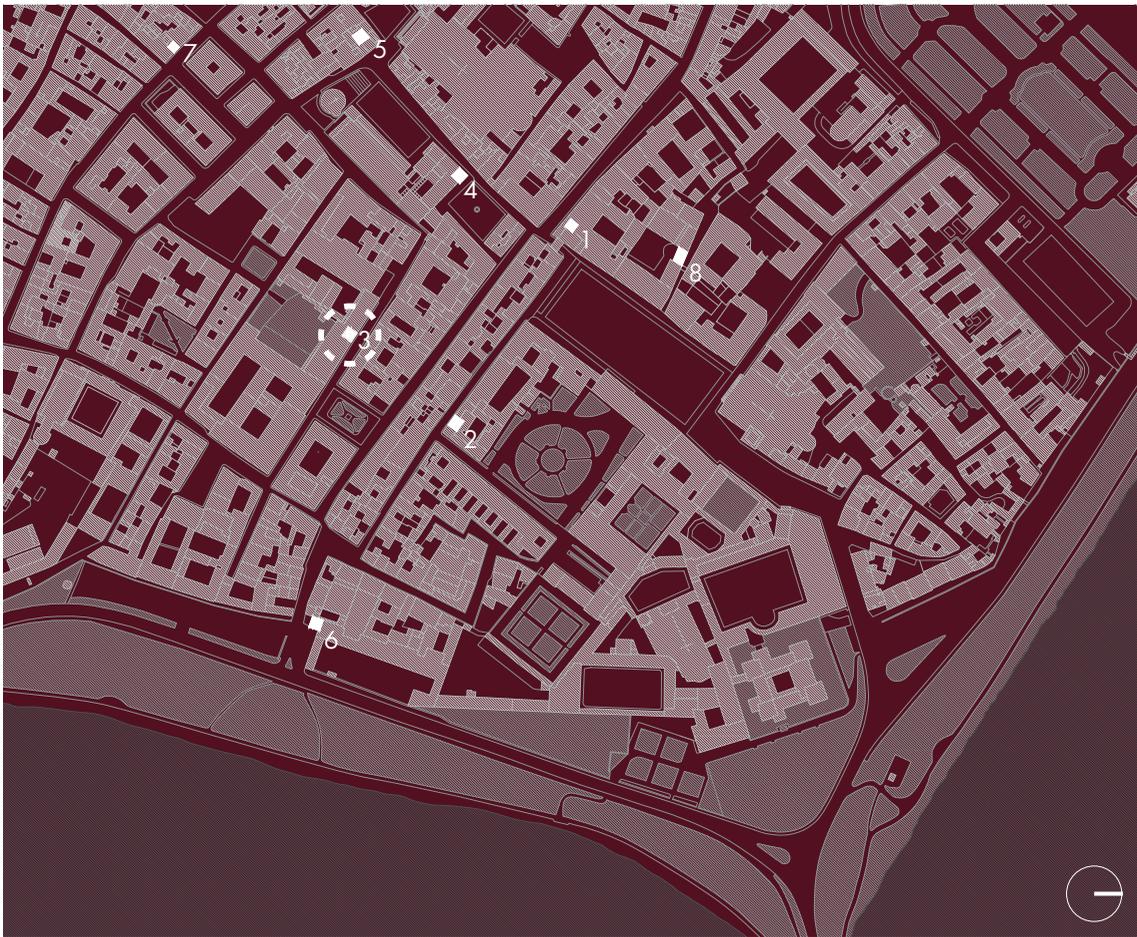
The tower element in particular has always characterized the physiognomy of Mantua, which is still today a city rich in this type of military architecture, which testifies to its historical and noble past and which makes its profile highly recognizable from the Ponte di San Giorgio. The main towers of the municipal era that can be admired almost intact still today for the alleys of the center are: the Tower della Gabbia (the highest in the city with its 55 meters), the Tower degli Zuccaro (42m), the Tower of Gambulini (which we will deal with in depth, the third highest with its 37m), the Tower delle Ore or Torre Civica



Estratto vista prospettica del Bertazzolo, 1628



Vista aerea su Mantova, 2022



Ore o Torre Civica del Palazzo del Podestà (32m), la Torre del Salaro (30m), la Torre di Sant'Alò o Torre Nuova (20m) , la casa Torre dei Boatieri (15m) e quella Bonacolsi. Di un'altra decina di torri di epoca comunale che arricchivano la città e che nei secoli sono andate distrutte invece rimane solo testimonianza nei documenti storici.

Nell'XI secolo, la funzione svolta da una torre oltre ad essere di tipo militare, a difesa e presidio del territorio, era anche quella di simbolo della presenza di ricche famiglie di nobili. L'altezza della torre acquisisce dunque un duplice significato: in funzione di difesa serve a potenziare la distanza degli aggressori, ed ai Signori a dimostrare il proprio potere e la propria influenza politica ed economica sulla città.

Lo sviluppo della città fortificata

Per tradizione si ritiene che il primo insediamento urbano nella zona dell'odierna città di Mantova sia di **origine Etrusca**, sebbene di questo nucleo non permangano tracce architettoniche né archeologiche di riguardo. La presenza di un **nucleo romano** al contrario è attestata non soltanto dalle fonti ma anche da reperti archeologici che hanno confermato tale teoria. L'*oppidum romani*, la città fortificata di cui parlano le fonti tuttavia non è riconoscibile, tanto che l'estensione e la collocazione della prima città fortificata viene differentemente localizzata dai vari studiosi che si sono occupati di questo tema. Una tra le più

del Palazzo del Podestà (32m), the Tower del Salaro (30m), the Tower di Sant'Alò or Tower Nuova (20m), the Tower dei Boatieri house (15m) and the Bonacolsi house. Of a dozen other municipal-era towers that enriched the city and that have been destroyed over the centuries, only evidence remains in historical documents.

In the 11th century, the function performed by a tower in addition to being of a military type, in defense and garrison of the territory, was also to represent a sign of development and be a symbol of the presence of rich noble families. The height of the tower therefore acquires a double meaning: when it performs a defense function it serves to enhance the distance of the attackers, and for the Lords it serves to demonstrate their power and their political and economic influence on the city.

The development of the fortified city

Traditionally it is believed that the first urban settlement in the area of today's city of Mantua is of **Etruscan origin**, although no significant architectural or archaeological traces remain of this nucleus. The presence of a **Roman nucleus** on the contrary is attested not only by the sources but also by archaeological finds that have confirmed this theory. The *oppidum Romani*, the fortified city of which the sources speak, however, is not recognizable, so much so that the extension and location of the first fortified city is differently localized by the various scholars who have dealt with this topic. One of the

accreditate vede l'attuale Piazza Sordello, anche sito più elevato dell'organismo urbano, quale possibile nucleo più antico della città storica. Nell'evoluzione della città un ruolo fondamentale è stato inevitabilmente svolto dalla natura del sito, altamente influenzato dalla presenza del fiume Mincio, che qui assume una conformazione quasi lacustre.

La **prima cerchia** di mura fu eretta in epoca romana e utilizzata fino all'edificazione delle successive cerchie. La prima cinta muraria si estende a Nord_Ovest lungo l'asse dell'attuale via Montanari e a Sud_Ovest adiacente l'odierna via Accademia. Sugli altri fronti la città è delimitata dal lago, senza necessitare di un'ulteriore difesa. Le mura ed il corso del Mincio in maniera differente ma collaborativa proteggevano dunque la *Civitas Vetus Mantuae*, il più antico nucleo della città storica. Oltre quest'ultima, fino all'avvallamento nel quale successivamente si sarebbe alloggiato il Rio, si estende il *suburbio*, zona di progressiva estensione della città.

Al 1190 risalgono gli interventi idraulici dell'ingegnere Alberto Pitentino che con una complessa operazione fu in grado di regolamentare il sistema idrico del Mincio in corrispondenza del nucleo urbano di Mantova. Nello stesso periodo si attua anche l'ampliamento della città, a seguito probabilmente dell'ingente incremento demografico della città comunale. Il **nuovo perimetro (seconda cerchia)** della città

most accredited sees the current Piazza Sordello, also the highest site of the urban organism, as the possible oldest nucleus of the historic city. In the evolution of the city, a fundamental role was inevitably played by the nature of the site, highly influenced by the presence of the Mincio river, which here assumes an almost lacustrine conformation.

The **first circle of walls** was built in Roman times and used until the subsequent circles were built. The first wall extends north-west along the axis of the current via Montanari and south-west adjacent to today's via Accademia. On the other fronts the city is bordered by the lake, without requiring further defense. The walls and the course of the Mincio in a different but collaborative way therefore protected the *Civitas Vetus Mantuae*, the oldest nucleus of the historic city. Beyond the latter, up to the hollow in which the Rio would subsequently be housed, the *suburbio* extends, an area of progressive extension of the city.

The hydraulic interventions of the engineer Alberto Pitentino date back to 1190 who, having landed in Mantua, with a complex operation he was able to regulate the water system of the Mincio in correspondence with the urban nucleus of Mantua. In the same period, the expansion of the city also took place, probably following the huge demographic increase of the municipal city. The **new perimeter (second walls)** of the enlarged city is bordered to the South West

ampliata è delimitato a Sud_Ovest dal canale artificiale del Rio, opera del Pitentino. Non ci sono fonti che attestino che su questo lato siano mai state erette fortificazioni murarie stabili. Nel corso del tardo periodo comunale, sotto la presa di potere dei Bonacolsi, il reticolo viario assume la sua definitiva conformazione e il centro della vita cittadina si sposta dalla *Civitas Vetus* alla città nuova, nella quale presero forma le piazze della città comunale, luogo delle attività politiche, amministrative ed economiche della Mantova comunale.

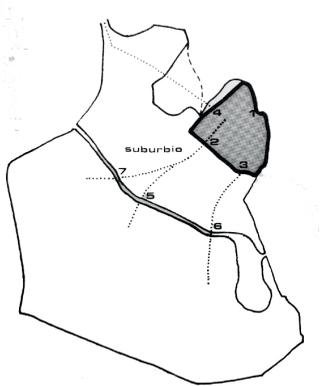
Come accade in molti centri in epoca post comunale, Mantova vede progressivamente l'affermazione di un potente ceto aristocratico e, di conseguenza, una rilevante attività nell'ambito dell'edilizia privata residenziale. E' a questo periodo che risalgono le Torri medievali aggiunte alla cerchia, fatte erigere dalle più influenti famiglie della città a scopo difensivo o talvolta anche residenziale. Certo è che esse fungessero prima di tutto simbolicamente da testimonianza della maggiore o minore importanza della famiglia di appartenenza, simbolo sempre visibile agli occhi dei cittadini e di chiunque osservasse la città dall'esterno. Davari³ ha provveduto a precisare, con qualche approssimazione, la collocazione delle residenze delle principali famiglie nobili attive a Mantova in quegli

by the artificial canal of the Rio, a work of Pitentino. There are no sources attesting that stable wall fortifications have ever been erected on this side. During the late municipal period, under the takeover of the Bonacolsi, the road network assumed its definitive shape and the center of city life moved from *Civitas Vetus* to the new city, in which the squares of the municipal city took shape, place of political, administrative and economic activities of the municipal Mantua.

As happens in many centers in the post-municipal era, Mantua gradually sees the affirmation of a powerful aristocratic class and, consequently, a significant activity in the field of private residential construction. The medieval towers added to the circle date back to this period and were erected by the most influential families of the city for defensive or sometimes even residential purposes. What is certain is that, as mentioned, they acted first of all symbolically as a testimony of the greater or lesser importance of the family they belong to, a symbol that is always visible in the eyes of citizens and anyone who observed the city from the outside.

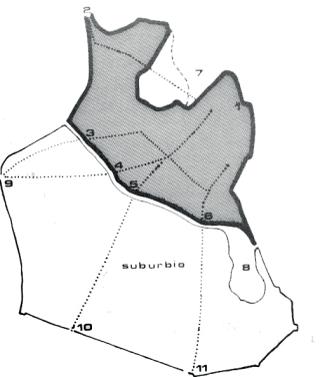
Davari³ has provided to specify, with some approximation, the location of the residences of the main active noble families in Mantua in those years. Among these, some chose to create their own homes inside towers which,

3. S. Davari, *Notizie storiche topografiche della città di Mantova nei secoli XII-XIV e XV*, Archivio Storico Lombardo, 1897, ristampe 1903 e 1975



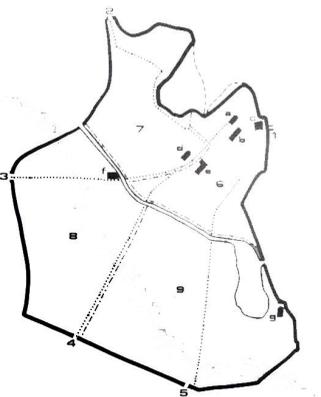
Mantova. Estensione della città della prima cerchia con il relativo suburbio, secc XI-XII

1. Porta di Guglielmo
2. Porta di San Pietro
3. Porta di San Damiano
4. Porta del Vescovado
5. Porta del Monticello
6. Porta dell'ospedale
7. Porta delle Quattro Porte



Mantova. Estensione della città della seconda cerchia con il relativo suburbio, secc XIII-XIV

1. Porta di Guglielmo
2. Porta dei Mulini
3. Porta Nuova
4. Porta Leona
5. Porta dei Monticelli
6. Porta degli Arlotti
7. Porto dell'Ancona
8. Porto della Catena
9. Porta dell'Acquadrucio
10. Porta di San Marco
11. Porta dei Folli



Mantova. Estensione della città della terza cerchia, dal 1401, con i limiti dei quattro quartieri.

1. Porta di San Giorgio
2. Porta Mulina
3. Porta Pradella
4. Porta della Pusterla
5. Porta di Cerese
6. Quartiere di San Pietro
7. Quartiere di Sant'Andrea
8. Quartiere di San Giacomo
9. Quartiere di San Nicolò

anni. Tra questi, alcuni scelsero di ricavare la propria abitazione proprio all'interno di torri che, da elementi realizzati a puro scopo difensivo, iniziarono ad assumere anche la funzione di residenze. È questo il caso della nobile famiglia dei Gambulini, che nel 1226 abitarono proprio nell'omonima casa-torre, tuttora esistente, e conosciuta per l'appunto, tra le varie denominazioni che l'hanno contraddistinta, come Torre dei Gambulini in via Ardigò⁴.

La **terza cerchia** della città risale al 1401, quando Francesco I Gonzaga attua una nuova ripartizione di Mantova per quartieri, con un conseguente ampliamento della città dal Rio fino al *terraglio*. Con un'ordinanza la città viene divisa in quattro quartieri, ognuno dei quali frazionato a sua volta in cinque rioni, contraddistinti da insegne: **Quartiere di San Pietro** (di cui faceva parte anche la Torre dei Gambulini), Quartiere di Sant'Andrea, Quartiere di San Giacomo e Quaritere di San Nicolò. Fra il 1395 e il 1406 viene eretto, nell'area Nord Orientale della *Civitas Vetus*, su progetto dell'architetto militare Bartolino da Novara, il Castello di San Giorgio: un poderoso organismo architettonico a pianta quadrilatera con torrioni angolari, con funzione prettamente militare, che andò a completare l'impianto difensivo della città.

from elements built for purely defensive purposes, also began to take on the function of residences. This is the case of the noble Gambulini family, who in 1226 lived in the tower-house of the same name, which still exists today, and is known precisely, among the various denominations that have distinguished it, as Torre dei Gambulini in via Ardigò⁴.

The **third walls circle** of the city dates back to 1401, when Francesco I Gonzaga implements a new division of Mantua by districts, with a consequent expansion of the city from the Rio to the *terraglio*. With an ordinance, the city is divided into four districts, each of which in turn divided into five districts, distinguished by signs: **Quartiere di San Pietro** (which also included the Torre dei Gambulini), Quartiere di Sant'Andrea, Quartiere of San Giacomo and Quaritere of San Nicolò. Between 1395 and 1406, the Castle of San Giorgio was erected in the North Eastern area of the *Civitas Vetus*, based on a project by the military architect Bartolino da Novara: a mighty architectural structure with a quadrilateral plan with corner towers, with a purely military function, which completed the defensive system of the city.

The idea of erecting a new walled enclosure around the city most likely dates back to the period of the Marquis Francesco II Gonzaga.

4. S. Davari, *Notizie storiche topografiche della città di Mantova nei secoli XII-XIV e XV*, Archivio Storico Lombardo, 1897, ristampe 1903 e 1975

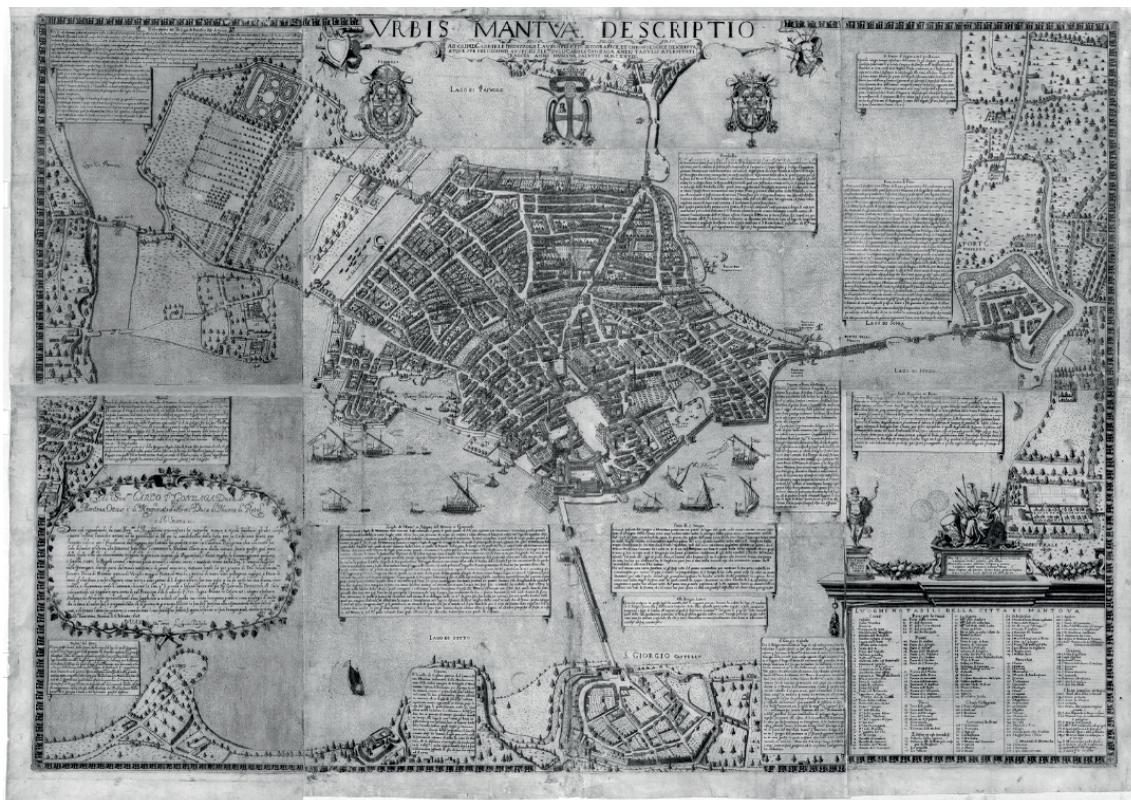
L'idea di erigere una nuova cinta murata intorno alla città risale molto probabilmente al periodo del marchese Francesco II Gonzaga. L'operazione prende piede sotto la guida dell'ingegnere militare Alessio Beccaguto a partire dal 1519. Inizialmente è probabile si pensasse di estendere il progetto a tutto il perimetro della città, che non fu mai integralmente attuato. Osservando la veduta prospettica della città realizzata da Gabriele Bertazzolo nel 1628 si può notare come sussistessero tre diverse tipologie di fortificazione:

1. Merlate e prive di bastioni, tutt'intorno alla città ad eccezione del lato Est e della Reggia Gonzaghesca, superstiti dell'opera di fortificazione trecentesca.
2. Non merlate con baluardi circolari, fatte costruire dal Beccaguto agli inizi del '500
3. Non merlate con bastioni poligonali, fatte costruire da Capino dopo la morte del Beccaguto, rispettando le nuove esigenze dovute all'uso delle armi da fuoco⁵.

Starting around 1519, the operation took off under the guidance of the military engineer Alessio Beccaguto. Initially it is very likely that the project was to be extended to the entire perimeter of the city, which was never fully implemented. Observing the perspective view of the city made by Gabriele Bertazzolo in 1628 it can be seen that there were three different types of fortification:

1. Crenellated and without bastions, all around the city with the exception of the east side and the Reggia Gonzaghesca, survivors of the fourteenth-century fortification.
2. Not crenellated with circular bulwarks, built by Beccaguto in the early 1500s
3. Not embattled with polygonal bastions, built by Capino after the death of Beccaguto, respecting the new requirements due to the use of firearms⁵.

5. P. Carpeggiani, I. Pagliari, *Mantova, Materiali per la storia urbana dalle origini all'Ottocento*, 1983.



G. Bertazzolo, "Urbis Mantuae Descriptio", 1628



Torre dei Gambulini di Mantova

1.2 _ LA TORRE DEI GAMBULINI

Tra le torri di origine medievale che caratterizzano ancora oggi la morfologia della città si distingue tra le altre grazie all'altezza rilevante ed al buono stato di conservazione la *Torre dei Gambulini*. Conosciuta nel corso dei secoli anche con il nome di *Torre della Santissima Trinità* o *Torre dei Gesuiti* o *Torre del Telegrafo*, è un manufatto medievale annesso all'Archivio di Stato di Mantova, che, assieme alle altre torri pervenute fino ai giorni nostri, è testimonianza ancora integra dell'epoca medievale della città. Sebbene permanga ancora pressochè intatta a caratterizzare il profilo della città, senza aver mai subito consistenti modifiche che ne abbiano alterato l'aspetto, è certo che negli anni abbia perso il ruolo di rilievo che nel tempo ha ricoperto. Ad oggi non è infatti accessibile al pubblico a causa della mancanza di un adeguato sistema di risalita, che le permetterebbe sicuramente di rientrare nel circuito turistico della città quale punto di rilievo storico, né ospita una funzione definita che ne assicuri il controllo e la manutenzione. Da anni ci si interroga su questo tema e sulla possibilità di restituirle un ruolo all'interno della città, che per secoli ne ha usufruito sia quale elemento difensivo che, come si è detto, quale abitazione nobile della famiglia che le ha dato il nome con cui ancora oggi è maggiormente conosciuta. Tra le varie proposte, la più accreditata risulta essere quella di realizzarsi sulla sommità una terrazza panoramica, sempre fruibile ai

1.2 _ THE GAMBULINI's TOWER

Among the towers of medieval origin that still characterize the morphology of the city today, the *Gambulini Tower* stands out among others thanks to its significant height and good state of conservation. Known over the centuries also with the name of *Tower of the Holy Trinity* or *Tower of the Jesuits* or *Tower of the Telegraph*, it is a medieval artifact annexed to the State Archives of Mantua, which, together with the other towers surviving up to the present day, is testimony still intact from the medieval era of the city. Although it still remains almost intact to characterize the profile of the city, without ever having undergone significant changes that have altered its appearance, it is certain that over the years it has lost the important role it has played over time. To date, it is not accessible to the public due to the lack of an adequate lift system, which would certainly allow it to re-enter the tourist circuit of the city as a point of historical importance, nor does it host a defined function that ensures its control and maintenance. For years we have been wondering about this theme and about the possibility of giving it back a role within the city, which for centuries has used it both as a defensive element and, as we have said, as a noble residence of the family that gave it its name with which is still best known today. Among the various proposals, the most accredited is to create a panoramic terrace on the top, always accessible to citizens and tourists, which would allow you to have a

cittadini ed ai turisti, che permetterebbe di avere una vista dall'alto del centro storico. Con i suoi 37 metri di altezza, infatti, insieme alla Torre della Gabbia e a quella degli Zuccaro, si annovera tra le tre più alte della città ancora esistenti.

La datazione della Torre non è certa; Davari⁶ riporta documenti che attesterebbero la sua esistenza dalla fine del 1200. Tuttavia, da considerazioni costruttive, come la presenza di mensole in marmo infisse nella parte superiore, testimonianza della presenza di un ballatoio esterno, portano il Marani ad attribuire la costruzione già alla fine del XII secolo ⁷. La Torre, che nei secoli ha subito numerosi passaggi di proprietà e conseguentemente ha acquisito diverse denominazioni, prende il nome dalla famiglia dei *Gambulini*, la prima di cui si riconosce essere stata con certezza di proprietà; l'edificio passò poi alla famiglia dei *Ripalta*. La proprietà della torre passò successivamente ai *Bonaventura de Oculo* per giungere infine, nel 1289, ai *Gonzaga*, all'epoca non ancora signori di Mantova, che ne mantennero la proprietà fino al XVI secolo, quando la vendettero al ricco mercante Costa; quest'ultimo la tenne in proprietà solo pochi anni, per poi venderla a sua volta ai Gesuiti (dai quali prese la sua

view of the historic center from above. With its 37 meters high, in fact, together with the *Torre della Gabbia* and that of the *Zuccaro*, it is among the three highest still existing in the city.

The dating of the Tower is not certain; Davari⁶ reports documents that attest to its existence since the end of 1200. However, from considerations construction, such as the presence of marble shelves stuck in the upper part, evidence of the presence of an external balcony, lead Marani to attribute the construction to the end of the 12th century ⁷. The Tower, which over the centuries has undergone numerous changes of ownership and consequently acquired various denominations, takes its name from the *Gambulini family*, the first of which is recognized to have been owned with certainty; the building then passed to the *Ripalta family*. The ownership of the tower subsequently passed to the *Bonaventura de Oculo family* and finally, in 1289, to the *Gonzagas*, not yet lords of Mantua at the time, who kept the property until the sixteenth century, when they sold it to the wealthy merchant Costa; the latter owned it for only a few years, and then sold it in turn to the Jesuits (from whom it took its second name) who established their college there, until the order was abolished

6. S. Davari, *Notizie storiche topografiche della città di Mantova nei secoli XII-XIV e XV*, Archivio Storico Lombardo, 1897, ristampe 1903 e 1975

7. E. Marani, *Vie e Piazze di Mantova. Analisi di un centro storico. Via Ardigò*, in "Civiltà Mantovana", Anno I, n°5, Settembre-Ottobre 1966

seconda denominazione) che vi insediarono il proprio collegio, fino alla soppressione dell'ordine alla fine del XVIII secolo quando fu ceduto agli Agostiniani. Tra il 1798 e il 1850, mentre gli edifici adiacenti divennero magazzino militare, la Torre fu utilizzata per l'impianto del telegrafo (da cui prese la sua terza denominazione). Dal 1883 è divenuto parte del complesso dell'Archivio di Stato di Mantova, di cui fa tutt'ora parte, sebbene non ne accolga più alcuna funzione.

Lo stato di fatto

La Torre ha pianta regolare di circa **7.70m** per lato, che si rastrema leggermente salendo verso l'alto. Presenta una muratura in laterizio che poggia su una parte basamentale in pietra, di spessore variabile pari a circa **2.50m**, e conseguente vano interno libero quadrato di circa **2.50m** per lato. In altezza raggiunge circa **37m** fuori terra, per proseguire poi con **6m** interrati a formarne le fondazioni ed allo stesso tempo a definirne uno spazio interrato, attualmente non accessibile. Il vano interno si divide in ulteriori 3 ambienti, tutti accessibili. La torre si divide dunque in **4 ambienti** totali: un interrato non accessibile alto circa 3.60m, un piano terra accessibile dal vano scale dell'archivio alto circa 4.30m, un piano rialzato accessibile dal primo piano dell'archivio alto circa 3.50m, e un vano che si estende unitariamente per 29.15m fino alla sommità. La presenza di **sostegni in pietra** nelle parte sommitale e basamentale fa presumere che

at the end of the 18th century when it was ceded to the Augustinians. Between 1798 and 1850, while the adjacent buildings became a military warehouse, the Tower was used for the telegraph system (from which it took its third name). From 1883 it became part of the complex of the State Archives of Mantua, of which it still belongs, although it no longer holds any function.

The current state

The Tower has a regular plan of about **7.70m** on each side, which tapers slightly as it rises upwards. It has brick masonry that rests on a stone base part, of variable thickness of about **2.50m**, and consequent free internal space of about **2.50m** per side. In height it reaches about **37m** above ground, to then continue with **6m** underground to form its foundations and at the same time to define an underground space, currently not accessible. The internal chimney is divided in 3 more spaces, all accessible. The tower is therefore divided into **4 total rooms**: a non-accessible basement about 3.60m high, a ground floor accessible from the stairwell of the archive about 4.30m high, a mezzanine floor accessible from the first floor of the high archive about 3.50m, and a room that extends together for 29.15m up to the top. The presence of **stone supports** in the lower and upper part suggests that some balconies connecting it to the adjacent buildings had to run all around it. The lower one, in

tutt'intorno dovessero correrle dei ballatoi di collegamento agli edifici adiacenti. Quello più in basso, in particolare, potrebbe essere stato il livello di accesso originale alla Torre, anche se non sussistono tracce di vecchie aperture tamponate nella muratura. Sebbene nelle incisioni storiche reperite essa venisse sempre rappresentata con un tetto a quadrupla falda, non permangono attualmente segni evidenti di quest'antica copertura.

Esternamente si presenta in apparente buono stato di conservazione. L'accessibilità alla copertura è oggi garantita dalla presenza, all'interno del vano centrale libero, di una serie di impalcati metallici tra loro collegati da un alternarsi di scalette a pioli poco agevoli che rendono l'accesso funzionale alle sole operazioni di manutenzione e pulizia. Al pubblico, come si è detto, non è infatti possibile accedere alla torre

Gli ultimi interventi consistenti di restauro sul manufatto risalgono alla fine degli anni '60 ed hanno provveduto alla sostituzione delle vecchie scale e dei ballatoi in legno con nuove scale e pianerottoli in metallo, ed al consolidamento della sommità per evitare l'eventuale caduta di pietre sulla via sottostante, molto frequentata soprattutto dai passanti.

Il manufatto è stato poi oggetto alla fine degli anni Ottanta, in occasione del Sesto Convegno Nazionale sul Riuso dei Castelli, da parte dell'allora Genio Civile, di indagini

particolar, could be the original level of the main entrance to the Tower, even if no traces about older apertures have been found in its masonry. On the South elevation is still clearly visible the trace of an old sundial that decorated the rear facade, as we can see in an old picture available in the adjacent Archivio di Stato. Although in the historical engravings found it was always represented with a four-pitched roof, there are currently no evident signs of this ancient coverage

Externally it is in an apparent good state of conservation. Accessibility to the roof is now guaranteed by the presence, inside the free central compartment, of a series of metal decks connected to each other by an alternation of difficult ladders that make access functional only for maintenance and cleaning operations. As already mentioned, the public cannot currently access the tower.

The last substantial restoration interventions on the building date back to the end of the 1960s and have provided for the replacement of the old wooden stairs and balconies with new metal stairs and landings, and the consolidation of the top to avoid any falling stones on the street below, very busy above all by the walkers.

At the end of the 1980s, on the occasion of the *Sixth National Convention on the Reuse of Castles*, the building was then subjected to geognostic surveys on the foundation soil, relief of the foundation sections, the stress state

geognostiche sul terreno di fondazione, di rilievo delle sezioni di fondazione, dello stato tensionale delle murature, nonché di analisi stratigrafiche e chimico fisiche sui materiali, che ne hanno constatato l'allora buono stato di conservazione. A seguito delle suddette indagini si è proceduto ad effettuare un progetto di restauro conservativo che potesse risolvere le problematiche riscontrate. Non si è trattato tuttavia di interventi particolarmente invasivi e modificatori dell'aspetto originale della Torre.

Nel 2011, su invito del comune e dell'Archivio di Stato di Mantova, la torre è stata oggetto di una proposta di riuso. Dopo averne redatto un quadro della storia e dello stato di fatto, si è proceduto a progettare la realizzazione di una terrazza panoramica sulla sommità, idea che tuttavia non è mai stata concretizzata. Si tratta comunque di un'ipotesi ormai promossa da diversi anni.

Il terremoto del 2012, al contrario di quanto si temesse per le sue strutture, ha causato la comparsa di lievi fessurazioni nelle murature di contatto tra la torre e gli ambienti dell'Archivio, sebbene i sopralluoghi effettuati abbiano confermato ancora una volta l'apparente stabilità delle strutture e dunque l'agibilità dell'edificio.

of the masonry, as well as stratigraphic and chemical-physical analyzes on the materials, which have ascertained the then good state of conservation. Following the aforementioned investigations, a conservative restoration project was carried out that could solve the problems encountered. However, these were not particularly invasive interventions and modifiers of the original appearance of the Tower.

In 2011, at the invitation of the municipality and the State Archives of Mantua, the tower was the subject of a proposal for reuse. After having drawn up a synthesis of its history and state of affairs, we proceeded to design the construction of a panoramic terrace on the top, an idea which, however, has never been realized. However, this is a hypothesis that has now been promoted for several years.

The 2012 earthquake, contrary to what was feared for its structures, caused the appearance of slight cracks in the contact walls between the tower and the rooms of the Archive, although the inspections carried out confirmed once again the apparent stability of the structures and therefore the usability of the building.

1.3 _ LE VICENDE STORICHE

La prima citazione della famiglia *Gambulini*/*Gambulinorum*, dalla quale la torre in oggetto prende il nome, risale al **1056** con Alberto de Gambulinis, il quale al momento, insieme ad Alfredo de Ugoncellis, ricopriva la carica di Sindaco e Procuratore del comune di Mantova. Si trattava di una famiglia molto antica e ricca, che tuttavia non risulta tra quelle poi state bandite dal comune, lasciando dedurre come essa non abbia mai partecipato attivamente alle diverse fazioni cittadine che si distinsero all'interno della città ⁸.

Contrariamente a quanto la sua denominazione potrebbe indurre a ritenere, la Torre non appartenne unicamente ai membri della famiglia di cui porta il nome. Per quanto essa venne eretta per iniziativa e su proprietà dei Gambulini, è vero anche che alla sua realizzazione parteciparono altri esponenti della società cittadina che di quella torre divennero 'consorti' detenendone quote proporzionatamente divise, si può presumere, in base al diverso impegno economico elargito per la sua costruzione. Si trattava di una sorta di 'società di torre', che univa esponenti di diverse famiglie i cui rapporti interni erano regolati da norme del

1.3 _ THE HISTORICAL EVENTS

The first mention of the *Gambulini* / *Gambulinorum* family, from which the tower in question takes its name, dates back to **1056** with Alberto de Gambulinis, who at the time, together with Alfredo de Ugoncellis, held the office of Mayor and Procurator of the municipality of Mantua. It was a very old and rich family, which, however, is not among those later banned by the municipality, suggesting that it never actively participated in the various city factions that distinguished themselves within the city. ⁸

Contrary to what its name might lead us to believe, the Tower did not belong solely to the members of the family whose name it bears. Although it was erected on the initiative and on the property of the Gambulini family, it is also true that other exponents of the city society participated in its construction, who became 'consorts' of that tower, holding proportionately divided shares, it can be assumed, based on the different economic commitment given. for its construction. It was a sort of 'tower company', which united members of different families whose internal relationships were governed by the rules of the consortium that were almost unknown to us ⁹.

8. S. Davari, *Notizie storiche topografiche della città di Mantova nei secoli XII-XIV e XV*, Archivio Storico Lombardo, 1897, ristampe 1903 e 1975

9. G. Gardoni, *Fra Torri e "Magnae Domus". Famiglie e spazi urbani a Mantova. Secoli XII-XIII*, Libreria Editrice, 2008)

consorzio a noi pressochè sconosciute ⁹.

Il primo reale riferimento ufficiale alla Torre dei Gambulini si fa risalire solo al 29 Febbraio del 1200, quando viene citata quale "turrim supra stratam" di proprietà della famiglia Gambulini. ¹⁰ Non è dato conoscere con esattezza in quale anno essa sia stata effettivamente costruita, l'aspetto murario ed il periodo di urbanizzazione che caratterizza il lotto sul quale si erge tuttavia, fanno dedurre che si tratti di una costruzione militare della fine XII secolo. Sebbene essa ed in particolare il suo intorno abbiano subito modifiche nel corso dei secoli, alcuni elementi ancora visibili e documenti rinvenuti permettono di farsi un'idea di come essa dovesse mostrarsi in origine. Le mensole di marmo che ancora sporgono nella parte sommitale fanno dedurre che su di esse poggiasse un ballatoio in legno che le girava tutt'attorno. Da un rogito notarile ¹¹ si evince che ai lati vi scorresse un portico, poi inglobato nei fabbricati costruiti in adiacenza ¹².

In tutte le incisioni storiche in cui compare ¹³, essa presenta una copertura a quadrupla falda, oggi non più esistente, e in una

The first real official reference to the Gambulini Tower dates back only to February 29th 1200, when it is mentioned as the "turrim supra stratam" owned by the Gambulini family ¹⁰. It is not known exactly in which year it was actually built, the wall aspect and the period of urbanization that characterizes the lot on which it stands, however, they suggest that it is a military construction from the end of the 12th century. Although it and in particular its surroundings have undergone changes over the centuries, some still visible elements and documents found allow you to get an idea of how it should have looked originally. The marble shelves that still protrude at the top suggest that a wooden balcony rested on them that ran all around them. From a notarial deed ¹¹ it is clear that a portico ran along the sides, which was then incorporated into the adjacent buildings ¹².

In all the historical engravings in which it appears ¹³, it presents a quadruple pitched roof, which no longer exists, and in a photograph preserved in the state archives it can be seen that on the façade overlooking the internal courtyard of the complex it presented a large sundial, today almost completely discolored.

10. P. Torelli, *Regesto Mantovano*, Roma, 1914, p. 417, doc. 661: "Hoc etiam de domo que est prope turrim supra stratam, et de eius choerentiis, et de dome que fuit Mariote sicut ipse Benebellus tempore mortis possidebat, secundum etiam sententie per Girardum Capre qd. consule iustitie Mantue date tenorem."

11. AsMn, Archivio Gonzaga, b.303

12. E. Marani, *Vie e Piazze di Mantova. Analisi di un centro storico. Via Ardigò*, in "Civiltà Mantovana", Anno I, n°5, Settembre-Ottobre 1966

13. G. Bertazzolo, 1628; A. Ronco, 1709

fotografia conservata presso l'Archivio di Stato si può notare come sul prospetto che affaccia sul cortile interno del complesso essa presentasse una grande meridiana, oggi quasi completamente scolorita.

La corrispondenza tra la suddetta Torre e la Torre dei Gambulini si chiarisce grazie ad un documento del **1204**, più precisamente il testamento scritto da Bisancio de Gambulinis, il quale, alla sua morte, dichiarava di lasciare in eredità al fratello Alberto varie case e una certa torre, "*magna turris et alta*". Si può facilmente dedurre che essendo passati solo quattro anni da un documento all'altro la torre di cui si parla come di proprietà dei Gambulini sia proprio la stessa sopra citata¹⁴.

Suddetto testamento evidenzia come la Torre possa essere considerata a tutti gli effetti il simbolo del prestigio della famiglia e della coesione fra i membri maschi della stessa. Nel documento Bisancio nomina sì eredi le sue uniche figlie femmine, ma specifica come al fratello e al nipote dovessero andare la sua quota dei casamenti e della torre nei quali con essi abitava. Solo nel caso in cui fratello e nipote fossero morti senza eredi maschi le figlie avrebbero potuto subentrare nel possesso della torre. In questo modo Bisanzio si assicurava il tramandamento di

The correspondence between the aforementioned Tower and the Gambulini Tower is clarified thanks to a document of **1204**, more precisely the will written by Bisancio de Gambulinis, who, on his death, declared to bequeath to his brother Alberto various houses and a certain tower, "*magna turris et alta*". It can be easily deduced that since only four years have passed from one document to another, the tower referred to as the property of the Gambulini family is precisely the same one mentioned above¹⁴.

This testament shows how the Tower can be considered to all intents and purposes the symbol of the prestige of the family and of the cohesion between the male members of the same. In the document Bisancio names his only daughters heirs, but specifies how his share of the tenements and the tower in which he lived with them should go to his brother and nephew. Only if brother and nephew died without male heirs could the daughters take over possession of the tower. In this way Byzantium ensured the handing over of an asset of such symbolic value within his dynasty¹⁵.

The Tower continues to belong to the family certainly at least until **1226**, when it is once again mentioned as the property

14. S. Davari, *Notizie storiche topografiche della città di Mantova nei secoli XII-XIV e XV*, Archivio Storico Lombardo, 1897, ristampe 1903 e 1975

15. G. Gardoni, *Fra Torri e "Magnae Domus". Famiglie e spazi urbani a Mantova. Secoli XII-XIII*, Libreria Editrice, 2008)

un bene di tale valore simbolico all'interno della sua dinastia ¹⁵.

La Torre, continua ad appartenere alla famiglia sicuramente almeno fino al **1226**, quando viene ancora una volta menzionata come proprietà dei Gambulini in un rogito notarile, datato 10 Febbraio e redatto come precisamente dichiarato "*sub porticu turris Gambulinorum*", attualmente conservato presso l'Archivio di Stato di Mantova ¹⁶.

Un documento ¹⁷ inedito datato **1246** attesta che la Torre «*que appellatur turis magna Gambolinorum*», insieme a due case collocate nella contrada Santo Stefano e al terreno su cui tutti questi beni insistevano, passò di proprietà alla famiglia dei signori di Ripalta, che li ottennero da Vivaldo Gambulini in cambio di un terreno in Romanore. E' proprio all'interno di questo contratto che Vivaldo ritiene opportuno precisare come la torre fosse stata eretta proprio dai suoi antenati, e più precisamente da Bisanzio, Alberto e Zannebono «*de Gambolinis*», ai quali era appartenuta la *domus* sull'angolo della quale «*incepta et facta fuit dicta turris*». Erano poi stati loro a concedere agli altri *parcinales* della torre, ovvero a Boça o a Ugo suo figlio, ai quali ne spettava un terzo, a Zenello Ançali, proprietario di un sesto, e

of the Gambulini in a notarial deed, dated 10 February and drawn up as precisely declared "*sub porticu turris Gambulinorum*", currently preserved in the Archive of the State of Mantua ¹⁶.

An unpublished document ¹⁷ dated **1246** attests that the Tower "*que appellatur turis magna Gambolinorum*", together with two houses located in the Santo Stefano district and the land on which all these properties stood, passed owned by the Ripalta family, who obtained them from Vivaldo Gambulini in exchange for land in Romanore. It is precisely within this contract that Vivaldo deems it appropriate to specify how the tower was built by his ancestors, and more precisely by Byzantium, Alberto and Zannebono "*de Gambolinis*", to whom the *domus* on the corner of which belonged "*Incepta et facta fuit dicta turis*". Then it was they who granted the other *parcinales* of the tower, that is to Boça or Ugo his son, who was entitled to a third, to Zenello Ançali, owner of a sixth, and to their successors, a three-armed transit route which the door of the tower communicates with the *via seu regiola* which led to San Salvatore whose path is described in detail and whose rights are reserved to the owners of the tower. They, as we have said, not entirely unrelated to the public life of the city,

16. AsMn, Archivio Gonzaga, b.303, menzionato in U. Bazzotti-D. Ferrari, *Il Palazzo degli studi: appunti per una storia dell'istruzione superiore a Mantova: luoghi e vicende dal Collegio dei Gesuiti al Liceo Ginnasio Virgilio*, Mantova, Palazzo Ducale, Sala Novanta, 8-27 ottobre 1991., Publi-Paolini Editore, Mantova 1998).

17. ASMi, b. 233, n. 29, 1246

ai loro successori, una via di transito ampia tre braccia che metteva in comunicazione la porta della torre con la via *seu regiola* che conduceva a San Salvatore il cui percorso viene minuziosamente descritto e i cui diritti vengono riservati ai proprietari della torre. Essi, come si è detto, non del tutto estranei alla vita pubblica della città, negli ultimi decenni del secolo XII e nei primi del successivo risultano disporre di consistenti somme di denaro liquido, frutto di un loro non modesto coinvolgimento diretto nell'attività creditizia, grazie al quale con una nutrita serie di acquisti costituirono un patrimonio terriero piuttosto consistente. In tali acquisti i tre fratelli sono spesso associati a quell'Ugo figlio del defunto Boça/Buçia che li dovette affiancare anche nella costruzione della torre Gambolinorum della quale – come osservato – deteneva un terzo¹⁸.

La torre dei Gambulini rimase di proprietà dei Ripalta per pochi anni, fino a quando nel **1249** i fratelli Corrado e Rodolfo (del fu Ubaldo) de Ripalta vendettero sia le case che la torre sopra menzionate a Bonaventura (del fu Girardo) de Oculo per 1900 lire di Mantova. Dal rogito della vendita è possibile chiarire l'antica appartenenza alla famiglia dei Gambulini (*"cum turri magna et alta*

in the last decades of the twelfth century and in the early decades of the next, appear to have large sums of liquid money, the result of their non-modest direct involvement in credit activities, thanks to which with a large series of purchases they formed a rather substantial land patrimony. In these purchases, the three brothers are often associated with that Ugo son of the deceased Boça / Buçia who also had to support them in the construction of the Gambolinorum tower of which - as noted - he owned a third¹⁸.

The Gambulini tower remained the property of the Ripalta family for a few years, until in **1249** the brothers Corrado and Rodolfo (of the late Ubaldo) de Ripalta sold both the houses and the tower mentioned above to Bonaventura (of the late Girardo) de Oculo for 1900 lire of Mantua. From the deed of the sale it is possible to clarify the ancient belonging to the Gambulini family (*"cum turri magna et alta supra murata que qm fuit Gambulinorum"*) and to establish the precise location of the Tower and the sold houses, which then occupied the entire area including between the church of S. Salvatore, via Tubo (now via Bertani), and that of S. Zenone, via del Ginnasio (now via Ardigò)¹⁹.

The aforementioned buildings bordered

18. G. Gardoni, *Fra Torri e "Magnae Domus". Famiglie e spazi urbani a Mantova. Secoli XII-XIII*, Libreria Editrice, 2008

19. S. Davari, *Notizie storiche topografiche della città di Mantova nei secoli XII-XIV e XV*, Archivio Storico Lombardo, 1897, ristampe 1903 e 1975, p. 54: "[...] viam que tenet et extenditur a platea S. Stephani usque ad plateam S. Zenoni [...]". Trad: *La via lastricata che va dalla piazza Santo Stefano a quella di San Zenone*.

supra murata que q.m. fuit Gambulinorum") e stabilire la precisa ubicazione della Torre e delle case cedute, che allora occupavano tutta l'area compresa tra la chiesa di S. Salvatore, via Tubo (ora via Bertani), e quella di S. Zenone, via del Ginnasio (ora via Ardigò) ¹⁹.

I sopra menzionati fabbricati confinavano col palazzo merlato allora appartenente ai da Saviola, una ricca e potente famiglia amica e partigiana dei Gonzaga. La torre e il palazzo ad essa annesso, nel **1289** passarono nuovamente di proprietà, questa volta alla famiglia dei Gonzaga, che ancora non erano i signori di Mantova. Più precisamente, Corrado (o Corradino) Gonzaga, padre del futuro Luigi Gonzaga, li ottenne grazie al matrimonio contratto con Tomasina de Oculo, figlia di Ottobone de Oculo. ²⁰

I Gonzaga ottennero la signoria di Mantova nel 1328, evento che portò la casata ad iniziare un'incredibile ascesa anche sul piano economico. Nel '400, appartenevano alla famiglia non più soltanto la Torre e gli edifici immediatamente adiacenti, bensì quasi la totalità dei fabbricati che si ergevano sul lato meridionale della via, senza dubbio almeno dall'attuale largo San Luigi fino ad arrivare

the crenellated palace then belonging to the da Saviola family, a rich and powerful family, friend and partisan of the Gonzagas. The tower and the building annexed to it, in **1289** passed again the property, this time to the Gonzaga family, who were not yet the lords of Mantua. More precisely, Corrado (or Corradino) Gonzaga, father of the future Luigi Gonzaga, obtained them thanks to the marriage contracted with Tomasina de Oculo, daughter of Ottobone de Oculo. ²⁰

The Gonzagas obtained the lordship of Mantua in 1328, an event that led the family to begin an incredible rise also on an economic level. In the **15th century**, not only the Tower and the immediately adjacent buildings belonged to the family, but almost all the buildings that stood on the southern side of the street, no doubt at least from the current largo San Luigi up to the corner of the today Via Pomponazzo. Among these, Cardinal Francesco Gonzaga also had his residence, who on his death bequeathed the palace to his natural son. It is said that other buildings located on the same southern side of the street belonged to Rodolfo, brother of Cardinal Francesco, who in turn bequeathed them to his sons Gianfrancesco, founder of the junior branch of the Gonzaga di Luzzara, and Luigi,

20. S. Davari, *Notizie storiche topografiche della città di Mantova nei secoli XII-XIV e XV*, Archivio Storico Lombardo, 1897, ristampe 1903 e 1975, p. 54): "Tomasina fil. Q. dni. Ottebono de Oculo et uxor d. Conradini de Gonzaga"

all'angolo dell'odierna Via Pomponazzo. Tra questi ebbe la propria residenza anche il cardinale Francesco Gonzaga, che alla propria morte lasciò in eredità il palazzo al proprio figlio naturale. Si tramanda che altri caseggiati posti sullo stesso lato meridionale della via appartenessero a Rodolfo, fratello del cardinale Francesco, che a sua volta li lasciò in eredità ai figli Gianfrancesco, fondatore del ramo cadetto dei Gonzaga di Luzzara, e Luigi, iniziatore del ramo di Castiglione delle Stiviere. Più precisamente, è accertato che gli attuali numeri civici 9-11 appartenessero ai Gonzaga di Castiglione, mentre i 13-15 a quelli di Luzzara, ed è probabile ritenere che la residenza del cardinale Francesco fosse già stata inglobata, con altre, in una delle suddette proprietà ²¹.

Da questo momento la Torre rimarrà di proprietà dei Gonzaga fino agli **inizi del '500**, quando passò ai loro nipoti, i principi di Castiglione delle Stiviere, i quali facevano parte del ramo cadetto dei Gonzaga ²².

Grazie a documenti pervenuti si conosce che nel **1526** Giovanni dalle Bande Nere morì a Mantova in contrada del Grifone presso la casa di Luigi Alessandro Gonzaga (conosciuto anche come Aloisio, marchese

initiator of the branch of Castiglione delle Stiviere. More precisely, it is ascertained that the current house numbers 9-11 belonged to the Gonzagas of Castiglione, while the 13-15 to those of Luzzara, and it is probable that the residence of Cardinal Francesco had already been incorporated, with others, in one of the aforementioned properties ²¹.

From this moment on, the Tower will remain the property of the Gonzagas until the early **1500s**, when it passed to their grandchildren, the princes of Castiglione delle Stiviere, who were part of the junior branch of the Gonzagas ²².

Thanks to documents received it is known that in **1526** Giovanni dalle Bande Nere died in Mantua in the Grifone district at the house of Luigi Alessandro Gonzaga (also known as Aloisio, Marquis of Castiglione and Castel Goffredo). For years there were doubts as to exactly what the location of this house was, until the "*Description of the boundaries of the parishes*" of 1530 was examined, which clarifies where Luigi Alessandro Gonzaga, lord of Castiglione and other lands of Alto Mantovano, lived in course of the 1500s (*in Archivio di Stato di Mantova, Raccolta d'Arco, n° 126*). It was therefore precisely in these buildings that Giovanni delle Bande

21. E. Marani, *Vie e Piazze di Mantova. Analisi di un centro storico. Via Ardigò*, in "Civiltà Mantovana", Anno I, n° 5, Settembre-Ottobre 1966

22. S. Davari, *Notizie storiche topografiche della città di Mantova nei secoli XII-XIV e XV*, Archivio Storico Lombardo, 1897, ristampe 1903 e 1975, p. 54): "Tomasina fil. Q. dni. Ottebono de Oculo et uxor d. Conradini de Gonzaga"

di Castiglione e Castel Goffredo). Per anni vi furono dubbi su quale fosse esattamente l'ubicazione di tale abitazione, fino a quando fu esaminata la *"Descrizione dei confini delle parrocchie" del 1530* che chiarisce dove Luigi Alessandro Gonzaga signore di Castiglione e di altre terre dell'Alto Mantovano visse nel corso del '500 ²³. Fu dunque proprio in questi immobili che fu amputato ad una gamba e morì Giovanni delle Bande Nere (Ludovico di Giovanni de Medici), in seguito alle ferite che il condottiero aveva riportato nella battaglia contro i Lanzichenecci a Governolo, per le quali fu soccorso dal suddetto Aloisio Gonzaga insieme a Pietro l'Aretino e portato nel suo palazzo di Mantova (ex via del Grifone, ora via Ardigò) ²⁴.

Nel **1549**, alla morte del marchese Luigi Alessandro Gonzaga, il palazzo e la Torre passarono in proprietà al primogenito Ferrante Gonzaga ed ai suoi eredi (tra i quali si ricorderanno il cosiddetto San Luigi Gonzaga, padre gesuita, e il fratello Rodolfo) ²⁵.

Rodolfo Gonzaga la lasciò in eredità, insieme al palazzo annesso, al figlio Aloisio che dopo essersi sposato con Ginevra

Nere (Ludovico di Giovanni de Medici) was amputated in a leg and died, following the wounds that the leader had sustained in the battle against the Lanzichenecci in Governolo, for which he was rescued by the aforementioned Aloisio Gonzaga together with Pietro l'Aretino and taken to his palace in Mantua (formerly via del Grifone, now via Ardigò) ²⁴.

In **1549**, on the death of the Marquis Luigi Alessandro Gonzaga, the palace and the Tower passed into the property of the eldest son Ferrante Gonzaga and his heirs (among whom the so-called San Luigi Gonzaga, Jesuit father, and his brother Rodolfo will be remembered) ²⁵.

Rodolfo Gonzaga bequeathed it, together with the adjoining building, to his son Aloisio who, after marrying Ginevra Rangoni, a Modenese nobleman, had the interiors embellished with frescoes by the veronese painter Giovanni Maria Falconetto ²⁶.

In the **second half of the 16th century**, the Gonzagas of Castiglione, who had by now established their residence in the Alto Mantovano, alienated the aforementioned building, selling part of it in **1569** to the

23. in *Archivio di Stato di Mantova, Raccolta d'Arco*, n° 126

24. E. Marani, *Vie e Piazze di Mantova. Analisi di un centro storico. Via Ardigò*, in *"Civiltà Mantovana"*, Anno I, n°5, Settembre-Ottobre 1966

25. S. Davari, *Notizie storiche topografiche della città di Mantova nei secoli XII-XIV e XV*, *Archivio Storico Lombardo*, 1897, ristampe 1903 e 1975, p. 54): *"Tomasina fil. Q. dni. Ottebono de Oculo et uxor d. Conradini de Gonzaga"*

Rangoni, nobile modenese, ne fece abbellire gli interni con affreschi del pittore veronese Giovanni Maria Falconetto ²⁶.

Nella **seconda metà del '500** i Gonzaga di Castiglione, che avevano ormai stabilito la propria residenza nell'Alto Mantovano, alienarono il suddetto edificio, vendendone una parte nel **1569** al ricco mercante Alessandro Costa per 2000 scudi, e il resto qualche anno dopo, nel **1587**, al marchese Guglielmo ²⁷.

Nel **1584** Il mercante Costa vendette a sua volta la propria parte ai Gesuiti, che lo acquistarono per istituirci il proprio "collegio" (convento) non appena giunti a Mantova, come dimostra il rogito del notaio Cagioni ancora conservato presso l'Archivio di Stato di Mantova ²⁸.

Allo stesso anno, **1584**, risale probabilmente la soppressione della strada adiacente alla torre, quella che dal suo lato sinistro si connetteva all'attuale via Governolo. Essa risultava già chiusa alle estremità durante la prima metà del secolo, ma pare che lo scopo del nuovo intervento fosse proprio quello di favorire i progetti edilizi dei Gesuiti sull'isolato urbano. Allo stesso periodo, più precisamente **1584-1587**, risale infatti

wealthy merchant Alessandro Costa for 2000 scudi, and the rest a few years later, in **1587**, to the marquis Guglielmo ²⁷.

In **1584** the merchant Costa in turn sold his share to the Jesuits, who bought it to set up their own "college" (convent) as soon as they arrived in Mantua, as evidenced by the deed of the notary Cagioni still preserved in the State Archives of Mantua ²⁸.

The suppression of the road adjacent to the tower probably dates back to the same year, **1584**, the one that connected to the current via Governolo from its left side. It was already closed at the ends during the first half of the century, but it seems that the purpose of the new intervention was precisely to favor the construction projects of the Jesuits on the urban block. In fact, the construction of the Church and Convent of the Holy Trinity and the square in front of it, adjacent to the existing building annexed to the Tower, also dates back to the same period, more precisely **1584-1587** ²⁹.

In **1585** in the same building the monks also established a "studio", that is a public school of grammar, humanity, rhetoric, philosophy and theology ³⁰.

In **1587**, as soon as he received his share

26. Massimo Marocchi, *I Gonzaga di Castiglione delle Stiviere. Vicende pubbliche e private del casato di San Luigi*, Artegrafica, 1990

27. E. Marani, *Vie e Piazze di Mantova. Analisi di un centro storico. Via Ardigò*, in "Civiltà Mantovana", Anno I, n°5, Settembre-Ottobre 1966

28. AsMn, *Archivio Notarile, rogito del notaio G. Cagioni, 15 Novembre 1584*

anche la costruzione della Chiesa e del Convento della Santissima Trinità e della piazza antistante, adiacenti all'edificio già esistente annesso alla Torre ²⁹.

Nel **1585** nello stesso edificio i monaci istituirono anche uno "studio", ovvero una scuola pubblica di grammatica, umanità, retorica, filosofia e teologia ³⁰.

Nel **1587**, non appena ricevuta la propria parte dai Gonzaga di Castiglione, il duca Guglielmo donò il complesso all'ordine, permettendo loro di cominciare ad ampliare la propria sede, come continuarono a fare durante tutto il corso del secolo, giungendo nel primo quarto del '600 a possedere un'unità immobiliare che si estendeva dal largo oggi intitolato a San Luigi Gonzaga, dove fu eretta anche la Chiesa della Santissima Trinità, fino alla via Pomponazzo ³¹. I Gesuiti furono largamente aiutati in particolare dalla moglie del Duca Guglielmo Gonzaga, Eleonora d'Austria ³².

Una lapide murata il 21 Giugno 1891 apposta all'esterno del fabbricato n. 9-11, nel lato che guarda sul largo San Luigi

from the Gonzagas of Castiglione, Duke Guglielmo donated the complex to the order, allowing them to begin to expand their headquarters, as they continued to do throughout the course of the century, arriving in the first quarter of '600 to own a real estate unit that extended from the open space today named to San Luigi Gonzaga, where the Church of the Holy Trinity was also erected, up to via Pomponazzo ³¹. The Jesuits were largely helped in particular by the wife of Duke Guglielmo Gonzaga, Eleonora of Austria ³².

A plaque walled up on 21 June 1891 affixed to the outside of building no. 9-11, on the side facing the Largo San Luigi Gonzaga, reports that between **1585 and 1589** Luigi Gonzaga, the eldest son of Ferrante, who, although he had inherited the title of Marquis, renounced it in 1585 giving it to his brother Rodolfo to consecrate his life to God at the Jesuit order, lived in the house overlooking the aforementioned square, called for this reason the "House of San Luigi". The saint to whom the large square overlooked by the building is also named stayed in the convent,

29. G. Gorzoni, *Istoria del Collegio di Mantova della Compagnia di Gesù*, Arcari Editore, 1997 menzionato in U. Bazzotti-D. Ferrari, *Il Palazzo degli studi: appunti per una storia dell'istruzione superiore a Mantova: luoghi e vicende dal Collegio dei Gesuiti al Liceo Ginnasio Virgilio*, Mantova, Palazzo Ducale, Sala Novanta, 8-27 ottobre 1991., Publi-Paolini Editore, Mantova 1998

30. E. Marani, *Vie e Piazze di Mantova. Analisi di un centro storico. Via Ardigò*, in "Civiltà Mantovana", Anno I, n°5, Settembre-Ottobre 1966

31. E. Marani, *Vie e Piazze di Mantova. Analisi di un centro storico. Via Ardigò*, in "Civiltà Mantovana", Anno I, n°5, Settembre-Ottobre 1966

32. Amadei, *Cronaca cit. vol. II, pp. 868-869 e vol. III, pp 22-23, 116-118*)

Gonzaga, riporta che **tra il 1585 ed il 1589** Luigi Gonzaga, figlio primogenito di Ferrante, che sebbene avesse ereditato il titolo di marchese vi rinunciò nel 1585 cedendolo al fratello Rodolfo per consacrare la propria vita a Dio presso l'ordine dei Gesuiti, abitasse la casa che affaccia sulla suddetta piazzetta, denominata proprio per questo motivo "*Casa di San Luigi*". Il santo cui è anche intitolato il largo su cui affaccia il fabbricato soggiornò nel convento, in veste di gesuita, due volte.³³

Nel corso del **Seicento** il Collegio dei Gesuiti subì in particolare un ampliamento documentabile, su progetto dell'architetto di corte di allora Nicolò Sebregondi, i cui capitoli di appalto sottoscritti sono ancora consultabili presso l'Archivio di Stato in un rogito notarile datato **1651**³⁴. Fu in questi anni, grazie a questo passaggio di proprietà e alla nuova funzione assunta dagli immobili, che la cosiddetta Torre dei Gambulini, com'era stata chiamata fino a quel momento, prese anche il nome di "*Torre dei Gesuiti*", con il quale anche è conosciuta³⁵.

Al **1763** risale la costruzione del Palazzo

as a Jesuit, twice.³³

During the **seventeenth century**, the Jesuit College in particular underwent a documentable extension, based on a project by the court architect of the time, Nicolò Sebregondi, whose contract chapters signed can still be consulted at the State Archives in a notarial deed dated **1651**³⁴. It was in these years, thanks to this change of ownership and the new function assumed by the buildings, that the so-called Torre dei Gambulini, as it had been called up to that moment, also took the name of "*Torre dei Gesuiti*", with which also is known.³⁵

The construction of the Palazzo dei Gesuiti dates back to **1763**, designed by the famous architect Alfonso Torreggiani. The buildings, built from the foundations at the behest of the Jesuit Fathers, incorporated the Tower, occupying the entire right wing of the street³⁶.

In **1773**, following the suppression of the order of the Society of Jesus, all the building they owned together with the Church of the Holy Trinity were sold to the Augustinian fathers. A testimony of this period is given by

33. E. Marani, *Vie e Piazze di Mantova. Analisi di un centro storico. Via Ardigò*, in "*Civiltà Mantovana*", Anno I, n°5, Settembre-Ottobre 1966: "Nelle camere – a codesta parete contigue – ebbe gradita stanza – negli anni 1585 e 1589 – Luigi Gonzaga – la cui sacra memoria – alla vicenda del tempo – che tutte cose traveste – venerata sorvola".

34. AsMn, Archivio Notarile, rogito del notaio A. Nuvoloni, 31 Gennaio 1651

35. E. Marani, *Vie e Piazze di Mantova. Analisi di un centro storico. Via Ardigò*, in "*Civiltà Mantovana*", Anno I, n°5, Settembre-Ottobre 1966

36. E. Boriani, *Castelli e torri dei Gonzaga nel territorio mantovano*, Brescia, 1969

dei Gesuiti, realizzato su progetto del celebre architetto Alfonso Torreggiani. Gli edifici, costruiti dalle fondamenta per volere dei Padri Gesuiti, inglobarono la Torre, occupando tutta l'ala destra della via ³⁶.

Nel **1773**, in seguito alla soppressione dell'ordine della Compagnia di Gesù, tutto il fabbricato di loro proprietà insieme alla Chiesa della Santissima Trinità furono ceduti ai padri Agostiniani. Una testimonianza di questo periodo è data da un affresco ancora esistente e ben conservato che si sviluppa al di sopra di uno dei portoni all'interno dell'archivio ³⁷.

Il nuovo ordine vi permase pochi decenni, fino al **1798**, quando l'edificio conventuale e la chiesa furono profanati e trasformati in caserma e magazzino militare ³⁸.

Tra il **1798 e 1850**, sotto il governo del viceré d'Italia Eugenio di Beauharnais, la torre venne utilizzata per le segnalazioni a distanza, grazie all'impianto del telegrafo. Fu in questi anni che acquisì la sua terza denominazione, quella di "Torre del Telegrafo"³⁹.

Dal **1883** il complesso, costituito dalla torre e dagli edifici adiacenti, divenne sede

a still existing and well preserved fresco that develops above one of the doors inside the archive ³⁷.

The new order remained there for a few decades, until **1798**, when the convent building and the church were desecrated and transformed into barracks and military warehouse ³⁸.

Between **1798 and 1850**, under the government of the Viceroy of Italy Eugenio di Beauharnais, the tower was used for remote signaling, thanks to the telegraph system. It was in these years that it acquired its third name, that of "Torre del Telegrafo"³⁹.

Since **1883**, the complex, consisting of the tower and adjacent buildings, became the seat of the Gonzaga Archive and the precious annexed documentary collections, which were transferred here from their original location at the Castle of San Giorgio in the Doge's Palace, where they now occupied numerous rooms. The enormous vastness of the documents collected made it necessary to find a new place to transfer the vast Archive. In 1883 the municipal administration therefore decided to transfer the core of the Gonzaga Historical Archive, in the meantime

37. E. Marani, *Vie e Piazze di Mantova. Analisi di un centro storico. Via Ardigò*, in "Civiltà Mantovana", Anno I, n°5, Settembre-Ottobre 1966

38. E. Marani, *Vie e Piazze di Mantova. Analisi di un centro storico. Via Ardigò*, in "Civiltà Mantovana", Anno I, n°5, Settembre-Ottobre 1966

39. E. Marani, *Vie e Piazze di Mantova. Analisi di un centro storico. Via Ardigò*, in "Civiltà Mantovana", Anno I, n°5, Settembre-Ottobre 1966

dell'Archivio Gonzaga e dei preziosi fondi documentari annessi, che furono trasferiti qui dalla loro originaria collocazione presso il Castello di San Giorgio di Palazzo Ducale, dove occupavano ormai numerosi ambienti. L'ingente vastità dei documenti raccolti rese necessario trovare un nuovo luogo in cui trasferire il vasto Archivio. Nel 1883 l'Amministrazione comunale decise dunque di trasferire il nucleo dell'Archivio storico Gonzaga, nel frattempo affidato alle cure del professor Pietro Ferrato e in seguito a Stefano Davari, in nuovi locali nel Palazzo degli studi, di proprietà municipale, in un'ampia sala definita "ex oratorio gesuitico", in realtà da identificarsi nella Sala degli addottoramenti, con ingresso dall'attuale via Ardigò 13 ⁴⁰.

Qualche anno dopo, nel 1899, anche l'Archivio di Stato, che allora era stato posto sotto la direzione di Alessandro Luzio, il quale negli anni precedenti aveva ampiamente denunciato le scarse condizioni nelle quali i fondi archivistici erano conservati presso Palazzo Ducale, fu trasferito presso l'ex collegio Gesuitico, insieme ai fondi dell'Archivio Gonzaga ⁴¹.

Negli anni successivi numerosi furono gli interventi attuati volti ad adeguare gli

entrusted to the care of Professor Pietro Ferrato and later to Stefano Davari, to new premises in the Palazzo degli Studi, owned by the municipality, in a large room defined as a "former Jesuit oratory", actually to be identified in the Hall of addoctions, with entrance from the current via Ardigò 13 ⁴⁰.

A few years later, in 1899, also the State Archives, which at the time had been placed under the direction of Alessandro Luzio, who in previous years had amply denounced the poor conditions in which the archival funds were kept at the Palazzo Ducale, was transferred at the former Jesuit college, together with the funds from the Gonzaga Archive ⁴¹.

In the following years, numerous interventions were carried out aimed at adapting the rooms to the new function. In particular, starting from 1904, a general project was undertaken drawn up by Achille Patricolo in the early months of 1900, a project that had to be repeatedly modulated and revised because, again according to Luzio, it was too cheap and inadequate to the problems of modern archival conservation ⁴².

These interventions inevitably also involved

40. L. O. Tamassia, "Dall'Archivio Gonzaga all'Archivio di Stato di Mantova. Sette secoli di custodia ininterrotta", in *Itinera chartarum. 150 anni dell'Archivio di Stato di Mantova*, Mantova, 2018

41. L. O. Tamassia, "Dall'Archivio Gonzaga all'Archivio di Stato di Mantova. Sette secoli di custodia ininterrotta", in *Itinera chartarum. 150 anni dell'Archivio di Stato di Mantova*, Mantova, 2018.

42. L. O. Tamassia, "Dall'Archivio Gonzaga all'Archivio di Stato di Mantova. Sette secoli di custodia ininterrotta", in *Itinera chartarum. 150 anni dell'Archivio di Stato di Mantova*, Mantova, 2018

ambienti alla nuova funzione. In particolare, a partire dal **1904**, si intraprese un progetto di massima redatto da Achille Patricolo nei primi mesi del 1900, progetto che dovette essere ripetutamente modulato e rivisto perché, sempre a detta di Luzio, troppo economico e inadeguato alle problematiche di una moderna conservazione archivistica⁴².

Tali interventi coinvolsero inevitabilmente anche la Torre, ormai trattata come parte integrante del complesso, dove si concretizzarono nella realizzazione dei servizi igienici di servizio all'Archivio, che furono posti al piano terra. Per la realizzazione si sfruttò molto probabilmente l'ambiente interrato della torre (ben visibile in un rilievo datato 1984, conservato nel faldone "*Torri demaniali Mantova. Varie e corrispondenze*") completamente inaccessibile e con probabilità utilizzato quale latrina di scarico dei liquami. L'intervento, oggi fortunatamente smantellato e non più visibile risulta ancora parzialmente immaginabile nelle modifiche ed aggiunte apportate alla muratura al piano terra della Torre, è debolmente documentato in una sola cartografia datata **1905** conservata presso l'Archivio di Stato all'interno del *Fondo Genio Civile* ⁴³.

Nel **1936** un terremoto verificatosi nel Friuli e più precisamente con epicentro nel comune

the Tower, now treated as an integral part of the complex, where they resulted in the creation of the Archive service toilets, which were placed on the ground floor. For the construction, the basement of the tower was most likely exploited (clearly visible in a relief dated 1984, preserved in the folder "*Torri demaniali Mantova. Varie e corrispondenze*") completely inaccessible and probably used as a sewage latrine. The intervention, now fortunately dismantled and no longer visible, is still partially imaginable in the changes and additions made to the masonry on the ground floor of the Tower, is weakly documented in a single cartography dated 1905 preserved in the State Archives within the *Fondo Genio Civile* ⁴³.

In **1936** an earthquake that occurred in Friuli and more precisely with its epicenter in the municipality of Sacile, in the province of Pordenone, caused massive damage to the walls and the fall of material in the entire complex, and in particular in the Tower, requiring safety measures and overall restoration. Of the inspections carried out by the technicians appointed by the Ministry of Public Works for the building recovery, some photos taken in 1937 remain, which testify to the appearance of some rooms that have remained almost intact ⁴⁴.

For the actual realization of the works it took

43. AsMn, *Fondo Genio Civile*, busta 383, fascicolo 341, planimetria firmata Dante Zanotti datata 20 Gennaio 1905.

di Sacile, in provincia di Pordenone, provocò ingenti lesioni murarie e caduta di materiale nell'intero complesso, ed in particolare nella Torre, richiedendone interventi di messa in sicurezza e restauro complessivo. Dei sopralluoghi effettuati dai tecnici incaricati dal Ministero dei Lavori pubblici per il recupero edilizio restano alcune foto scattate nel 1937 che testimoniano l'aspetto di alcuni ambienti rimasti pressoché intatti ⁴⁴.

Per la realizzazione effettiva dei lavori occorre attendere cinque anni, nel 1941 ⁴⁵.

Nonostante il contesto di mobilitazione degli anni '40 causato dall'entrata in guerra dell'Italia, nel 1941 si procedette ai lavori di ripristino delle lesioni causate dal terremoto, con interventi che riguardarono prima di tutto la messa in sicurezza della torre, che era la parte rimasta maggiormente danneggiata dalle scosse, e in secondo luogo il controllo dei tetti, la tinteggiatura degli uffici e della scala, la sistemazione di pavimenti e di impianti elettrici, che coinvolsero il resto dell'edificio. ⁴⁶ A partire da quell'anno numerosi interventi di messa in sicurezza della Torre sono documentati da relazioni e disegni tecnici conservati presso il Fondo Genio Civile dell'Archivio di Stato. In particolare, grazie alla realizzazione di

five years, in 1941 ⁴⁵.

Despite the context of mobilization in the 1940s caused by Italy's entry into the war, in 1941 work was carried out to restore the injuries caused by the earthquake, with interventions that concerned first of all the safety of the tower, which was the part that was most damaged by the tremors, and secondly the control of the roofs, the painting of the offices and the staircase, the arrangement of floors and electrical systems, which involved the rest of the building. ⁴⁶ Starting from that year, numerous interventions to make the Tower safe are documented by reports and technical drawings kept at the Civil Engineering Fund of the State Archives. In particular, thanks to the construction of an external scaffolding that made it easier to inspect (the existing internal staircase did not guarantee resistance to the load of heavy weights), it first of all allowed the cleaning of the external walls, accompanied by interventions to roofing with waterproof materials which however did not aggravate the weight and which have solved the problem of infiltrations. Finally, the restoration of two summit edges from which some stones had detached, making the passage in the street near the Tower unsafe ⁴⁷. In

44. AsMn, Fondo Genio Civile, busta 231, fascicolo 148-149/57, 1941

45. L. O. Tamassia, "Dall'Archivio Gonzaga all'Archivio di Stato di Mantova. Sette secoli di custodia ininterrotta", in *Itinera chartarum. 150 anni dell'Archivio di Stato di Mantova*, Mantova, 2018

46. L. O. Tamassia, "Dall'Archivio Gonzaga all'Archivio di Stato di Mantova. Sette secoli di custodia ininterrotta", in *Itinera chartarum. 150 anni dell'Archivio di Stato di Mantova*, Mantova, 2018

un'impalcatura esterna che ne rendesse più agevole l'ispezionabilità (la scala interna esistente non garantiva resistenza al carico di pesi ingenti), ne ha permesso prima di tutto la pulitura delle murature esterne, accompagnata da interventi alla copertura con materiali impermeabili che tuttavia non ne aggravassero il peso e che hanno risolto il problema delle infiltrazioni. In ultimo si è effettuato il restauro di due spigoli sommitali dai quali si erano distaccate alcune pietre rendendo il passaggio in strada in prossimità della Torre poco sicuro ⁴⁷. In Archivio, all'interno del Fondo Genio Civile, sono ancora consultabili i computi che illustrano dettagliatamente gli interventi realizzati ⁴⁸

Solo pochi anni dopo, nel 1947, la Torre fu oggetto di alcuni interventi che riguardarono principalmente il primo piano, volti all'apertura di nuove porte, l'inserzione di tramezzi divisorii nel deposito e la ritinteggiatura con latte di calce o colore a due passate ⁴⁹.

Nel 1952 furono realizzati lavori di riparazione su tutti gli immobili dell'Archivio rimasti danneggiati durante la guerra, che

the Archive, within the *Fondo Genio Civile*, the calculations that illustrate in detail the interventions carried out are still available. Only a few years later, in 1947, the Tower was the subject of some interventions that mainly concerned the first floor, aimed at opening new doors, the insertion of dividing partitions in the warehouse and the repainting with lime milk or two-coat color ⁴⁹

In 1952, repair work was carried out on all the buildings in the Archive that were damaged during the war, which most likely also involved the Tower, although no specific documentation has been found in this regard, if not two floor plans ⁵⁰.

In 1956 an article written in "Il Resto del Carlino Mantovana Edition" ⁵¹ reports the discovery of an access door to the Tower . It is not clear which door we are referring to since the article was not found for verification, however, rather certain sources report its existence. ⁵² In a map dated 1905 preserved in the Civil Engineering Fund at the State Archives of Mantua, two entrances were actually indicated on the ground floor,

47. "I lavori di restauro alla Torre dei Gambulini", edito su "La Voce di Mantova", 22 Maggio 1941

48. AsMn, Fondo Genio Civile, busta 231, fascicolo 148-149/57, 1941 : "34. Costruzione di castello in legname per lavori di manutenzione al torrione dell'Archivio di Stato alto metri 40, con ponti all'altezza di metri 3 l'uno dall'altro incastrati nelle murature compreso l'onere del montacarichi, nonché la rimozione a lavori finiti e la ripresa di tutti i fori praticati nelle murature al metro quadrato di torre coperta dal ponteggio; 35. Intonaco di calce idraulica tirato a civile stilaturo: Pareti interne, Parapetto terrazzo, Copertura torre; 36. Copertura cornicione attico con tre strati di cartonicatramati disposti uno in senso contrario all'altro e spalmati ad ogni strato con mastice tipo isoliti a lavoro finito. Terrazzo attico e pareti parapetto. 37. Fornitura e posa in opera di vetri stampati doppi per lucernari botole terrazzo."

49. AsMn, Fondo Genio Civile, busta 249 (43), fascicolo 195/76, 1947.

hanno molto probabilmente coinvolto anche la Torre, sebbene non siano state rinvenute documentazioni specifiche al riguardo, se non due planimetrie ⁵⁰.

Nel **1956** un articolo redatto su "*Il Resto del Carlino Edizione Mantovana*" ⁵¹, riporta il rinvenimento di una porta di accesso alla Torre. Non è chiaro a quale porta ci si riferisca poiché l'articolo non è stato rinvenuto per effettuarne una verifica, tuttavia, fonti piuttosto certe ne riportano l'esistenza ⁵². In una pianta datata 1905 conservata nel Fondo Genio Civile⁵³ presso l'Archivio di Stato di Mantova due accessi sono stati effettivamente segnalati al piano terra, quello tutt'ora esistente sul lato Est, che comunica con il vano scale che conduce ai piani superiori, e un secondo sul lato Nord, che comunicherebbe con l'ingresso dell'Archivio, ora inesistente. Risulta credibile pensare ci si riferisse proprio a quest'ultimo.

Tra il **1969 e il 1970** il Genio civile realizzò importanti interventi di restauro del complesso ex gesuitico che riguardarono in particolare la torre, con la sostituzione delle vecchie scale e dei ballatoi in legno con scale e pianerottoli in metallo, e il consolidamento

the one still existing on the east side, which communicates with the stairwell leading to the upper floors, and a second on the north side, which would communicate with the entrance to the Archive, now non-existent. It is credible to think we were referring to the latter ⁵³.

Between **1969 and 1970** the Genio Civile carried out important restoration interventions of the former Jesuit complex which concerned in particular the tower, with the replacement of the old wooden stairs and balconies with metal stairs and landings, and the consolidation of the top to prevent the falling of stones in the street below. ⁵⁴ An in-depth description of the interventions was found at the *Fondo Genio Civile*, of the Mantua State Archives, where reports, maps and detailed drawings document the interventions carried out ⁵⁵.

In the **1990s**, on the occasion of the conference on the reuse of castles, three state-owned towers in the city of Mantua, specifically S Alò, the Zuccaro and the Gambulini, were subjected to geognostic investigations to ascertain the static conditions and the state of general conservation for the

50. AsMn, Fondo Genio Civile, busta 277 (43), fascicolo 293/111, 1952

51. "Scoperta una porta d'ingresso alla torre dell'archivio di stato", *Il Resto del Carlino Edizione Mantovana*, 13 Dicembre 1956

52. E. Marani, *Vie e Piazze di Mantova. Analisi di un centro storico. Via Ardigò*, in "*Civiltà Mantovana*", Anno I, n° 5, Settembre-Ottobre 1966.

53. AsMn, Fondo Genio Civile, busta 383, fascicolo 341, planimetria firmata Dante Zanotti datata 20 Gennaio 1905

della sommità per impedire la caduta di pietre nella via sottostante ⁵⁴. Una descrizione approfondita degli interventi è stata rinvenuta presso il Fondo Genio Civile, dell'archivio di Stato di Mantova, dove relazioni, cartografie e disegni di dettaglio documentano gli interventi effettuati ⁵⁵.

Negli anni '90, in occasione del convegno sul riuso dei castelli, tre torri demaniali della città di Mantova, nello specifico S Alò, degli Zuccaro e dei Gambulini, sono state oggetto di indagini geognostiche per l'accertamento delle condizioni statiche e dello stato di conservazione generale per lo studio del consolidamento, della valorizzazione e del riuso. Le indagini sono state promosse dal Nucleo Operativo di Mantova del Magistrato alle acque (ora soppresso e le cui competenze sono ora in AIPO), nell'ambito dei compiti istituzionali che contemplano

study of consolidation, enhancement and reuse. The investigations were promoted by the Nucleo Operativo di Mantova del Magistrato alle acque (now suppressed and whose competences are now in AIPO), as part of the institutional tasks that include the ordinary and extraordinary maintenance of state-owned buildings and interventions on the structures for the conservation of historical and artistic monuments. The general state of conservation of the three towers was verified, homogeneous with each other from the point of view of the construction system, solid brick masonry with slight foundation changes, but different in the original function, in the state of conservation and also in the structural configuration ⁵⁶.

Before drawing up an intervention project for the consolidation and subsequent reuse of the towers, technical investigations were

54. L. O. Tamassia, "Dall'Archivio Gonzaga all'Archivio di Stato di Mantova. Sette secoli di custodia ininterrotta", in *Itinera chartarum. 150 anni dell'Archivio di Stato di Mantova*, Mantova, 2018.

55. AsMn, Fondo Genio Civile, busta 328, fascicolo 474/181, 1969-1970: "8. Taglio alla fiamma ossidiana dei gradini alla marinara in ferro tondo diametro 22, infissi nel primo ripiano di partenza della torre; 9. Demolizione di solai vetusti e pericolanti a struttura lignea [...] cernita, pulitura e accatastamento dei materiali reimpiegabili [...]; 10. Demolizione di muratura in malta di qualunque nature e spessore, retta o curva, a qualsiasi altezza o profondità, cernita, pulitura e accatastamento dei materiali reimpiegabili [...] Messa in opera di divisorio con ripostiglio scala alla marinara; 11. Sottofondo per pavimenti formato da uno strato di conglomerato cementizio [...]; 12. Copertura di attici o per qualsiasi altra destinazione dello spessore medio di 15cm in conglomerato cementizio [...], il ferro per l'armatura, la tiratura ad intonaco di cemento delle facce viste [...]; 13. Manto impermeabile per copertura piano da: caldana di fondo in malte magre per la regolarizzazione delle pendenze e superiore spolveratura di sabbia fine asciutta per lo spessore di cm 1, da tre strati di cartongfello disposti sfalsati e abbondantemente spalmati con bitume [...]; 14. Costruzione dei ponti di servizio tipo innocenti o similari per la posa in opera di scale e ripiani nella torre [...]; 15. Pianerottoli di scale di accesso alla sommità della torre costituiti da travi a doppio T ancorate nella muratura e da lamiere stirate saldate superiormente alle travi di cui sopra [...]; 16. Manufatti in ferro piatto, tondo, quadrato cavo ecc, per parapetti [...]; 46. Spazzolatura di pareti interne, soffitti e facciate esterne con spazzole in ferro od alla saggina [...]; 47. Tinteggiatura a tempera di pareti interne e soffitti a due passate [...]" (Primo piano torre)

la manutenzione ordinaria e straordinaria degli immobili demaniali e gli interventi sulle strutture per la conservazione dei monumenti storico-artistici. Si è provveduto alla verifica dello stato di conservazione generale delle tre torri, omogenee tra loro dal punto di vista del sistema costruttivo, muratura in mattoni pieni con lievi riseghe fondazionali, ma differenti nella funzione originaria, nello stato di conservazione e anche nella configurazione strutturale ⁵⁶.

Prima di elaborare un progetto di intervento per il consolidamento e conseguente riuso delle torri, si sono effettuate indagini tecniche che ne accertassero l'effettivo stato delle condizioni di sicurezza statica, problematica senza dubbio più che mai urgente per poter preservare l'incolumità delle persone. Come si può leggere in un articolo comparso sulla *Gazzetta di Mantova* datato 21 Marzo 1989 ⁵⁷ il problema della sicurezza statica delle torri demaniali si stava ponendo con urgenza, anche e soprattutto a seguito del crollo della torre Civica di Pavia avvenuto l'anno precedente. L'episodio aveva sollevato l'attenzione generale sulla necessità di monitorare maggiormente gli edifici storici pericolanti e aveva promosso l'elargizione di finanziamenti statali destinati ai comuni con situazioni più a rischio. E'

carried out to ascertain the actual state of the static safety conditions, a problem that is undoubtedly more urgent than ever in order to preserve the safety of people. As can be read in an article published in the *Gazzetta di Mantova* dated 21 March 1989 ⁵⁷ the problem of the static safety of the state-owned towers was becoming urgent, also and above all following the collapse of the Civic tower of Pavia which occurred the previous year. The episode had raised general attention to the need to monitor more unsafe historic buildings and had promoted the provision of state funding for municipalities with more risky situations. It is thanks to these loans that the Torre dei Gambulini and that of the Zuccaro had been subjected to the consolidation interventions scheduled in the previous months. It was believed that the intervention on the Torre dello Zuccaro was the most urgent from a static point of view due to the evident cracks that appeared on the external surfaces. In the meantime, however, we continued to question the need to approach the other towers of the historic center as soon as possible, and in particular those of the Gabbia, the Podestà and the Salaro, about whose static safety many technicians had already expressed their perplexities ⁵⁸. The lack of sufficient funds to manage all emerging problems led

56. *Convegno di riuso dei castelli. Le torri demaniali di Mantova, Relazione redatta dall'ingegnere Gaetano Quarta e dall'architetto Fabio Pigozzi, 1990.* 2

57. "Le torri di Mantova sono sicure? C'è chi dice "sì", c'è chi dice "no", articolo di Werther Gorni, *Gazzetta di Mantova*, 21 Marzo 1989

proprio grazie a questi finanziamenti che la Torre dei Gambulini e quella dello Zuccaro erano state sottoposte agli interventi di consolidamento programmati nei mesi precedenti. Si è ritenuto che l'intervento sulla Torre dello Zuccaro fosse il più urgente da un punto di vista statico a causa delle evidenti fessurazioni che si manifestavano sulle superfici esterne. Nel mentre però ci si continuava ad interrogare sulla necessità di approcciare quanto prima anche le altre torri del centro storico, ed in particolare quelle della Gabbia, del Podestà e del Salaro, riguardo la cui sicurezza statica numerosi tecnici avevano già manifestato le proprie perplessità ⁵⁸. La mancanza di fondi sufficienti alla gestione di tutte le problematiche emergenti infatti portava l'amministrazione comunale a rimandare quanto più possibile ogni intervento prorogabile. Un discorso differenziato va fatto in base alla proprietà di appartenenza delle singole torri: le numerose emergenze monumentali mantovane si suddividono infatti tra proprietà private, demaniali e del comune. Queste ultime sono senza dubbio quelle più svantaggiate dalla possibilità di subire interventi consistenti, in quanto i fondi da destinare a questa tipologia sono sempre molto ridotti. Non è un caso che le prime a subire interventi, sebbene non fossero nemmeno le situazioni più urgenti (la Torre

the municipal administration to postpone any extendable intervention as much as possible. A differentiated discourse must be made on the basis of the ownership of the individual towers: the numerous monumental emergencies of Mantua are in fact divided between private, state-owned and municipal properties. The latter are undoubtedly the most disadvantaged by the possibility of undergoing substantial interventions, as the funds to be allocated to this type are always very limited. It is no coincidence that the first to undergo interventions, although they were not even the most urgent situations (the Torre dei Gambulini was in apparent good condition even then) were precisely those owned by the state property, whose economic availability made it more immediate the intervention. As evidence of this evident disparity, a few years later, after the consolidation works on the Gambulini and Zuccaro towers were completed, monitoring activities were continued as far as possible to ascertain the actual static safety obtained; attention then shifted to the Torre di Sant'Alò, which is also state property. ⁵⁹

As can be read in the report drawn up by engineer Gaetano Quarta and intended for the Finance Office of Mantua and by correspondence to the Water Authority Provveditorato Regionale OO.PP. operating

58. "Scatta l'"emergenza torri": due sono sotto cura ma ne restano altre a rischio", articolo di Werther Gorni, *Gazzetta di Mantova*, 21 Marzo 1990

dei Gambulini era in apparente buono stato di conservazione già allora) siano state proprio quelle di proprietà del demanio, le cui disponibilità economiche rendevano più immediato l'intervento. A riprova di questa disparità evidente, pochi anni dopo, conclusi i lavori di consolidamento sulla Torre dei Gambulini e su quella dello Zuccaro, si proseguì quanto più possibile un'attività di monitoraggio che ne accertasse l'effettiva sicurezza statica ottenuta; l'attenzione si spostò poi sulla Torre di Sant'Alò, anch'essa di proprietà demaniale ⁵⁹.

Come si può leggere nel resoconto redatto dall'ingegner Gaetano Quarta e destinato all'Intendenza di Finanza di Mantova e per corrispondenza al Magistrato delle Acque Provveditorato Regionale OO.PP. nucleo operativo di Mantova che in una *raccomandata urgente datata 23 Marzo 1989* lo avevano incaricato di effettuare il sopralluogo delle tre torri demaniali ed altri immobili storico-artistici appartenenti al demanio (quali l'ex Convento e la Chiesa della SS. Trinità) e restituirne il quadro dello stato di conservazione e delle condizioni statiche, la situazione della Torre dei Gambulini era senza dubbio la meno preoccupante se paragonata a quella dello Zuccaro e di Sant'Alò. Come si legge, la torre al momento del sopralluogo: *"Non presenta*

nucleus of Mantua which in an urgent registered letter dated 23 March 1989 had charged him with carrying out the inspection of the three state-owned towers and other historical-artistic properties belonging to the state property (such as the former Convent and the Church of the Holy Trinity) and return the framework of the state of conservation and static conditions, the situation of the Gambulini Tower was undoubtedly the least worrying when compared to that of the Zuccaro and Sant'Alò. As we read, the tower at the time of the inspection: "It does not show any cracks and therefore it is apparently in a good state of conservation. However, it would be advisable to prepare investigations on the foundation subsoil and instrumental investigations on the walls, of the type described above (regarding the other two towers) for a prudent static verification." The investigations already mentioned that the engineer considered necessary were specifically: investigations on the foundation subsoil, inspections of the masonry fabric on the various floors, direct analysis of the samples taken with transverse coring or endoscopy, application of flat jacks at the base of the tower for the relief of the stress state, continuous monitoring by strain gauge of any cracks. The general picture of the state of the three towers was followed by the request for the disbursement of the

59. "La Torre di Sant'Alò fa il check-up. Messi in evidenza gli stemmi dei merli", *Gazzetta di Mantova*, 18 Aprile 1993.

fessurazioni di sorta e quindi apparentemente è in buono stato di conservazione. Tuttavia, sarebbe opportuno predisporre indagini sul sottosuolo di fondazione ed indagini strumentali sulle murature, del tipo innanzi esposto (in merito alle altre due torri) per una prudentiale verifica statica.” Le indagini già menzionate che l’ingegnere riteneva necessarie erano nello specifico: indagini sul sottosuolo di fondazione, ispezioni del tessuto murario ai vari piani, analisi diretta dei campioni prelevati con carotaggio trasversale o con endoscopia, applicazione di martinetti piatti alla base della torre per il rilievo dello stato tensionale, monitoraggio continuo tramite estensimetro delle eventuali fessurazioni. Al quadro generale dello stato delle tre torri seguiva la richiesta di elargizione dei fondi necessari a realizzare tempestivamente le indagini programmate, che esulavano dal programma di manutenzione ordinaria e straordinaria sugli edifici demaniali predisposto dal Magistrato alle Acque ⁶⁰.

Nel 2010, a seguito degli interventi di recupero che hanno coinvolto l’archivio di Stato di Mantova, viene espressa per la prima volta l’idea di riqualificare la Torre annessa, già allora in disuso, rendendola una nuova risorsa didattica e turistica per l’Archivio e per Mantova tutta. L’obiettivo è

funds necessary to promptly carry out the planned investigations, which went beyond the ordinary and extraordinary maintenance program on state-owned buildings prepared by the Magistrato alle Acque ⁶⁰.

In 2010, following the recovery interventions that involved the Mantua State Archives, the idea of redeveloping the annexed tower, already in disuse at the time, was expressed for the first time, making it a new didactic and tourist resource for the Archive and for all of Mantua. The goal is to make the Tower a panoramic observatory on the city which, at the time, did not have one ⁶¹.

The first and only proposal for a reuse project for the tower dates back to 2011 and was never built. Commissioned by the Municipality of Mantua and the State Archives of Mantua, the COPRAT studio in Mantua proposed its own idea of reuse, based on the desire expressed several times by the then director of the Archives, Dr. Daniela Ferrari. The goal that the project wanted to pursue was to make the tower a panoramic observation point of the historic center of Mantua, making it accessible to the public and thus inserting it in all respects into the tourist circuit of the city. After having carried out the study of the historical events and the state of affairs, the restoration and construction of a panoramic

60. “Stato di conservazione e condizioni statiche delle Torri Demaniali denominate degli Zuccaro, di S’Alò e dei Gambulini in Mantova”, in *Documenti sparsi inerenti le torri demaniali di Mantova*, Archivio di Stato Mantova, 1989

61. “Torre Gambulini Terrazza sul centro alta 32 metri”, *Gazzetta di Mantova*, 4 Marzo 2010

quello di rendere la Torre un osservatorio panoramico sulla città che, allora, ne era sprovvista.⁶¹

Al **2011** risale la prima e unica proposta di progetto di riuso della torre, mai realizzato. Su commissione del Comune di Mantova e dell'Archivio di Stato di Mantova, lo studio COPRAT di Mantova ha proposto la propria idea di riuso, basandosi sul desiderio espresso più volte dall'allora direttrice dell'Archivio, la dottoressa Daniela Ferrari. L'obiettivo che il progetto voleva perseguire era quello di rendere la torre punto di osservazione panoramica del centro storico di Mantova, rendendola accessibile al pubblico e inserendola così a tutti gli effetti nel circuito turistico della città. Dopo averne effettuato lo studio delle vicende storiche e dello stato di fatto, se ne è proposto il restauro e la realizzazione di una terrazza panoramica sulla sommità. Per quanto riguarda la gestione del monumento è stato coinvolto il FAI che ha espresso volontà e disponibilità alla collaborazione in tal senso, per la gestione dei flussi del pubblico. Avendo lo studio di fattibilità per il riuso della Torre ottenuto dalla Soprintendenza per i Beni Architettonici e Paesaggistici di Brescia, Cremona e Mantova un parere di massima favorevole con comunicazione del 6 novembre 2009, prot. 11554, ne è stata richiesta la documentazione di rito: rilievo geometrico, materico e del degrado e dei dissesti statici e/o carenze strutturali. Per la realizzazione dei suddetti rilievi l'Archivio

terrace on the top was proposed. As regards the management of the monument, the FAI was involved and expressed its willingness and availability to collaborate in this sense, for the management of public flows. Having the feasibility study for the reuse of the Tower obtained from the Superintendence for Architectural and Landscape Heritage of Brescia, Cremona and Mantua, a favorable opinion in general with communication of 6 November 2009, prot. 11554, the required documentation was requested: geometric, material and decay and static instability and / or structural deficiencies survey. For the realization of the aforementioned surveys, the State Archives requested the collaboration of the Politecnico di Milano, Mantua office, as part of the purposes of the Research Doctorate in "Project and Technologies for the Enhancement of Cultural Heritage", which, however, is not then he was never entrusted with the task. The intervention, carefully thought out and adapted to the needs of the case, has never actually been carried out, removing once and for all the hypothesis of reuse so much supported by both the Municipality and the State Archives.⁶²

In **2012** the Mantua area was affected by the earthquakes of 20 and 29 May with the epicenter respectively in Finale Emilia and Medolla, which were followed by further, milder tremors in the following weeks. A seismic episode that caused the appearance of substantial cracking phenomena not so much directly on the walls of the Tower as

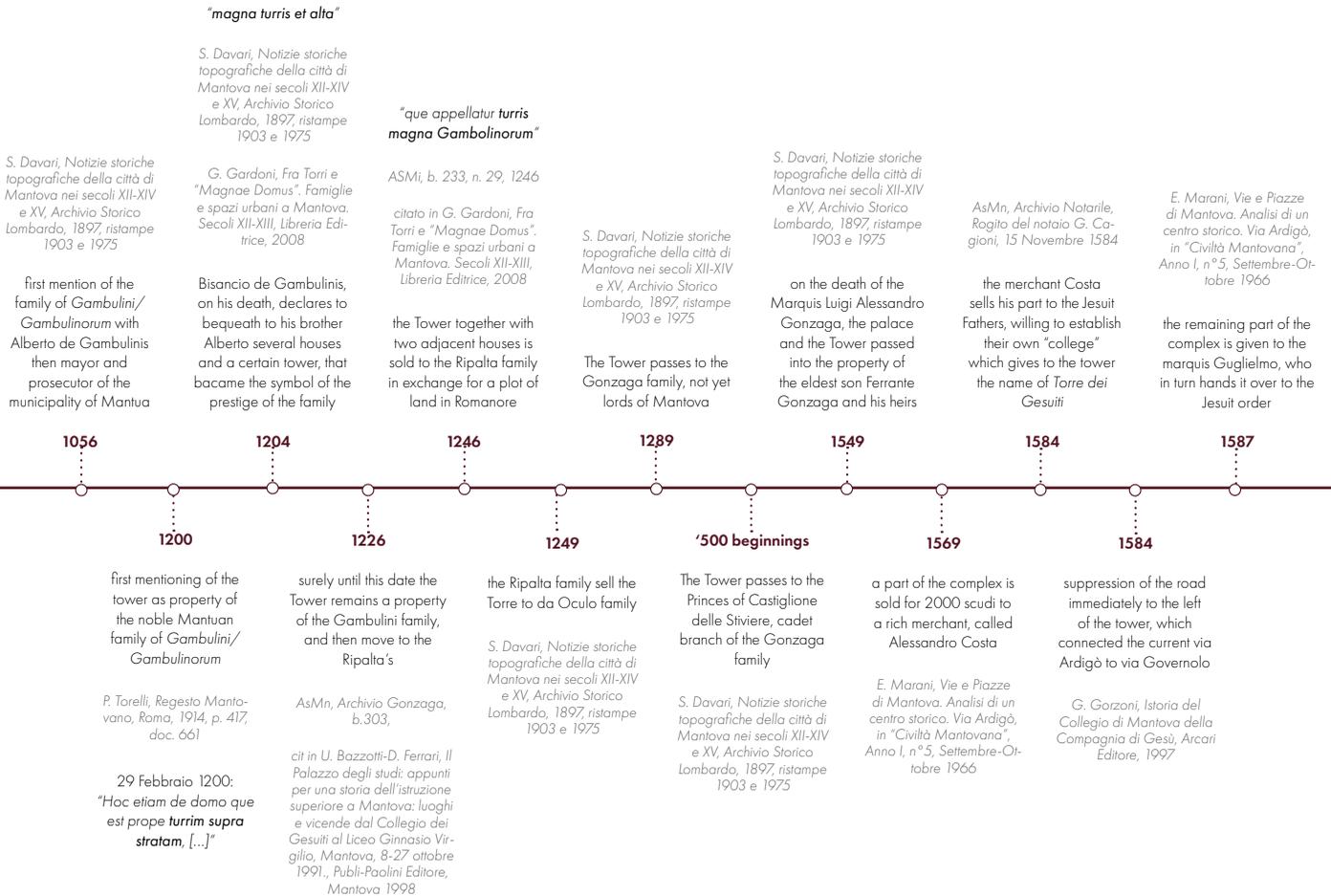
di Stato ha chiesto la collaborazione al Politecnico di Milano, sede di Mantova, nel quadro delle finalità del Dottorato di Ricerca in "Progetto e Tecnologie per la Valorizzazione dei Beni culturali", al quale tuttavia non è poi mai stato affidato l'incarico. L'intervento, attentamente pensato e adeguato alle esigenze del caso, non è poi nel concreto mai stato realizzato, allontanando una volta per tutte l'ipotesi di riuso tanto sostenuta sia dal Comune che dell'Archivio di Stato.⁶²

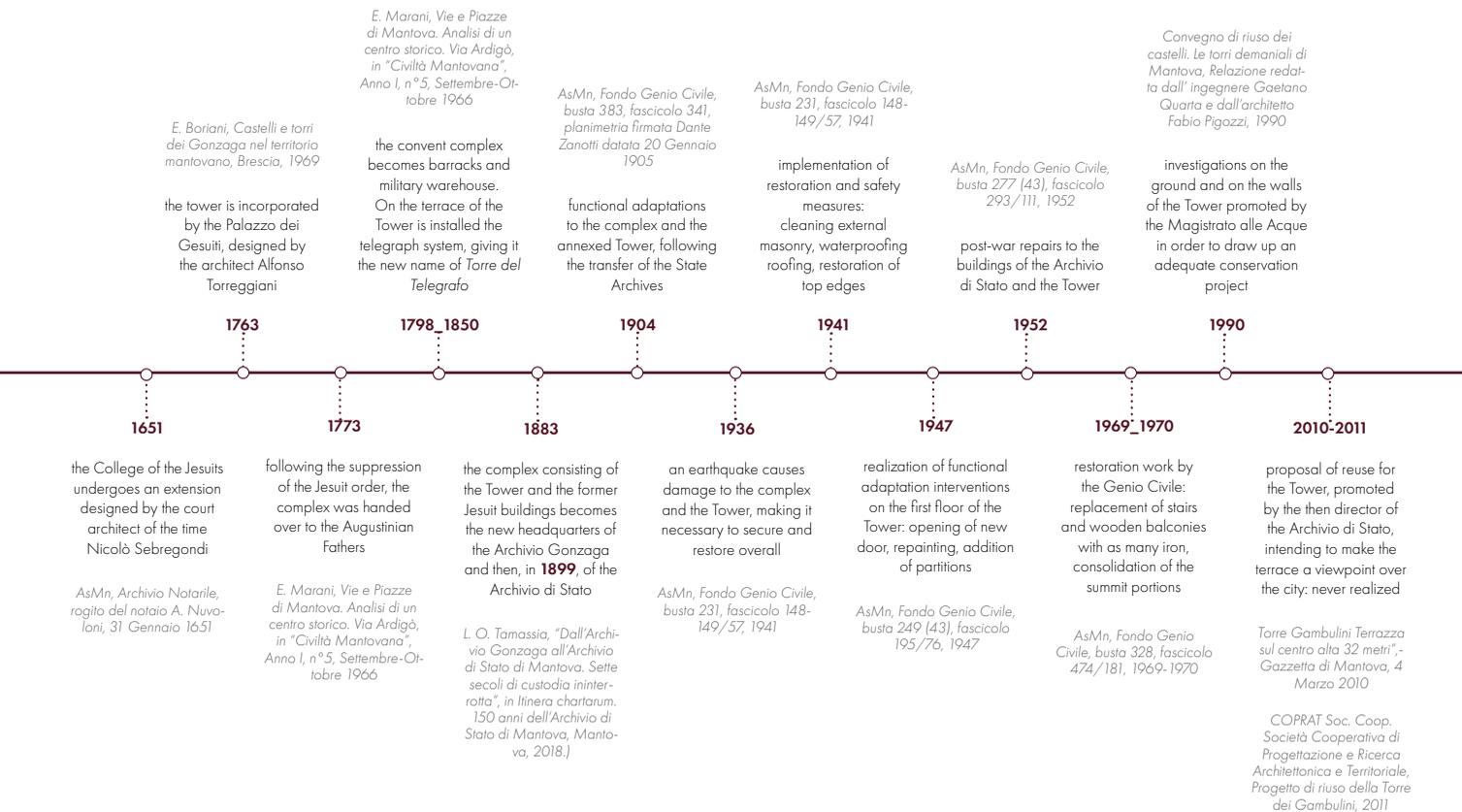
Nel 2012 il territorio mantovano ha risentito delle scosse di terremoto del 20 e 29 Maggio con epicentro rispettivamente a Finale Emilia e Medolla, alle quali hanno fatto seguito ulteriori scosse più lievi nelle settimane successive. Un episodio sismico che ha causato la comparsa di consistenti fenomeni di fessurazione non tanto direttamente sulle murature della Torre quanto più sulle pareti dell'Archivio appoggiate alla Torre, che sono senza dubbio i punti di maggiore fragilità in questo tipo di situazioni. Nessuna di esse, tuttavia, è stata ritenuta evidentemente pericolosa in quanto a seguito di sopralluogo da parte dei tecnici competenti all'edificio è stata confermata la piena agibilità. Ciò a riprova di come da un punto di vista statico la Torre in oggetto abbia nuovamente dimostrato la propria solidità anche rispetto ad altre sue contemporanee.

more on the walls of the Archive leaning against the Tower, which are undoubtedly the points of greatest fragility in this type of situations. None of them, however, was clearly considered dangerous as following an inspection by the competent technicians of the building, full usability was confirmed. This proves how from a static point of view the Tower in question has again demonstrated its solidity even with respect to other of its contemporaries.

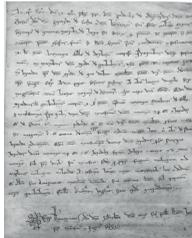
62. COPRAT Soc. Coop. Società Cooperativa di Progettazione e Ricerca Architettonica e Territoriale, *Progetto di riuso della Torre dei Gambulini*, 2011

the historical events on a timeline





archival register



N°1

Luogo e data: Mantova, 10 Febbraio 1226

Collocazione: AsMn, Archivio Gonzaga, b.303

Oggetto: Rogito notarile

Descrizione: Rogito notarile redatto “*sub porticu turris gambulinorum*”, che dimostra come al momento la torre ancora fosse proprietà della famiglia Gambulini.



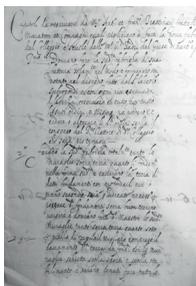
N°2

Luogo e data: Mantova, 15 Novembre 1584

Collocazione: AsMn, Archivio Notarile

Oggetto: Rogito notarile

Descrizione: Rogito notarile redatto dal Notaio Cagioni in occasione della vendita da parte del mercante Costa della propria parte del palazzo ai Gesuiti, intenzionati ad istituirvi il proprio “collegio”



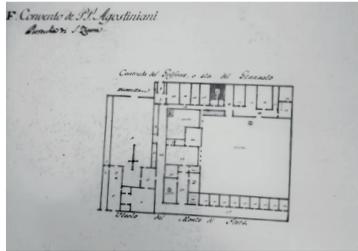
N°3

Luogo e data: Mantova, 31 Gennaio 1651

Collocazione: AsMn, Archivio Notarile

Oggetto: Rogito notarile

Descrizione: Rogito notarile redatto dal notaio Nicolò Sebregondi che illustra i capitoli d'appalto sottoscritti in occasione dell'ampliamento del Collegio dei Gesuiti nel corso del Seicento.



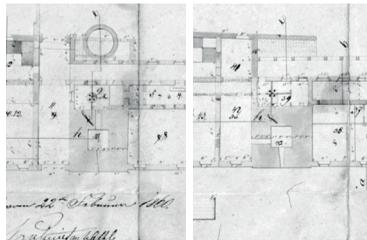
N°4

Luogo e data: Mantova, XVIII sec

Collocazione: AsMn, Documenti sparsi

Oggetto: Planimetria "F Convento dei P.P. Agostiniani"

Descrizione: Planimetria del convento riferita al periodo in cui gli Agostiniani presero il posto dei Gesuiti. Si noti il sedime della Torre dei Gambulini, completamente inglobata nel complesso.



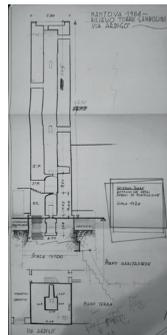
N°5

Luogo e data: Mantova, 1860

Collocazione: AsMn, Documenti sparsi

Oggetto: Planimetria

Descrizione: Planimetrie del complesso dell'Archivio conservate presso l'Archivio di Stato Austriaco (Kriegsarchiv di Vienna)



N°6

Luogo e data: Mantova, 1884

Collocazione: AsMn, Faldone "Torri demaniali Mantova. Varie e corrispondenze"

Oggetto: Rilievo

Descrizione: Sezione di rilievo che mostra il piano interrato della torre e un'indicazione piuttosto precisa dell'andamento delle fondazioni. A tal proposito, si fa riferimento anche ad uno schema di rotazione degli anelli di fondazione



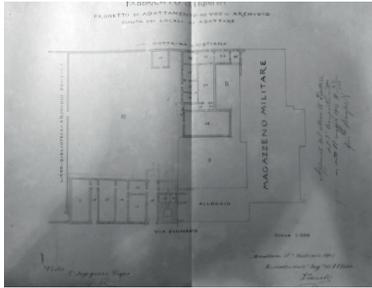
N°7

Luogo e data: Mantova, 11 Settembre 1900

Collocazione: AsMn, Fondo Genio Civile, busta 383, fascicolo 341

Oggetto: Fabbrica di S. Trinità. Progetto di adattamento ad uso archivio.

Descrizione: Planimetria dell'Archivio in cui compare anche la Torre.



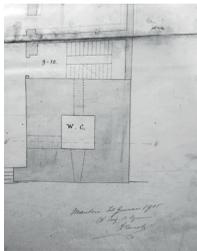
N°8

Luogo e data: Mantova, 11 Maggio 1903

Collocazione: AsMn, Fondo Genio Civile, busta 383, fascicolo 341

Oggetto: Fabbrica di S. Trinità. Progetto di adattamento ad uso archivio. Pianta dei locali da adattare.

Descrizione: Planimetria dei locali da adattare dell'archivio in cui compare anche la Torre.



N°9

Luogo e data: Mantova, 20 Gennaio 1905

Collocazione: AsMn, Fondo Genio Civile, busta 383, fascicolo 341

Oggetto: Planimetria

Descrizione: Planimetria firmata dall'ingegnere Dante Zanotti che indica la presenza di un WC al piano terra della Torre



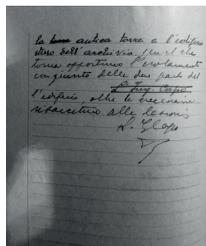
N°10

Luogo e data: Mantova, 20 Ottobre 1936

Collocazione: AsMn, Fondo Genio Civile, busta 231, fascicolo 148-149/57

Oggetto: Richiesta "Verifiche ai locali del R. Archivio di Stato"

Descrizione: Richiesta ufficiale da parte dell'Archivio di Stato al Genio Civile di effettuare una verifica dei locali poiché "a cause delle recenti scosse telluriche si sono prodotte delle lesioni nei locali di questo R. Archivio di Stato e nella Torre sovrastante i locali stessi"



N°11

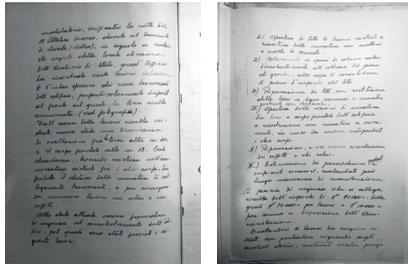
Luogo e data: Mantova, 6 Novembre 1936

Collocazione: AsMn, Fondo Genio Civile, busta 231, fascicolo 148-149/57

Oggetto: "Danni terremoto 18 Ottobre Sacile"

Descrizione: Resoconto sopralluogo effettuato sugli

ambienti dell'Archivio e della Torre in seguito alle scosse di terremoto avvenute nel 1936 con epicentro nel comune di Sacile (Pordenone). Si riporta in particolare che "le lesioni si ritengono dovute alla discordanza di oscillazioni tra l'antica torre e l'edificio stesso dell'archivio."



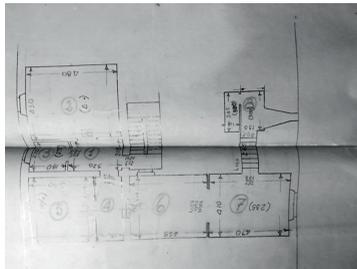
N° 12

Luogo e data: Mantova, 1936

Collocazione: AsMn, Fondo Genio Civile, busta 231, fascicolo 148-149/57

Oggetto: "Interventi suggeriti"

Descrizione: Interventi urgenti suggeriti dal Genio Civile a seguito del sopralluogo effettuato sugli ambienti dell'Archivio e sulla Torre.



N° 13

Luogo e data: Mantova, 1941

Collocazione: AsMn, Fondo Genio Civile, busta 231, fascicolo 148-149/57

Oggetto: Archivio di Stato, primo piano.

Descrizione: Planimetria che mostra gli interventi realizzati al primo piano dell'archivio e della Torre.

INDICAZIONE DEI LAVORI E DELLE SOMMINISTRANZE		LAVORI	QUANTITÀ	PREZZI
DATA				
36	18-5-1931	Restauri di manutenzione e lavori di abbellimento all'interno del castello di Sacile, per la parte superiore della torre. Lasciare in opera le parti in legno e in ferro, e sostituire con cemento e ferro le parti in muratura e in pietra. Lasciare in opera le parti in legno e in ferro, e sostituire con cemento e ferro le parti in muratura e in pietra.		
35	2	18-5-1931	Intonaco di colore rosso-rosa, lavori di abbellimento all'interno del castello di Sacile, per la parte superiore della torre. Lasciare in opera le parti in legno e in ferro, e sostituire con cemento e ferro le parti in muratura e in pietra.	
36	18-5-1931	Costruzione di un castello in legno per la parte superiore della torre. Lasciare in opera le parti in legno e in ferro, e sostituire con cemento e ferro le parti in muratura e in pietra.		
37	18-5-1931	Intonaco di colore rosso-rosa, lavori di abbellimento all'interno del castello di Sacile, per la parte superiore della torre. Lasciare in opera le parti in legno e in ferro, e sostituire con cemento e ferro le parti in muratura e in pietra.		

N° 14

Luogo e data: Mantova, 1941

Collocazione: AsMn, Fondo Genio Civile, busta 231, fascicolo 148-149/57

Oggetto: Computi metrico-estimativo

Descrizione: Computi che illustrano dettagliatamente gli interventi realizzati sulla Torre in occasione dei restauri del 1941, tra i quali: "[...]34. Costruzione di castello in legname per lavori di manutenzione al torrione dell'Archivio di Stato alto metri 40, con ponti all'altezza di metri 3 l'uno dall'altro incastrati nelle murature compreso l'onere del montacarichi, nonché la rimozione a lavori finiti e la ripresa di tutti i fori praticati nelle murature al metro quadrato di torre coperta dal ponteggio; 35. Intonaco di

calce idraulica tirato a civile stilatura: Pareti interne, Parapetto terrazzo, Copertura torre; 36. Copertura cornice attico con tre strati di cartonicatramati disposti uno in senso contrario all'altro e spalmati ad ogni strato con mastice tipo isoliti a lavoro finito. Terrazzo attico e pareti parapetto. 37. Fornitura e posa in opera di vetri stampati doppi per lucernari botole terrazzo.[...]"



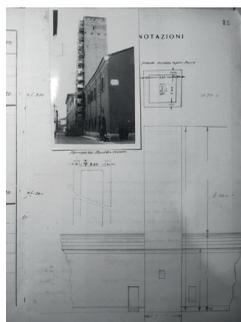
N° 15

Luogo e data: Mantova, 1941

Collocazione: AsMn, Fondo Genio Civile, busta 231, fascicolo 148-149/57

Oggetto: Fotografie

Descrizione: Fotografie che mostrano la Torre completamente ponteggiata durante gli interventi di restauro



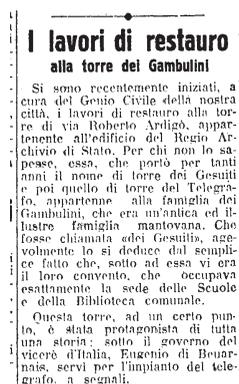
N° 16

Luogo e data: Mantova, 1941

Collocazione: AsMn, Fondo Genio Civile, busta 231, fascicolo 148-149/57

Oggetto: Rilievi

Descrizione: Disegni i rilievi dello stato di fatto prima degli interventi di restauro programmati sulla Torre



N° 17

Luogo e data: Mantova, 22 Maggio 1941

Collocazione: AsMn, Faldone "Torri demaniali Mantova. Varie e corrispondenze"

Oggetto: Articolo di giornale_ "I lavori di restauro alla Torre dei Gambulini" edito su *La Voce di Mantova*

Descrizione: Articolo che tratta degli inizi degli interventi di restauro sulla Torre dei Gambulini e sulla storia della stessa.



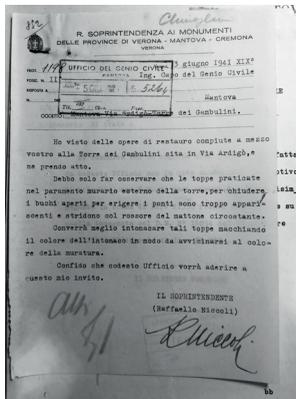
N° 18

Luogo e data: Mantova, 1941

Collocazione: AsMn, Fondo Genio Civile, busta 231, fascicolo 148-149/57

Oggetto: Fotografia alla torre post intervento

Descrizione: Nella fotografia scattata al termine dei lavori eseguiti sulle facciate della Torre è possibile vedere chiaramente i segni lasciati dalla chiusura delle buche pontaiate realizzate per l'installazione dei ponteggi.



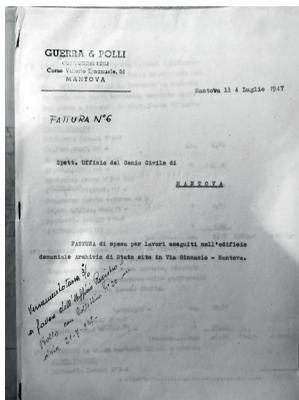
N° 19

Luogo e data: Mantova, 3 Giugno 1941

Collocazione: AsMn, Fondo Genio Civile, busta 231, fascicolo 148-149/57

Oggetto: Mantova Via Ardigò- Torre dei Gambulini

Descrizione: Richiesta ufficiale inviata da Soprintendenza a Genio Civile per riprendere gli interventi di chiusura delle buche pontaiate realizzate per il ponteggio usato durante i lavori, la cui chiusura è avvenuta in maniera "troppo appariscente".



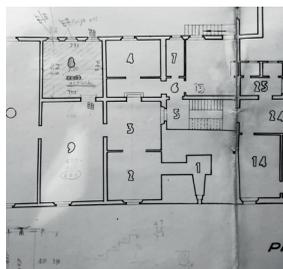
N° 20

Luogo e data: Mantova, 4 Luglio 1947

Collocazione: AsMn, Fondo Genio Civile, busta 249 (43), fascicolo 195/76, 1947

Oggetto: Fattura di spesa per i lavori eseguiti nell'edificio demaniale Archivio di Stato sito in via Ginnasio-Mantova

Descrizione: La Torre è stata oggetto di alcuni interventi che riguardarono principalmente il primo piano, volti all'apertura di nuove porte, l'inserimento di tramezzi divisorii nel deposito e la ritinteggiatura con latte di calce o colore a due passate



N°21

Luogo e data: Mantova, 1952

Collocazione: AsMn, Fondo Genio Civile, busta 277 (43), fascicolo 293/111, 1952

Oggetto: "Lavori di riparazione all'ex convento S. Trinità ora sede Archivio Di Stato danneggiato daeventi bellici", planimetrie

Descrizione: Planimetrie del complesso dell'Archivio di Stato e della Torre ad esso inglobata.

DATA della opera	INDICAZIONE DEI LAVORI e delle parti	Quantità	Unità
8-10-1970	25 Ripulire tutte le facce esposte di ogni muro in un'area di circa 100 mq. con pulitura a getto d'acqua ad alta pressione e rimozione dei residui di malta e intonaco deteriorati. Base: LOCALI A: gradienza alla massoneria		
9-10-1970	22 Sottopavimento in malta e struttura lignea formati alla base - m. 1,20 - in alcuni punti in sostituzione della muratura esistente con muratura in mattoni refrattari e argilla con strati di ghiaia e sabbia in questi strati. Inoltre dove non possibile, nel caso di muratura esistente in pietra. TABELLE: Sottopavimento in mattoni refrattari e argilla in strati di ghiaia e sabbia in questi strati. Inoltre dove non possibile, nel caso di muratura esistente in pietra. TABELLE: Sottopavimento in mattoni refrattari e argilla in strati di ghiaia e sabbia in questi strati. Inoltre dove non possibile, nel caso di muratura esistente in pietra. TABELLE:		
10-10-1970	21 Sottopavimento in malta e struttura lignea formati alla base - m. 1,20 - in alcuni punti in sostituzione della muratura esistente con muratura in mattoni refrattari e argilla con strati di ghiaia e sabbia in questi strati. Inoltre dove non possibile, nel caso di muratura esistente in pietra. TABELLE: Sottopavimento in mattoni refrattari e argilla in strati di ghiaia e sabbia in questi strati. Inoltre dove non possibile, nel caso di muratura esistente in pietra. TABELLE:		

N°22

Luogo e data: Mantova, 1970

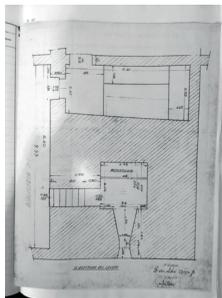
Collocazione: AsMn, Fondo Genio Civile, busta 328, fascicolo 474/181, 1969-1970

Oggetto: Computo metrico estimativo

Descrizione: Descrizione degli interventi realizzati in occasione del restauro degli anni '70: "8. Taglio alla fiamma ossidaria dei gradini alla marinara in ferro tondo diametro 22, infissi nel primo ripiano di partenza della torre; 9. Demolizione di solai vetusti e pericolanti a struttura lignea [...] cernita, pulitura e accatastamento dei materiali reimpiegabili [...]; 10. Demolizione di muratura in malta di qualunque natura e spessore, retta o curva, a qualsiasi altezza o profondità, cernita, pulitura e accatastamento dei materiali reimpiegabili [...] Messa in opera di divisorio con ripostiglio scala alla marinara; 11. Sottopavimento per pavimenti formati da uno strato di conglomerato cementizio [...]; 12. Copertura di attici o per qualsiasi altra destinazione dello spessore medio di 15cm in conglomerato cementizio [...], il ferro per l'armatura, la tiratura ad intonaco di cemento delle facce viste [...]; 13. Manto impermeabile per copertura piano da: caldana di fondo in malte magre per la regolarizzazione delle pendenze e superiore spolveratura di sabbia fine asciutta per lo spessore di cm 1, da tre strati di cartonghesso disposti falsati e abbondantemente

10	20	LOCALI A: Sottopavimento in malta e struttura lignea formati alla base - m. 1,20 - in alcuni punti in sostituzione della muratura esistente con muratura in mattoni refrattari e argilla con strati di ghiaia e sabbia in questi strati. Inoltre dove non possibile, nel caso di muratura esistente in pietra. TABELLE: Sottopavimento in mattoni refrattari e argilla in strati di ghiaia e sabbia in questi strati. Inoltre dove non possibile, nel caso di muratura esistente in pietra. TABELLE: Sottopavimento in mattoni refrattari e argilla in strati di ghiaia e sabbia in questi strati. Inoltre dove non possibile, nel caso di muratura esistente in pietra. TABELLE:		
11	18-10-1970	29 Sottopavimento per pavimenti formati da uno strato di conglomerato cementizio di spessore medio di 15cm in conglomerato cementizio [...], il ferro per l'armatura, la tiratura ad intonaco di cemento delle facce viste [...]; 13. Manto impermeabile per copertura piano da: caldana di fondo in malte magre per la regolarizzazione delle pendenze e superiore spolveratura di sabbia fine asciutta per lo spessore di cm 1, da tre strati di cartonghesso disposti falsati e abbondantemente		

spalmati con bitume [...]; 14. Costruzione dei ponti di servizio tipo innocenti o similari per la posa in opera di scale e ripiani nella torre [...]; 15. Pianerottoli di scale di accesso alla sommità della torre costituiti da travi a doppio T ancorate nella muratura e da lamiere stirate saldate superiormente alle travi di cui sopra [...]; 16. Manufatti in ferro piatto, tondo, quadrato cavo ecc, per parapetti [...]; 46. Spazzolatura di pareti interne, soffitti e facciate esterne con spazzole in ferro od alla saggina [...]; 47. Tinteggiatura a tempera di pareti interne e soffitti a due passate [...] (Primo piano torre)



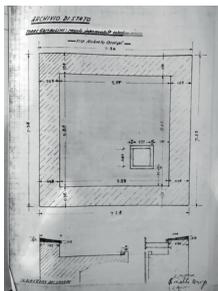
N°23

Luogo e data: Mantova, 1970

Collocazione: AsMn, Fondo Genio Civile, busta 328, fascicolo 474/181, 1969-1970

Oggetto: Planimetria piano primo Torre

Descrizione: Rappresentazione grafica degli interventi previsti e descritti nel computo sopra.



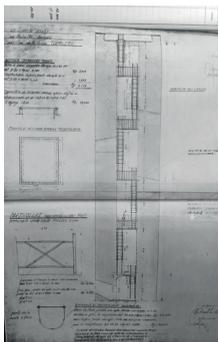
N°24

Luogo e data: Mantova, 1970

Collocazione: AsMn, Fondo Genio Civile, busta 328, fascicolo 474/181, 1969-1970

Oggetto: Planimetria attico Torre

Descrizione: Rappresentazione grafica degli interventi previsti e descritti nel computo sopra.



N°25

Luogo e data: Mantova, 1970

Collocazione: AsMn, Fondo Genio Civile, busta 328, fascicolo 474/181, 1969-1970

Oggetto: Sezione Torre

Descrizione: Rappresentazione grafica degli interventi previsti e descritti nel computo sopra.



N°26

Luogo e data: Mantova, 1988

Collocazione: AsMn, Fototeca Mantovana

Oggetto: Fotografia

Descrizione: Fotografia che mostra l'interno della torre in seguito agli interventi che hanno coinvolto la sostituzione dei pianerottoli e delle scalette alla marinara

Raccomandata - URGENTE - Mod. 1 (due parti) -
 Mantova, 23/3/1989 - 19

INTENDENZA DI FINANZA
 di MANTOVA
 Prov. N° 2402/89 - Dep. 2. Imp.

Al Magistrate alle Acque -
 Nucleo Operativo - MANTOVA

Alla Soprintendenza
 per i Beni Monumentali e
 Architettonici di MANTOVA

Alla Soprintendenza
 per i Beni Artistici
 e Storici di MANTOVA

All'Ufficio Tecnico
 Municipale di MANTOVA

OGGETTO:
 Convento Demaniale pubblico, resta artistico-storico-archeologico.
 Mantova - Ex Convento e Chiesa SS. Trinità, torre Gambulini-

Si pregano gli uffici in indirizzo, ciascuno
 per quanto di rispettiva competenza, volere riferire sullo
 stato di conservazione dell'immobile demaniale in og-
 getto ed in particolare sulla situazione statica dello
 stesso.

La richiesta riveste carattere di particolare
 urgenza anche al fine della sicurezza ed incolumità pub-
 blica.

L'INTERENDE LEGGI.
 (Dr. Alfonso *[firma]*)

MANTOVA 23 MAR 1989
 MAGISTRATO ALLE ACQUE
 NUCLEO OPERATIVO
 VIA S. M. M. 2 - 46100 MANTOVA
 TEL. 0376/261111

N°27

Luogo e data: Mantova, 23 Marzo 1989

Collocazione: AsMn, Documenti sparsi inerenti le torri demaniali di Mantova

Oggetto: Raccomandata urgente

Descrizione: L'Intendenza di Finanza di Mantova e per corrispondenza al Magistrato delle Acque Proveditorato Regionale OO.PP. nucleo operativo di Mantova conferiscono all'ingegner Gaetano Quarta l'incarico di effettuare un sopralluogo delle tre torri demaniali ed altri immobili storico-artistici appartenenti al demanio (quali l'ex Convento e la Chiesa della SS. Trinità) e restituirne il quadro dello stato di conservazione e delle condizioni statiche

N°28

Luogo e data: Mantova, 1989

Collocazione: AsMn, Documenti sparsi inerenti le torri demaniali di Mantova

Oggetto: Richiesta offerta prezzi per sondaggi e prove da eseguirsi sulla Torre dei Gambulini

Descrizione: Spiegazione dettagliata delle indagini da richiedere nel preventivo da sottoporre a 3 ditte selezionate:

- Sondaggi meccanici a rotazione continua per rilievo della stratigrafia del terreno di fondazione
- Rilievo geometrico delle fondazioni
- Verifica dello stato di sollecitazione nella muratura

TORRE GAMBULINI
 Richiesta offerta prezzi per sondaggi e prove da eseguirsi sulla Torre dei Gambulini

- 1989 S.S. Chiesa di S. Trinità
 - 1989 S.S. Chiesa di S. Trinità
 - 1989 S.S. Chiesa di S. Trinità
 - 1989 S.S. Chiesa di S. Trinità

1) Esecuzione di sondaggi meccanici a rotazione continua per rilievo della stratigrafia del terreno di fondazione e rilevamento geometrico delle fondazioni.

2) Rilievo geometrico delle fondazioni.

3) Verifica dello stato di sollecitazione nella muratura.

Descrizione: Articolo che si interroga sulla sicurezza delle torri di Mantova.



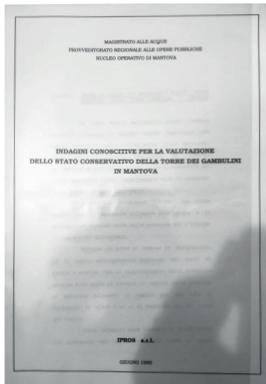
N° 31

Luogo e data: Mantova, 21 Marzo 1990

Collocazione: AsMn, Faldone "Torri demaniali Mantova. Varie e corrispondenze"

Oggetto: Articolo di giornale_ "Scatta l'«emergenza torri»: due sono sotto cura ma ne restano altre a rischio edito su la Gazzetta di Mantova

Descrizione: Articolo che si interroga sulla necessità di monitorare ed intervenire adeguatamente su tutte le torri di Mantova, in occasione dei lavori già avviati sulla Torre dei Gambulini e dello Zuccaro.



N° 32

Luogo e data: Mantova, 1990

Collocazione: AsMn, Faldone "Torri demaniali Mantova. Varie e corrispondenze"

Oggetto: Indagini conoscitive per lo stato di valutazione della Torre dei Gambulini in Mantova

Descrizione: Relazione redatta dall'ingegnere Quarta e dall'architetto Pigozzi in seguito alle indagini sulla torre e sul terreno di fondazione.



N° 33

Luogo e data: Mantova, 18 Aprile 1993

Collocazione: AsMn, Faldone "Torri demaniali Mantova. Varie e corrispondenze"

Oggetto: "Monitoraggio periodico per Zuccaro e Gambulini" edito su Gazzetta di Mantova

Descrizione: Articolo che cita il monitoraggio della Torre dei Gambulini



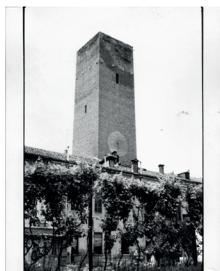
N°34

Luogo e data: Mantova, 25 Aprile 1993

Collocazione: AsMn, Faldone "Torri demaniali Mantova. Varie e corrispondenze"

Oggetto: "I lavori alle torri" edito su Gazzetta di Mantova

Descrizione: Articolo sugli interventi alle Torri



N°35

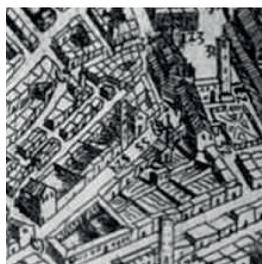
Luogo e data: Mantova, -

Collocazione: AsMn, Fototeca Mantovana

Oggetto: Fotografia

Descrizione: Fotografia che mostra i prospetti esterni Sud ed Ovest della Torre, quando ancora era ben visibile la Meridiana.

historical representations research



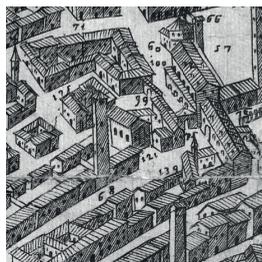
N°1

Luogo e data: Mantova, 1596

Collocazione: Biblioteca Teresiana, Stampe, Rotoli

Oggetto: "*Urbis Mantuae descriptio*", Incisione

Descrizione: Vista prospettica del Bertazzolo che mostra una rappresentazione della torre diversa da quella visibile oggi: copertura a quadrupla falda, maggior numero di bucatore.



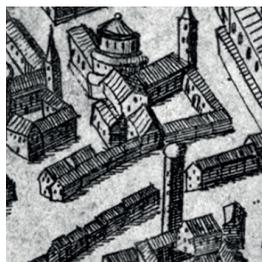
N°2

Luogo e data: Mantova, 1628

Collocazione: Biblioteca Teresiana, Stampe, Rotoli

Oggetto: "*Urbis Mantuae descriptio*", Incisione

Descrizione: Vista prospettica del Bertazzolo che mostra una rappresentazione della torre diversa da quella visibile oggi: copertura a quadrupla falda, maggior numero di bucatore.



N°3

Luogo e data: Mantova, 1630

Collocazione: Biblioteca Teresiana, Stampe, Album A

Oggetto: "*Mantua*", Incisione

Descrizione: Vista prospettica di Joseph Friedrich Leopold in cui non viene rappresentata la Torre dei Gambulini, mentre si vede bene la vicina Torre dello Zuccaro.



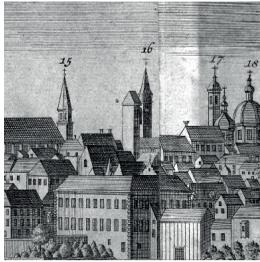
N°4

Luogo e data: Mantova, 1638

Collocazione: Biblioteca Teresiana, Stampe, Album A

Oggetto: "Mantova [carta topografica all'epoca della guerra di successione del ducato 1630]", Incisione

Descrizione: Vista prospettica di Matthaus Merian in cui non viene rappresentata la Torre dei Gambulini, metre si vede bene la vicina Torre dello Zuccaro.



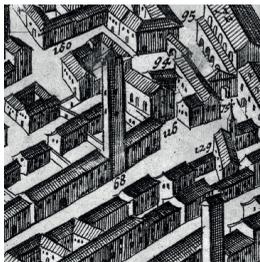
N°5

Luogo e data: Mantova, 1700 circa

Collocazione: Biblioteca Teresiana, Stampe, Rotoli

Oggetto: "Mantua", incisione

Descrizione: Incisione di Friedrich Bernard Wermer che rappresenta la vista di Mantova dal Ponte di San Giorgio. La Torre dei Gambulini viene qui rappresentata con un tetto a doppia falda



N°6

Luogo e data: Mantova, XVIII secolo

Collocazione: Biblioteca Teresiana, Stampe, Album B

Oggetto: "La ville de Mantoue. Luoghi notabili della città di Mantova" Incisione

Descrizione: Vista prospettica realizzata da Pierre Mortier che al numero 68 indica la Torre dei Gambulini come "Torre de R.P. Gesuiti"



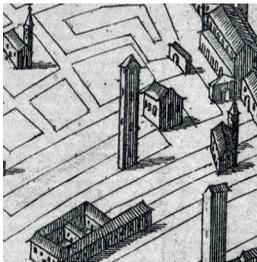
N°7

Luogo e data: Mantova, XVIII secolo

Collocazione: Biblioteca Teresiana, Stampe, BCN

Oggetto: *Veduta di Mantova*

Descrizione: Veduta esterna di Mantova realizzata da Johann Christian Leopold che mostra il profilo della città caratterizzato dalle torri e la Torre dei Gambulini ancora con una copertura a quadrupla falda.



N°8

Luogo e data: Mantova, 1704

Collocazione: Biblioteca Teresiana, Stampe, Album B

Oggetto: *“La ville et environs de Mantoue.*

Presentée a sa Majestèe Fredrich III Roi de Prusse. Electeur de Brandeburg”, Incisione

Descrizione: Vista prospettica realizzata da Pierre Mortier che rappresenta soltanto le emergenze architettoniche più rilevanti del centro storico di Mantova, tra cui la Torre dei Gambulini.



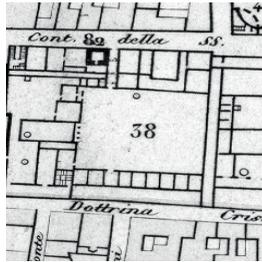
N°9

Luogo e data: Mantova, 1709

Collocazione: Biblioteca Teresiana, Stampe, Album A

Oggetto: *“La fortissima città di Mantova assediata dall’ esercito imperiale l’anno 1709”* Incisione

Descrizione: Vista prospettica realizzata da Alberto Ronco che mostra la Torre dei Gambulini con una copertura a quadrupla falda e numerose aperture oggi non visibili.



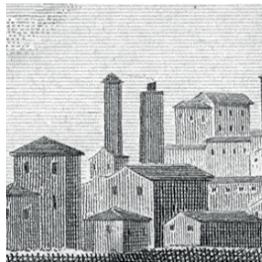
N° 10

Luogo e data: Mantova, 1831

Collocazione: Biblioteca Teresiana, Stampe, Rotoli

Oggetto: "Pianta della Regia Città di Mantova", Cartografia

Descrizione: Planimetria di Giuseppe Ranieri che testimonia la presenza di un passaggio che collegava Via Ardigò a Via Governolo a sinistra della Torre, poi soppresso



N° 11

Luogo e data: Mantova, 1837

Collocazione: Biblioteca Teresiana, Stampe, NTC

Oggetto: "Mantova", Incisione

Descrizione: Vista della città di Mantova realizzata da Audot in cui la Torre dei Gambulini viene rappresentata senza copertura e con l'impianto del telegrafo.



N° 12

Luogo e data: Mantova, 1900 circa

Collocazione: Biblioteca Teresiana, Stampe, Rotoli

Oggetto: "Veduta Esterna della R. Città di Mantova"

Descrizione: Veduta della città da Est che mostra la Torre senza copertura e con l'impianto del telegrafo.



N° 13

Luogo e data: Mantova, 1935

Collocazione: Biblioteca Teresiana, Stampe, Rotoli

Oggetto: *"Pianta della Città di Mantova.*

Pubblicazione dell'amministrazione del catasto e dei servizi tecnici di finanza", planimetria

Descrizione: Cartografia che indica ancora la Chiesa della Santissima Trinità quale

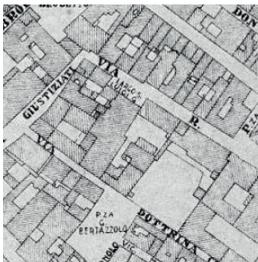
"Casermaggio militare e deposito artiglieria"

e non indica invece la Torre dei Gambulini

quale *"Monumento artistico e storico"*. La Torre

appare qui come parte del complesso che la

ingloba.



N° 14

Luogo e data: Mantova, 1961

Collocazione: Biblioteca Teresiana, Stampe, Rotoli

Oggetto: *Mantova. Planimetria della città,*

planimetria

Descrizione: Cartografia che evidenzia il

profilo della Torre all'interno del complesso

dell'Archivio da cui è stata progressivamente

inglobata.



the geometric survey

2.1_ IL PROGETTO DI RILIEVO

All'interno di un progetto d'intervento sul costruito, il rilievo inteso quale strumento di conoscenza, svolge un ruolo fondamentale nelle conseguenti scelte progettuali. Sulla base di come esso verrà impostato e dunque sulla precisione dei risultati che ne deriveranno si otterrà una riproduzione più o meno fedele del manufatto.

Il rilievo geometrico dimensionale costituisce il primo passo da realizzare al fine di ottenere una conoscenza diretta dell'edificio oggetto di studio. Obiettivo delle operazioni di rilievo è tuttavia la raccolta di quanti più dati possibili sul manufatto, in modo da ottenerne un quadro completo non soltanto a livello geometrico ma anche in funzione della valutazione degli aspetti materici e statici (stato di conservazione, quadro fessurativo, presenza di deformazioni e fuori piombo...).

Il rilievo inteso globalmente come conoscenza dell'esistente potrà essere scisso in due rami paralleli, accomunati dal fine comune della conservazione consapevole del bene. Da una parte si avrà dunque il dimensionamento spaziale dell'edificio (rilievo geometrico), dall'altra l'analisi costruttiva e materica volta alla definizione di un quadro dello stato di conservazione del materiale (indagine diagnostica). In questa fase di analisi, sarà fondamentale indagare quali possano essere i punti libertà ed i punti di vincolo del manufatto, ovvero quegli aspetti che di fatto caratterizzano

2.1_ THE SURVEY PROJECT

Within an intervention project for buildings, the survey intended as an instrument of knowledge plays a fundamental role in the consequent design choices. On the basis of how it will be set up and therefore on the precision of the results that will derive from it, a more or less faithful reproduction of the artifact will be obtained.

The dimensional geometric survey is the first step to be taken in order to obtain direct knowledge of the building under study. The objective of the survey operations is, however, the collection of as much data as possible on the artefact, in order to obtain a complete picture not only at a geometric level but also as a function of the evaluation of the material and static aspects (state of conservation, crack pattern, presence of deformations and out of plumb ...).

The survey understood globally as knowledge of the existing can be split into two parallel branches, united by the common purpose of conscious conservation of the asset. On the one hand, there will therefore be the spatial dimensioning of the building (geometric relief), on the other the constructive and material analysis aimed at defining a picture of the state of conservation of the material (diagnostic investigation). In this phase of analysis, it will be essential to investigate what the freedom points and the constraint points of the artifact may be, or those aspects that in fact strongly characterize the structure and

fortemente la struttura e richiedono dunque una conservazione forzata o, al contrario, rappresentano punti di possibilità di modifica perché non indispensabili alla definizione della sua identità. Le informazioni raccolte saranno poi la base su cui impostare il progetto di conservazione e riuso del bene, che dovranno svilupparsi come naturale conseguenza di questa fase di indagini. ¹

Il progetto di rilievo andrà formulato in funzione della restituzione che si intende ottenere. Esso potrà essere condotto in diverse modalità e utilizzando diverse strumentazioni, che dipenderanno direttamente da quello che dovrà essere il grado di dettaglio dell'analisi e la scala di riproduzione degli elaborati. Altri fattori inevitabilmente limitanti che andranno tenuti in considerazione nell'elaborazione del progetto di rilievo sono ad esempio:

- La **tipologia** di edificio da rilevare: la conformazione spaziale dell'edificio, che potrà svilupparsi prevalentemente in senso verticale od orizzontale, aperto in linea o chiuso a corte, con la presenza di più o meno discontinuità o bucatore
- L'**età** dell'edificio: il rilievo di un edificio storico presuppone una maggiore attenzione alle inevitabili irregolarità presenti, che andranno riportate il più fedelmente possibile negli elaborati finali.

therefore require forced conservation or, on the contrary, represent points of possibility of modification. because they are not essential to the definition of his identity. The information collected will then be the basis on which to set up the conservation and reuse project of the property, which will have to develop as a natural consequence of this phase of investigation. ¹

The survey project will be formulated according to the return to be obtained. It can be conducted in different ways and using different tools, which will directly depend on what the degree of detail of the analysis and the scale of reproduction of the documents should be. Other inevitably limiting factors that must be taken into consideration in the development of the survey project are for example:

- The **type of building** to be surveyed: the spatial conformation of the building, which may develop mainly vertically or horizontally, open in line or closed to the courtyard, with the presence of more or less discontinuities or openings
- The **age of the building**: the relief of a historic building requires greater attention to the inevitable irregularities present, which will be reported as faithfully as possible in the final documents.

1. C. Campanella, *Il rilievo degli edifici. Metodologie e tecniche per il progetto di intervento*, Flaccovio Dario, 2017

- L'**obiettivo** ultimo del rilievo: un progetto di conservazione su un edificio storico tutelato, ad esempio, richiede di ottenere un grado di dettaglio tale da limitare quanto più possibile errori in fase di intervento che presupporrebbero l'irreparabile danneggiamento o perdita di porzioni del manufatto.

- Il **contesto** nel quale il rilievo andrà effettuato: lo stato di proprietà, la presenza di edifici adiacenti, di strade più o meno trafficate, di limiti normativi imposti sulla zona d'interesse, sono tutti fattori che determineranno la libertà di rilievo e dunque le distanze dalle quali sarà possibile effettuarlo.

- I **mezzi** a disposizione: sono forse il fattore più influente sul risultato finale, in quanto direttamente dalla fruibilità di essi dipenderà il livello massimo di precisione ottenibile, a prescindere da tutti gli altri fattori.

Partendo dalla considerazione di tutte queste premesse sarà possibile elaborare un progetto di rilievo adatto al manufatto oggetto di indagine il più possibile appropriato e funzionale.

Il rilievo geometrico-dimensionale potrà poi essere restituito tramite diverse tipologie di elaborati grafici, bidimensionali quali piante, sezioni e prospetti, ma anche tridimensionali, quali nuvole di punti o modelli più o meno schematici del manufatto.

Occorre sottolineare come anche il rilievo geometrico, per quanto apparentemente

- The **ultimate goal** of the survey: a conservation project on a protected historic building, for example, requires a degree of detail to be obtained such as to limit as much as possible errors during the intervention phase which would imply irreparable damage or loss of portions of the artifact.

- The **context** in which the survey will be carried out: the state of ownership, the presence of adjacent buildings, more or less busy roads, regulatory limits imposed on the area of interest, are all factors that will determine the freedom of survey and therefore the distances from which it will be possible to do it.

- The **means available**: they are perhaps the most influencing factor on the final result, as the maximum level of precision obtainable will depend directly on the usability of them, regardless of all other factors.

Starting from the consideration of all these premises, it will be possible to develop a survey project suitable for the building under investigation as appropriate and functional as possible.

The geometric-dimensional relief can be returned through different types of graphic drawings, two-dimensional such as plans, sections and elevations, but also three-dimensional, such as point clouds or more or less schematic models of the building.

It should be emphasized that even the geometric relief, although apparently

obbiettivo, sia il risultato di un'inevitabile valutazione personale di cosa e con quale grado di dettaglio riportare i singoli elementi e, non meno importante, attraverso quali simbologie veicolare determinati significati. Lo scopo con il quale esso viene realizzato tuttavia non è quello di essere utilizzato soltanto da chi lo realizza in prima persona, al contrario esso verrà consultato da più persone nel corso degli anni, che potranno utilizzarlo come base di partenza per i propri studi o addirittura interventi sul manufatto. Fondamentale alla buona riuscita del rilievo sarà dunque l'utilizzo di un linguaggio di codificazione universalmente riconosciuto, che ne permetta la leggibilità da parte di un qualunque operatore interessato, e un grado di dettaglio tale da evitare la perdita di informazioni essenziali alla conoscenza dell'edificio.

L'inadeguatezza del rilievo precluderà il trascinarsi degli errori all'interno dell'eventuale progetto di intervento, che risulterà del tutto in linea con il rilievo ma inappropriato a quella che è la realtà del manufatto. Se il modello si allontana troppo dall'autenticità della fabbrica, il rischio sarà quello di perdere inevitabilmente la materia originale sulla quale il rilievo errato è stato redatto.²

Il caso della torre

Nel caso specifico della Torre dei Gambulini,

objective, is the result of an inevitable personal evaluation of what and with what degree of detail to report the individual elements and, last but not least, through which symbols to convey certain meanings. The purpose with which it is created, however, is not to be used only by those who make it themselves, on the contrary it will be consulted by several people over the years, who will be able to use it as a starting point for their studies or even interventions on the artifact. Fundamental to the success of the survey will therefore be the use of a universally recognized coding language, which allows it to be readable by any interested operator, and a degree of detail such as to avoid the loss of information essential to knowledge of the building.

The inadequacy of the survey will preclude the dragging of errors within the possible intervention project, which will be completely in line with the survey but inappropriate to what is the reality of the artifact. If the model strays too far from the authenticity of the factory, the risk will be that of inevitably losing the original material on which the incorrect survey was drawn up².

The case of the tower

In the specific case of the Gambulini Tower,

2. F. Doglioni, *Stratigrafia e restauro. Tra conoscenza e conservazione dell'architettura*, Lint, Trieste, 1997

analizzando punto per punto i parametri che hanno influenzato il progetto di rilievo realizzato sono stati:

- La **tipologia** di edificio da rilevare: L'edificio da rilevare è una torre, tipologia architettonica dunque a prevalente sviluppo verticale.

- L'**età** dell'edificio: La Torre risale all'epoca medievale, più precisamente al XII secolo. Si tratta di un esempio di architettura militare che, per origine funzionale, non si distingue per la propria perfezione costruttiva, per quanto in generale essa presenti un aspetto generalmente omogeneo e privo di evidenti situazioni di fuori piombo.

- L'**obiettivo** ultimo del rilievo: il fine del rilievo era quello di ottenere una riproduzione quanto più possibile veritiera sulla quale basare le indagini diagnostiche e, in un secondo momento, il progetto di intervento da effettuarsi sul manufatto. Dalla precisione del rilievo ottenuto dipende anche l'attendibilità e la correttezza del progetto elaborato.

- Il **contesto** nel quale il rilievo andrà effettuato: la Torre è stata inglobata in un momento successivo alla sua costruzione dagli edifici che ora ospitano gli spazi dell'Archivio di Stato di Mantova. Questo ha prima di tutto precluso il rilievo di alcune porzioni esterne completamente nascoste dai fabbricati adiacenti. In secondo luogo, è da sottolineare come essa sorga in pieno centro storico, in una zona in cui ancora il volo con drone è vietato se non a seguito di

analyzing point by point the parameters that influenced the survey project were:

- The **type of building** to be surveyed: The building to be surveyed is a tower, an architectural typology therefore with a prevalent vertical development.

- The **age of the building**: The Tower dates back to medieval times, more precisely to the twelfth century. It is an example of military architecture which, due to its functional origin, is not distinguished by its constructive perfection, although in general it presents a generally homogeneous aspect and devoid of evident situations of out of lead.

- The **ultimate goal** of the survey: the purpose of the survey was to obtain a reproduction as truthful as possible on which to base the diagnostic investigations and, later, the intervention project to be carried out on the artifact. The reliability and correctness of the project also depends on the accuracy of the survey obtained.

- The **context** in which the survey will be carried out: the Tower was incorporated after its construction by the buildings that now house the spaces of the State Archives of Mantua. This first of all precluded the relief of some external portions completely hidden by the adjacent buildings. Secondly, it should be emphasized that it rises in the historic center, in an area where drone flying is still prohibited except following a concession to fly issued by ENAC, which was officially requested and obtained for a single specific day.

una concessione al volo rilasciata da *ENAC*, che è stata ufficialmente richiesta ed ottenuta per una sola giornata specifica.

- I **mezzi a disposizione**: grazie al coinvolgimento del laboratorio di rilievo del Politecnico di Milano sede di Mantova è stato possibile realizzare il rilievo fotogrammetrico con drone delle facciate esterne e il rilievo laser scanner dell'interno della Torre.

Nella prima fase di approccio ha avuto, anche in questo caso, un ruolo fondamentale la ricerca storica in archivio, in questo caso in particolare volta a reperire tutta la documentazione grafica realizzata nel corso degli anni in merito alla Torre. Mappe e incisioni storiche, disegni tecnici del complesso dell'archivio in cui inevitabilmente compariva anche la torre o meglio ancora rilievi specifici focalizzati su di essa, talvolta addirittura di dettaglio, sono stati utilizzati per ottenere un punto di partenza sul quale basare il nostro rilievo geometrico.

A questa prima fase di ricerca è seguito il rilievo diretto in situ, suddiviso in rilievo fotografico, volto a raccogliere informazioni sulla fabbrica ed il suo intorno, e rilievo metrico di quanti più elementi possibilmente accessibili della Torre, che ha permesso di verificare o talvolta correggere i vecchi rilievi reperiti.

I disegni ottenuti dall'analisi critica di queste due prime fasi sono poi stati confrontati con la nuvola di punti messa a disposizione dallo studio *Geogra s.r.l.*, che era stato incaricato dal comune di Mantova di realizzare un

- The **means available**: thanks to the involvement of the survey laboratory of the Politecnico di Milano, Mantua headquarters, it was possible to carry out the photogrammetric survey with drone of the external facades and the laser scanner survey of the inside of the Tower.

In the first phase of the approach, also in this case, the historical research in the archive had a fundamental role, in this case in particular aimed at finding all the graphic documentation created over the years regarding the Tower. Historical maps and engravings, technical drawings of the archive complex in which the tower inevitably also appeared or better still specific reliefs focused on it, sometimes even in detail, were used to obtain a starting point on which to base our geometric survey.

This first phase of research was followed by the direct survey in situ, divided into photographic relief, aimed at collecting information on the factory and its surroundings, and metric survey of as many accessible elements of the Tower as possible, which allowed to verify or sometimes correct the old reliefs found.

The drawings obtained from the critical analysis of these first two phases were then compared with the point cloud made available by the *Geogra srl* studio, which had been commissioned by the municipality

rilievo laser scanner degli esterni della torre nel 2010, in occasione della proposta di riuso elaborata dallo studio *Coprat* di Mantova. Per l'elaborazione di questo progetto si era resa indispensabile una riproduzione grafica quanto più verosimile dello stato di fatto del manufatto, al momento ancora mai realizzata. Un rilievo geometrico della torre, piuttosto recente, era dunque già stato effettuato in questa occasione, sebbene di esso sia stato possibile reperire soltanto qualche planimetria e una sezione che, confrontate con i dati certi a disposizione hanno dimostrato come in ogni caso si trattasse di un rilievo piuttosto approssimativo, probabilmente un semplice modello schematico sul quale basare un progetto preliminare di proposta di riuso.

A questa prima fase di rilievo geometrico basato sull'utilizzo critico di materiale già a disposizione (nuvola di punti e disegni quotati frutto del rilievo in più fasi e di persone differenti del manufatto nel corso degli anni), è seguito un vero e proprio progetto di rilievo fotogrammetrico e laser scanner della torre, che ha permesso di ottenere i dati necessari alla verifica di quanto precedentemente realizzato. Grazie al coinvolgimento del laboratorio di rilievo della facoltà di architettura del Politecnico di Milano, sede di Mantova, e della disponibilità data dall'archivio ad accedere agli ambienti di sua pertinenza, sono stati realizzati il rilievo fotogrammetrico con drone dei prospetti esterni e della copertura e il rilievo laser scanner degli interni. I dati raccolti sono poi stati elaborati tramite specifici software per ottenere le ortofoto dei prospetti e una nuvola di punti tridimensionale della torre,

of Mantua to carry out a laser scanner survey of the exterior of the tower in 2010, on the occasion of the reuse proposal drawn up by the *Coprat* studio in Mantua. For the elaboration of this project, a graphic reproduction as likely as possible of the actual state of the artifact was indispensable, at the time still never realized. A rather recent geometric survey of the tower had therefore already been carried out on this occasion, although it was only possible to find some planimetry and a section which, compared with the reliable data available, showed that in any case it was a rather approximate survey, probably a simple schematic model on which to base a preliminary draft of a proposal for reuse.

A real project of photogrammetric survey and laser scanner of the tower, which made it possible to obtain the data necessary for the verification of what was previously achieved. Thanks to the involvement of the survey laboratory of the faculty of architecture of the Politecnico di Milano, seat of Mantua, and the availability given by the archive to access the rooms pertaining to it, the photogrammetric survey with drone of the external elevations and of the roof was carried out and the laser scanner survey of the interiors. The data collected were then processed using specific software to obtain orthophotos of the elevations and a three-dimensional point cloud of the tower, both perfectly measurable. More precisely, the orthophotos were then used to verify the

entrambe perfettamente misurabili. Più precisamente, le ortofoto sono poi state utilizzate per verificare il rilievo dei prospetti, mentre la nuvola di punti, opportunamente sezionata, è stata utilizzata per verificare il rilievo di piante e sezioni.

Nel capitolo qui di seguito si riportano tutti i passaggi seguiti in quest'ultima fase di raccolta dati, esposta in un report tecnico che ripercorre le fasi di lavoro, a partire dalla progettazione stessa del rilievo, passando per l'acquisizione dei dati in loco tramite strumentazione adeguata, all'elaborazione di essi tramite specifici software, e fino ad arrivare al corretto utilizzo dei modelli ottenuti per la stesura del rilievo geometrico.

relief of the elevations, while the point cloud, suitably sectioned, was used to verify the relief of plans and sections.

The chapter below shows all the steps followed in this last phase of data collection, shown in a technical report that traces the work phases, starting from the design of the survey itself, passing through the acquisition of data on site through adequate instrumentation, to elaborate them through specific software, and up to the correct use of the models obtained for the drafting of the geometric survey.



2.2_ IL RILIEVO FOTOGRAMMETRICO E LASER SCANNER DELLA TORRE

L'edificio oggetto di rilievo

Località: Via Ardigò 11, Mantova, Italia.

Edificio: Torre dei Gambulini

Il progetto di rilievo mira ad ottenere il rilievo geometrico, materico e di degrado dell'antica "Torre dei Gambulini" oggetto di indagine. Il manufatto consiste in una torre medievale di circa 37 metri di altezza per 7,7x7,7 m di base situata nel centro storico di Mantova, inglobata su tre lati nell'edificio dell'*Archivio di Stato di Mantova*.

Il progetto di rilievo

La definizione di un "Progetto di rilievo" deve essere il primo passo di qualsiasi tipo di processo di indagine: considerati i risultati finali da ottenere, è possibile stabilire i passaggi per procedere con il lavoro e gli strumenti più efficienti a nostra disposizione da utilizzare. Questo permette di evitare ogni tipo di spreco in termini di tempo e denaro, che potrebbero essere influenzati da un giusto schema di acquisizione.

Nel caso specifico, lo scopo del rilievo era la restituzione delle ortofoto dei prospetti della Torre dei Gambulini a Mantova (tramite Rilievo Fotogrammetrico) in scala 1:50, e la produzione delle sue piante e sezioni in scala 1:100 (tramite Laser Scanner). In questo

2.2_ THE LASER SCANNER AND PHOTOGRAMMETRIC SURVEY OF THE TOWER

The surveyed building

Location : Via Ardigò 11, Mantova, Italy.

Building: Torre dei Gambulini

The Survey project aims to obtain the geometric, materic and degree survey of the studied ancient "Torre dei Gambulini". It consists in a 37 meters height for 7.7x7.7 m base medieval tower located in the historical center of Mantua, incorporated for three sides into the building of the *Archivio di Stato di Mantova*.

The survey project

The definition of a "Survey Project" is the first step in any kind of survey process: considering the final results that we need to obtain, we can establish the steps to proceed with the work and the most efficient tools at our disposal to be used. This allows to avoid any kind of waste in term of time and money, that could deeply be influenced by a right acquisition schema.

In this specific case, the purpose of the survey was the restitution of orthophotos of the elevations of the Torre dei Gambulini in Mantova (through Photogrammetric Survey) at a scale of 1:50, and the production of its plans and sections at a scale of 1:100 (through Laser Scanner). In this way, at the

modo, al termine del processo abbiamo ottenuto un preciso Rilievo Geometrico dell'edificio. I passaggi principali da seguire sono stati:

1. Rilievo diretto
2. Rilievo laser scanner
3. Rilievo fotogrammetrico

Dopo una fase primaria di rilievo diretto, per avere una prima percezione degli oggetti architettonici, con il rilievo topografico si può ottenere una grande precisione dal punto di vista geometrico ma scarsi risultati dal punto di vista cromatico e materico. Per migliorare questo aspetto del rilievo, dobbiamo provvedere all'integrazione della fotogrammetria.

IL RILIEVO DIRETTO

1. Il primo sopralluogo e il rilievo fotografico

L'obiettivo del primo sopralluogo è quello di prendere atto delle caratteristiche più evidenti dell'edificio, come il rapporto con il contesto, il volume, la distribuzione interna e gli elementi architettonico-decorativi.

Per facilitare la raccolta delle informazioni, può essere utile fotografare sia l'insieme che i dettagli, descrivendo l'edificio nel modo più esaustivo possibile. In questo modo, una volta a casa, sarà più facile lavorare sulla riproduzione geometrica degli elementi più difficili da ricordare e verificare.

end of the process we have obtained a precise Geometric Survey of the building.

The main steps to follow have been:

1. Direct survey
2. Laser scanner survey
3. Photogrammetric survey

After a primary phase of direct survey, to have a first perception of the architectural objects, with the topographic survey we can obtain a great precision from the geometric point of view but poor results from the colour and materic one. To improve this aspect of the relief, we have to use the integration of the photogrammetry.

THE DIRECT SURVEY

1. The first inspection and the photographic survey

The objective of the first inspection is to take note of the most evident features of the building, such as the relationship with the context, the volume, the internal distribution and the architectural-decorative elements.

In order to facilitate the collection of information, it may be useful to take pictures of the whole and details, describing the building as exhaustively as possible. In this way, once at home, it will be easier to work on the geometrical reproduction of the elements more difficult to remember and check.



EAST



NORTH



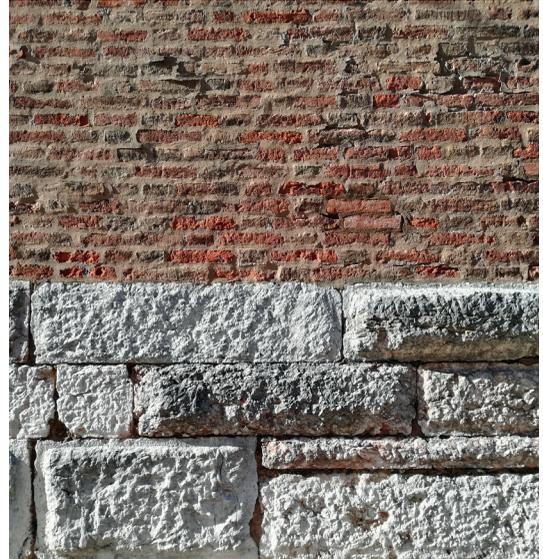
WEST



SOUTH



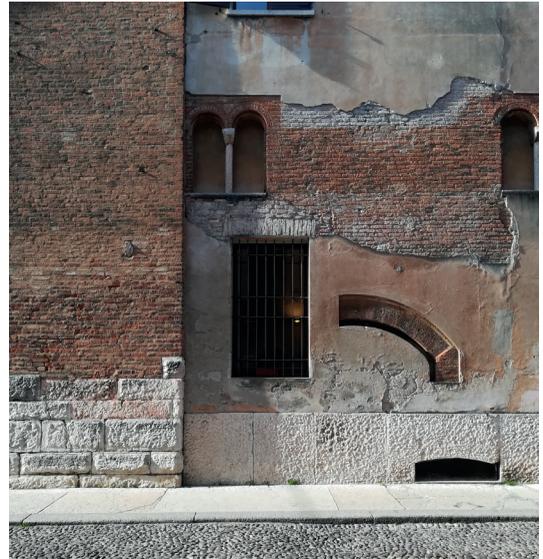
Archive-Tower: main entrance
the number 11 on Via Ardigò will be the entrance for the Tower path



Tower: masonry
the brick masonry present a lighter stone base



Tower: conention with the Archive
the Tower masonry is not aligned with the Archive complex buildings



Tower-Archive: masonry
in the masonry of the Archive is still visible the superimposition of the transformations



Archive: hall

it will be the first step, the starting of the Tower path



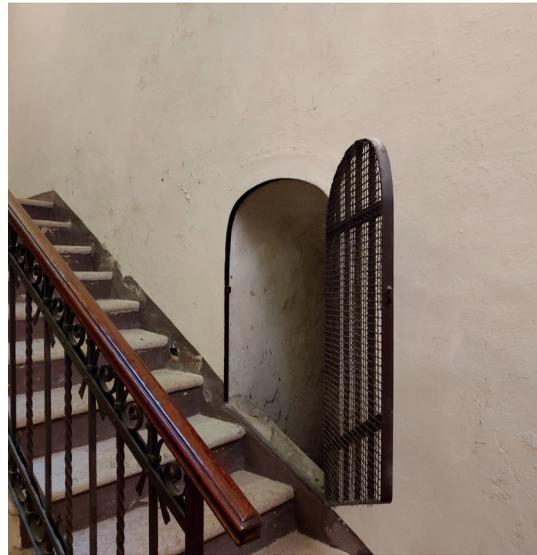
Archive: stairwell entrance

this stairs will be used to reach the first level of the Tower



Archive: hall

the East lower part of the Tower, partially plastered to be incorporated to the Archive



Archive: tower ground level entrance

it is the first entrance to the Tower, not easily accessible due to a double stairs



Tower: ground level inside
it is the first accessible space of the Tower, not easily connected to the others



Tower: ground level inside
the masonry staircase used to reach the level of the tower from the one of the Archive



Tower: ground level ladder
ladder installed in the masonry to reach the first level of the Tower directly from the ground floor



Tower: ground level ceiling
as the others, also the ceiling of the ground level is a masonry vault



Archive: roof connection to the Tower
earthquake fissuration due to the weak connection
between Tower and Archive



Archive: fissuration on the walls
the walls of the Archive directly in contact with the
Tower present fissuration phenomena



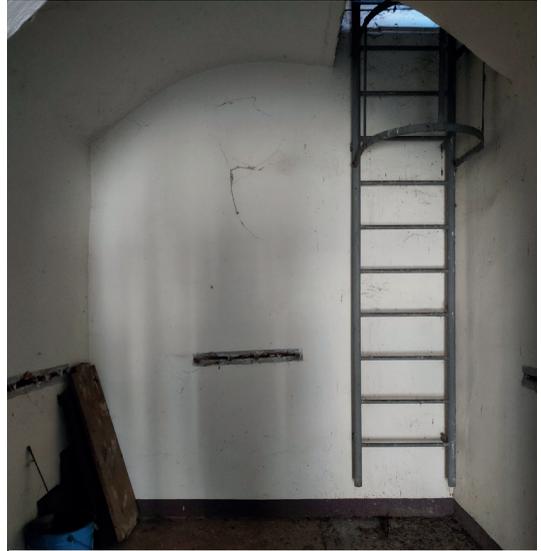
Archive: Tower 1st level entrance
the stairs obtained in the masonry of the Tower to
reach its fist level



Archive: Tower 1st level entrance
the stairs obtained in the masonry of the Tower to
reach its fist level



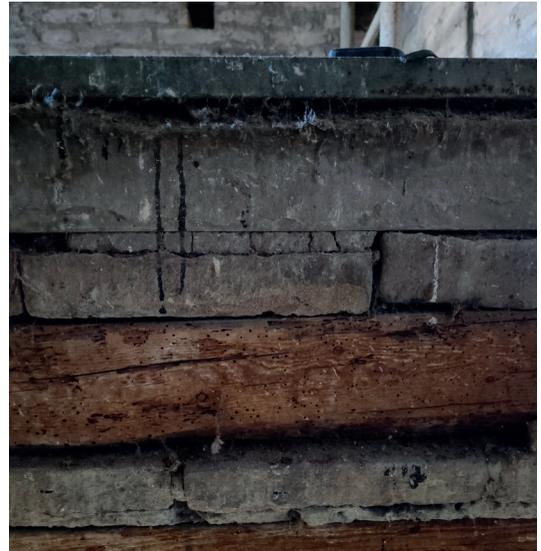
Archive: Tower 1st level window
it's the only light and air source of this space, on the North facade



Archive: Tower 1st level space
vaulted space of the first level, with the steel stairs on the South side



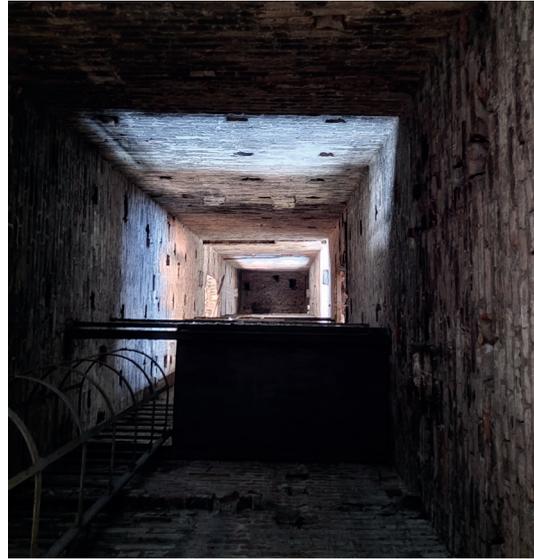
Archive: Tower 1st level stairs
"marinara" ladder that currently connects the first level to the second one



Tower: 1st level slab section
alternating layers of wood, masonry and steel for a 50cm thickness



Tower: 2nd level inside
2nd level with a clear perception of the the double
stairs organization



Tower: internal space | above
percecion from below to above of the free
space of the tower



Tower: internal holing
an example of the Tower holings seen from the
inside



Tower: internal space | below
percecion from below to above of the free
space of the tower

2. L'eidotipo

La creazione di un eidotipo, una rappresentazione schematica in scala approssimativa di ciò che deve essere rilevato, aiuta l'operatore a seguire un processo.

Gli eidotipi partono solitamente da una grande scala, che tiene conto del contesto, andando via via sempre più nel particolare. Essi permettono di prendere coscienza dell'oggetto e capire fin dall'inizio se il rilievo ha prodotto errori grossolani.

3. La ricerca storico-critica

Lo scopo di questa fase è la ricerca di informazioni sulla storia dell'edificio, e quindi sui mutamenti che esso ha subito nel tempo: com'era quando è stato costruito, come si è sviluppato nel tempo sia in termini di integrazioni che di demolizioni, come ha cambiato uso. A volte è possibile trovare anche disegni realizzati in passato che potrebbero essere molto utili come punto di partenza del rilievo geometrico.

4. Le misurazioni dirette

La seconda fase, finalizzata alla presa di coscienza del manufatto, consiste nel rilievo metrico diretto della torre, effettuato mediante strumenti specifici, quali metro rigido, centina metrica, distanziometro laser, ecc... Il rilievo diretto si basa su due concetti chiave:

2. The eidotype

The creation of an eidotype, a schematic representation on an approximate scale of what must be detected, helps the operator to follow a process.

The eidotypes start from a large scale, which takes into account the context, gradually going more and more into the particular. They allow to become aware of the object and understand from the beginning if the survey has produced some errors.

3. The historical-critical research

The aim of this phase is the research of informations about the history of the building, and so about the changings it has undergone over time: how it was when it has been built, how it has developed during times both about addings and demolitions, how it changed use. Sometimes it's possible to find also drawings realized in the past that could be very useful as starting point of the precise geometrical survey.

4. The direct measurements

The second phase, aimed at taking consciousness of the artifact, consists in the direct metric relief of the tower, done using specific instruments, such as rigid meter, metric rib, laser distance meter, etc... The direct survey is based on two key concepts:

-**Multiscalarità**: procedere dal generale al particolare, mantenendo sempre l'attenzione su larga scala.

-**Discretizzazione**: trasformare qualcosa che è continuo in qualcosa di puntuale, scegliendone i punti fondamentali.

5. Prima riproduzione geometrica

Già al termine di queste prime fasi è possibile ottenere un primo rilievo geometrico del manufatto, che non sarà certo preciso perché basato su inevitabili approssimazioni e soggetto ad errori di misurazione e valutazione del rilevatore.

Sulla base di un'attenta analisi dei dati raccolti, il progetto di indagine approfondita dovrebbe essere sviluppato per ottenere una riproduzione fedele agli obiettivi di indagine.

-**Multiscalarity**: proceed from general to particular, always keeping attention on large scale.

-**Discretization**: transforming something that is continue into something that is punctual, choosing t the fundamental points.

5. First geometrical reproduction

Already at the end of these first phases it is possible to obtain a first geometric survey of the artifact, which will certainly not be precise because it is based on inevitable approximations and subject to errors of measurement and evaluation of the surveyer.

On the basis of a careful analysis of the data collected, the project of in depth survey should be developed to obtain a reproduction faithful to the survey aims.

IL RILIEVO CON SCANNER LASER

Specifiche tecniche del laser scanner

Leica RTC360 3D Laser Scanner



1. Acquisizione dati

In questo caso avevamo già a disposizione una vecchia nuvola di punti dei prospetti esterni della Torre (2.1), dunque abbiamo utilizzato un Laser Scanner per rilevare la topografia degli ambienti interni (2.2), in modo da unirle per ottenere un modello 3D il più possibile completo della torre.

Il rilievo laser scanner è stato ottenuto ricavando due diverse rilevazioni per ogni livello accessibile della torre, e quindi degli spazi adiacenti dell'Archivio, per ottenere informazioni sia sul dimensionamento degli

THE LASER SCANNER SURVEY

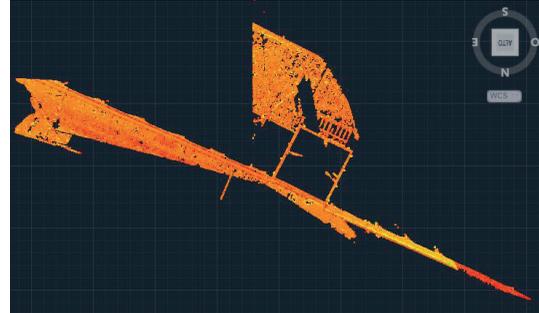
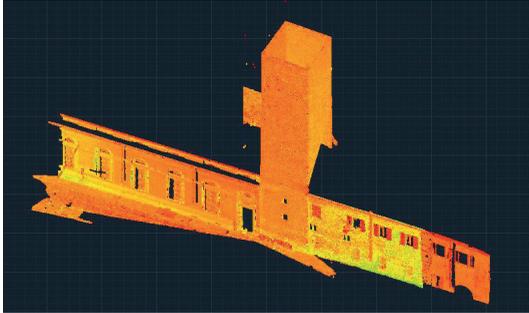
Laser scanner specifications

DATI GENERALI	
Laser Scanner 3D	Laser Scanner 3D ad alta velocità con sistema di imaging stereo HDR integrato e Visual Inertial System (VIS) per la registrazione in tempo reale
PRESTAZIONI	
Acquisizione dei dati	Meno di 2 minuti per la scansione completa "full dome" e l'immagine HDR sferica con una risoluzione di 6 mm a 10 m
Registrazione in tempo reale	Allineamento automatico della nuvola di punti basato sul rilevamento in tempo reale del movimento dello scanner rispetto alle configurazioni del Visual Inertial System (VIS) mediante un'unità di misurazione video inerziale avanzata
Doppia scansione	Rimozione automatica degli oggetti in movimento
Controllo e rettifica	Procedura da campo per rettifica parametri angolari, senza l'uso di target
SCANSIONE	
Misura della distanza	Tempo di volo ad alta velocità potenziato con tecnologia dinamica Waveform Digital (WFD)
Classe del laser	1 (in conformità alla norma IEC 60825-1:2014), 1550 nm (invisibile)
Campo visivo	360° (orizzontale) / 300° (verticale)
Portata	Da 0,5 a 130 m
Velocità	Fino a 2.000.000 di punti al secondo
Risoluzione	3 impostazioni selezionabili dall'utente (3/6/12 mm a 10 m)
Precisione*	Precisione angolare 18" Precisione della portata 1,0 mm + 10 ppm Precisione del punto 3D 1,9 mm a 10 m 2,9 mm a 20 m 5,3 mm a 40 m
Rumore di gamma**	0,4 mm a 10 m, 0,5 mm a 20 m

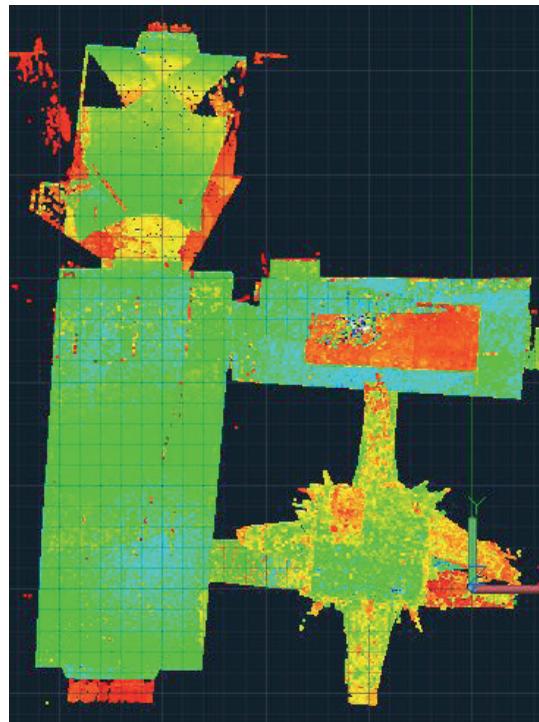
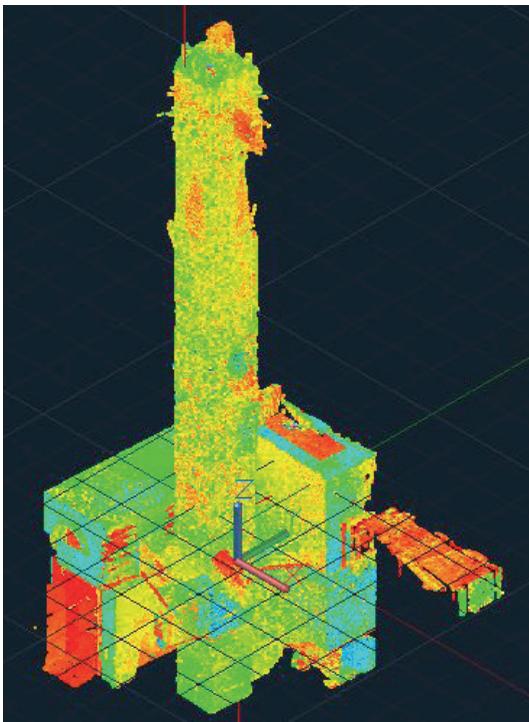
1. Data acquisition

In this case, we already had an old point cloud of the external elevation of the Tower, (2.1) so we used a Laser Scanner to survey the topography of the internal ones (2.2), in order to put them together to obtain a complete 3D model of the tower.

The laser scanner survey has been developed taking two different detection for each accessible level of the tower, and then of the adjacent spaces of the Archivio, to obtain information both about the dimensioning of the internal spaces and both about the walls



2.1 External elevation point cloud realized by Studio Geogrà s.r.l



2.2 Internal spaces point cloud realized thanks to the new laser scanner survey.

spazi interni che su quello delle pareti. La risoluzione e la precisione di ogni rilevamento è stata scelta differentemente considerando le condizioni del singolo caso e il tempo a disposizione.

Il Laser Scanner ruota automaticamente sul proprio asse verticale e su quello orizzontale e riesce ad emettere e leggere un numero elevatissimo di punti al secondo. Lo strumento si posiziona su un punto e avvia la scansione che rileva tutto ciò che riesce a vedere. Se ci sono aree che non sono visibili dalla prima stazione si passa ad una seconda e si avvia una nuova scansione e così via. L'obiettivo è quello di ottenere una copertura completa degli spazi da rilevare.

2. Elaborazione dati

Non è necessario preoccuparsi di unire manualmente le diverse scansioni ottenute perché di questo si occupa il software integrato alla macchina. L'app *Leica Cyclone FIELD 360* collega i dati ottenuti sul campo con lo scanner e la registrazione dei dati in studio tramite l'app *Cyclone REGISTER 360*. In questo modo, il rilevatore può acquisire, registrare ed esaminare automaticamente i dati scansionati e le immagini ottenute già direttamente sul campo. Ciò consente di verificare la presenza di errori o mancanze già durante il rilevamento. Il laser scanner restituisce una nuvola di punti: un insieme di punti in un dato sistema di coordinate tridimensionale. Questi punti sono

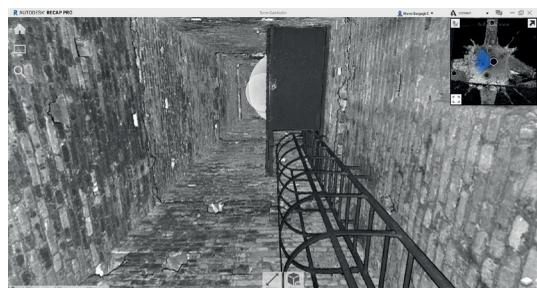
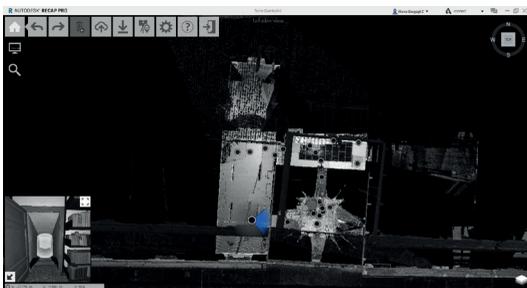
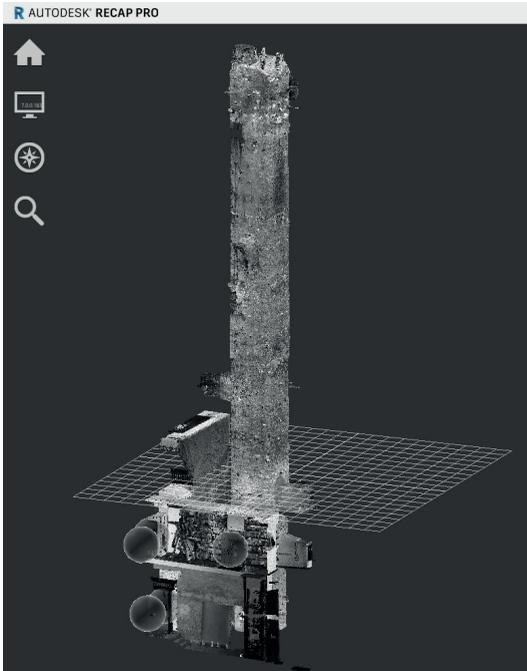
ones. We differently choose the resolution and the precision of each detection considering the single case conditions and the time at our disposal.

The Laser Scanner automatically rotates on its vertical axis and up the horizontal one and manages to emit and read a very high number of points per second. The instrument positions itself on a point and starts the scan that detects everything that succeeds to see. If there are areas that are not visible from the first station you move to a second and a new scan starts and so on. The aim is to obtain a complete covering of the spaces to survey.

2. Data elaboration

It doesn't be necessary to worry about joining different scans because the onboard software takes care of it. The *Leica Cyclone FIELD 360* App connects field data with the scanner and office data logging with the *Cyclone REGISTER 360* app. In this way, the detector can automatically capture, record and examine the scanned data and the images obtained in the field. This makes it possible to check for errors or shortcomings during detection.

The laser scanner returns a point cloud: a set of points in a given coordinate system. In a three-dimensional coordinate system, these points are generally defined by X, Y, and Z, and represent the outer surface of an object.



2.3 Visualization of the 3D cloud from the Recap PRO software, which allows to obtain a very concrete perception of objects and spaces.

generalmente definiti dalle coordinate X, Y e Z e rappresentano la superficie esterna di un oggetto. Ogni punto rappresenta un punto misurato nello spazio, descritto da diverse informazioni:

- 3 coordinate spaziali X,Y,Z
- 3 Coordinate del colore RGB (0-255)
- 3 Direzioni della normale al punto
Nx,Ny,Nz.

Ogni punto di questa nuvola con le sue coordinate potrebbe essere utilizzato in seguito per orientare e scalare correttamente il nostro modello nello spazio.

3. Ridisegni e misurazioni di nuvole di punti

La Dense Cloud ottenuta può ora essere utilizzata per produrre i disegni tecnici dell'area rilevata. Nel nostro caso specifico, l'obiettivo era ridisegnare le piante e le sezioni verticali della Torre in scala 1:100. Il software utilizzato è AutoCad.

Dopo aver impostato il programma in metri, la nuvola di punti può essere inserita utilizzando il WCS globale: le coordinate di inserimento nello spazio devono essere 0,0,0 e la scala deve essere 1.

Alcuni parametri sulla visualizzazione del cloud sono i seguenti:

- il tipo di visualizzazione (colori di scansione, colori oggetto, normale, intensità, elevazione

The point could be seen as a text file in which each row represents a measured point in the space, described by different informations:

- 3 Spatial coordinates X,Y,Z
- 3 Coordinates of the color RGB (0-255)
- 3 Directions of the normal at point
Nx,Ny,Nz.

Every point of this cloud with its coordinates could be used later to orientate and scale correctly our model in the space.

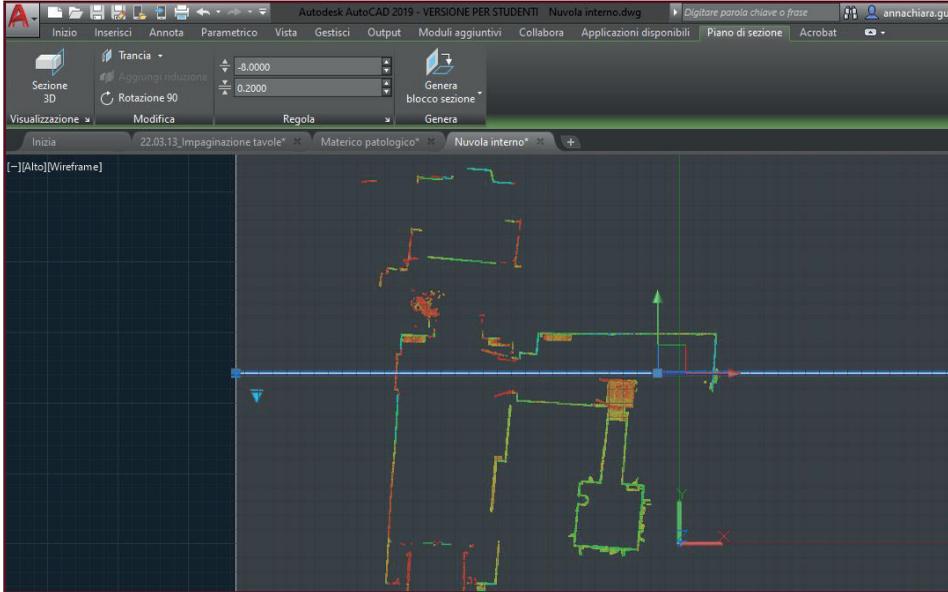
3. Point cloud redrawings and measurment

The Dense Cloud obtained could now be used to produce the technical drawings of the surveyed area. In our specific case, the aim was to redraw the plans and the vertical sections of the Tower in 1:100 scale. The software used has been AutoCad.

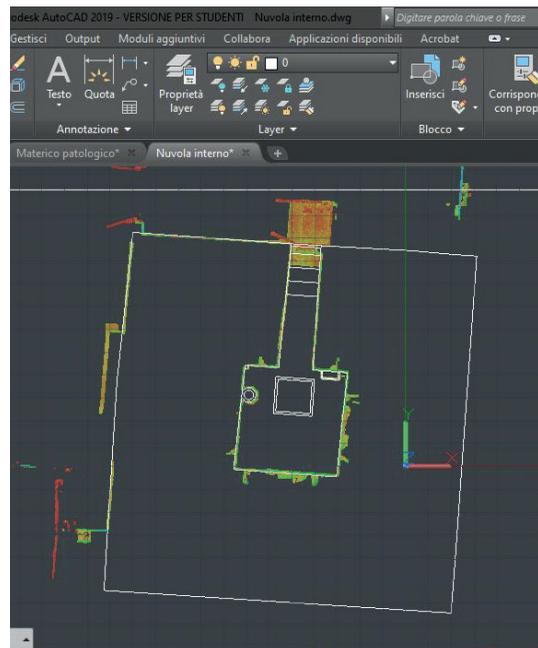
After having set up the program in meters, the point cloud could be inserted using the global WCS: the coordinates in the space must be 0,0,0 and the scale must be 1.

Some parameters about the visualization of the cloud:

- the type of visualization (scan colors, object colors, normal, intensity, elevation are the possibilities),
- the point dimension (from 1 to 10)



2.4 Creation of the slice of the right dimension for the scale of the redrawings.



2.5 Redrawing of the ground floor plan using the slice obtained from the point cloud.

sono le possibilità),

- la dimensione del punto (da 1 a 10)

- il livello di dettaglio (da 1 a 10).

Potrebbe essere utile cambiarli durante il ridisegno per migliorare la visualizzazione.

Sia per le piante che per le sezioni ora è necessario definire un piano di sezione, o più precisamente una fetta: orizzontale per le prime e verticale per le seconde (2.4). Per ottenere un risultato quanto più preciso possibile, lo spessore di queste fette va scelto tenendo conto della scala dei disegni e della visualizzazione dei punti, ovviamente. Più precisamente, il valore dello spessore deve essere calcolato con la stessa formula utilizzata per il calcolo dell'errore di graficismo, moltiplicando quindi il fattore di scala per 0.2mm. Nel nostro caso, il risultato è 0,02 m per le sezioni 1:100. Questi valori potrebbero poi essere leggermente aumentati (al massimo del doppio) nel caso in cui la visualizzazione dei punti in quella fetta non sia sufficiente per ottenere un ridisegno completo degli elementi sezionati.

La nuvola di punti può essere vista contemporaneamente nella sua vista tridimensionale su Autodesk ReCap PRO, che permette di avere una visualizzazione più completa degli oggetti. (2.3) Anche in questo caso è consentito modificare il tipo di visualizzazione tenendo conto delle situazioni specifiche.

La fase di ridisegno (2.5) richiede un lavoro

- the level of detail (from 1 to 10).

It could be useful to change them to improve the visualization.

Both for the plans and for the sections now it's necessary to define a section plane, or more precisely a slice: an horizontal one for the first ones and vertical ones for the second ones (2.4). To obtain an as much as possible precise result, the thickness of this slices must be chosen considering the scale of the drawings and the visualization of the points, of course. More in detail, the value must be calculated with the same formula used for the graphic error, so multiplying the factor of scale for 0.2mm. In our case, the results is 0.02m for the 1:100 sections. These values could then be arised a little bit (at maximum of the double) in case that the visualization of the points in that slice is not enough good to obtain a complete redrawing of the sectioned elements.

The point cloud could be simultaneously seen in its tridimensional view on Autodesk ReCap PRO, that allows to have a more complete visualization of the objects (2.3). Also in this case it is allowed to change the type of visualization (that are the same of the cloud on AutoCad) considering the specific situations.

The redrawing phase (2.4) requires a very careful work, that must follow some objective rules to be sure to obtain a correct result, but at the same time, some choices depend on the personal perception and sensitivity of

molto attento, che deve seguire alcune regole oggettive per essere sicuri di ottenere un risultato corretto, ma allo stesso tempo alcune scelte dipenderanno inevitabilmente dalla personale percezione e sensibilità del rilevatore. È per questo motivo che il risultato di un sondaggio non può mai essere considerato del tutto oggettivo e assoluto.

the surveyer. It's for this reason that a survey result can't never be considered completely objective and absolute.

IL RILIEVO FOTOGRAMMETRICO

Specifiche della fotocamera

MAVIC 2 PRO e MAVIC 2 ZOOM



MODELLO FOTOCAMERA: Mavic 2 PRO
RISOLUZIONE: 5472 x 3648
LUNGHEZZA FOCALE: 10,26 mm
DIMENSIONE DEL PIXEL: 2,41 x 2,41 μm
PRECALIBRAZIONE: no

Utilizzando la proporzione (*lunghezza focale: distanza = dimensione del sensore: aree coperte*) troviamo la distanza massima da cui possiamo scattare foto per ottenere un risultato accettabile in

THE PHOTOGRAMMETRIC SURVEY

Camera specifications

FOTOCAMERA MAVIC 2 PRO

Sensore	1" CMOS Pixel effettivi: 20 milioni
Obiettivo	Campo visivo: ca. 77° Formato 35 mm equivalente: 28 mm Apertura: f/2.8-f/11 Distanza di scatto: 1 m a ∞
Intervallo ISO	Video: 100-6400 Foto: 100-3200 (automatico) 100-12800 (manuale)
Velocità di scatto	Otturatore elettronico: 8-1/8000 s
Dimensione foto	5472x3648
Modalità fotografiche	Scatto singolo HDR Scatto a raffica: 3/5 fotogrammi Bracketing automatico dell'esposizione (AEB): 3/5 fotogrammi con esposizione variata a 0.7 EV bias Intervallo JPEG: 2/3/5/7/10/15/20/30/60s RAW: 5/7/10/15/20/30/60s

CAMERA MODEL: Mavic 2 PRO
RESOLUTION: 5472 x 3648
FOCAL LENGTH: 10.26 mm
PIXEL SIZE: 2.41 x 2.41 μm
PRECALIBRATION: no

Using the proportion (*focal length: distance = sensor size: covered areas*) we find the maximum distance from which we can take photos to obtain an acceptable result at

scala 1:50 con un errore di graficismo di 0,2 (GSD = $0,2 \times 50 = 10\text{mm} = 1\text{ cm}$). Tenendo conto delle caratteristiche della nostra fotocamera e dell'utilizzo di una lunghezza focale di 10,26 mm, otteniamo una distanza massima di 42,57 m. ($10,26\text{ mm} : x = 0,00241\text{ mm} : 10$).

Nel nostro caso specifico, utilizzando un drone abbiamo avuto la possibilità di scattare le foto da una distanza notevolmente inferiore dalla torre, circa 5m, per tutte le quote. Tale distanza è stata modificata solo in caso di ostacoli (come ad esempio l'antenna).

Una volta scelti i parametri dell'equazione, non possiamo più modificare la distanza focale della macchina. Per modificare l'esposizione delle foto dobbiamo lavorare a priorità di apertura. Usando la modalità AV, è possibile specificare l'impostazione dell'apertura, mentre la fotocamera regola la velocità dell'otturatore per impostare l'esposizione appropriata.

Il giorno del rilievo il cielo era molto nuvoloso, dunque le condizioni metereologiche erano perfette per ottenere una qualità omogenea delle fotografie, senza esposizioni troppo alte nè ombre troppo accentuate.

Processo Agisoft Metashape

1. Aggiunta di foto e controllo di qualità

Dopo aver scattato le foto e verificato che rispecchiassero le caratteristiche richieste,

1:50 scale with a graphic error of 0.2 (GSD = $0.2 \times 50 = 10\text{mm} = 1\text{cm}$).

Taking into account the characteristics of our camera and the use of a focal length of 10.26 mm, we get a maximum distance of 42.57 m. ($10.26\text{ mm} : x = 0.00241\text{ mm} : 10$). In our specif case, using a drone we have had the possibility to take the pictures from a considerably less distance from the tower, approximately 5m, for all the elevations. It has been changed in case of obstacles (such as, for example, the antenna).

Once we have choosen the equation parameters, we can't no more change the focal lenght. To modify the photos exposition we need to work in aperture priority. By using AV Mode, you get to specify the aperture setting, while the camera adjusts the shutter speed to set the appropriate exposure.

The meteorological condition was cloudy, so it was perfect to obtain an homogeneous quality of the pictures, with no too high exposure nor shadows.

Agisoft Metashape process

1. Photo Adding and Quality Check

After taking the photos and checking that they reflect the necessary characteristics requests, we proceeded with the insertion on Agisoft

si è proceduto con l'inserimento su Agisoft *Metashape Professional (64 bit)* dove è stata stimata la loro qualità, così da poter scartare facilmente quelle con errori che le rendevano inadatte. E' necessario verificare che la qualità di ognuna sia sufficientemente alta e che allo stesso tempo la superficie rimanga sufficientemente coperta da altre immagini (nel caso in cui qualcuna di esse dovesse essere esclusa dalla cernita). Successivamente è stata effettuata una fase di editing manuale attraverso la creazione di maschere sulle immagini in modo da eliminare le zone in forte contrasto e gli elementi superflui come cielo e strade, che potevano rallentare l'elaborazione delle varie fasi. In questo caso sono state utilizzate complessivamente 668 foto.

2. Allineamento fotografico

Dopo questa prima fase possiamo procedere con l'allineamento delle foto. Lo scopo di questa operazione è di dare loro un orientamento relativo. Impostiamo un'elevata precisione generale, un limite di punti chiave di 40.000 e un limite di punti di collegamento di 4.000 (valori corretti per la scala di rappresentazione scelta) (2.6). Ora possiamo eseguire l'allineamento. Il risultato dell'allineamento della foto è una nuvola di punti sparsa, con ogni punto (delle immagini originali) fissato in uno spazio relativo.

Ora abbiamo una nuvola di punti in cui possiamo vedere tutte le posizioni di scatto

Metashape Professional (64 bit) where their quality was estimated, so that we can easily discard those with errors that made them unsuitable. We have to check that the quality is enough high and that the area remains well covered by other pictures (in the event that any of them had been excluded). Later, a manual editing phase was carried out through the creation of masks on the images in order to eliminate the areas in sharp contrast and superfluous elements such as sky and roads, that could slow down the processing of the various phases. In this case 668 photos have been used.

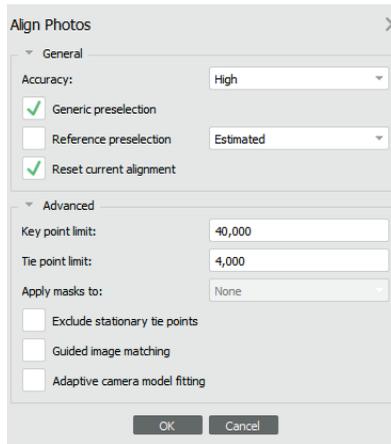
2. Photo Alignment

After this first operation we can proceed with the alignment of the photos.

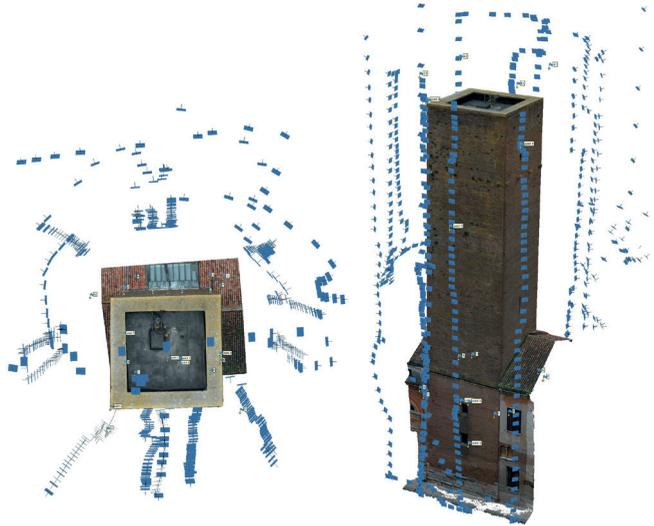
The aim of this operation is to give them a relative orientation. We set a high general accuracy, a key point limit of 40.000 and a tie point limit of 4.000 (right values for the chosen scale of representation) (2.6).

Now we can run the alignment. The result of the photo alignment is a sparse cloud of points, with every point (of the original images) fixed in a relative space.

Now we have a point cloud in which we can see all the camera positions. (2.7)



2.6 Alignment photos process parameters.



2.7 Point cloud obtained with the indication of all the camera positions. 668 photos have been used in the alignment.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
point 1	0.427881	-0.727716	1.13772	1.41671	4.385 (7)
point 3	0.910049	-1.71791	0.781655	2.09532	7.362 (7)
point 5	-1.11832	3.18646	-1.50165	3.69582	5.545 (10)

2.8 Ground control points

della telecamera. (2.7). In questo caso sono state allegare 668 foto.

3. Orientamento

Lo scopo di questa operazione è di ottenere un orientamento assoluto del nostro modello. Abbiamo bisogno di almeno 3 target per controllare l'orientamento delle foto.

Procediamo con la ricerca dei marker (**GCP, Ground Control Points**) nelle foto, i punti che ci serviranno per orientare il nostro modello. Non essendo stati posizionati marker durante il rilievo, è stata utilizzata una nuvola di punti, ottenuta mediante laser scanner, per il rilevamento dei punti di controllo a terra, al fine di georeferenziare e scalare il modello.

Utilizzando il software di elaborazione delle nuvole di punti (*Leica Cyclone*), sono stati scelti alcuni elementi architettonici. Abbiamo cercato punti nella nuvola ottenuta dal laser scanner che fossero facilmente e univocamente identificabili all'interno delle nostre foto.

I punti selezionati sono poi stati individuati in ogni foto in cui comparissero gli elementi scelti come marker. Sono necessarie almeno due fotografie in cui compare l'elemento per trovare la corrispondenza del punto nelle foto (principio della *stereoscopia*). Per maggiore sicurezza, abbiamo individuato l'esatta posizione del marker in quante più foto possibili, facendo attenzione che l'errore pixel non superasse lo 0,5 pixel. Una volta completato il processo per ogni

In this case 668 photos have been allined.

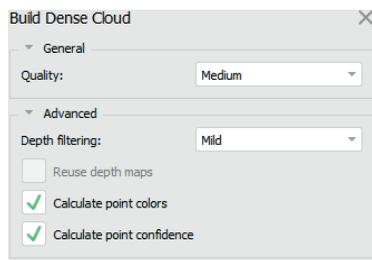
3. Orientation

The aim of this operation is to obtain an absolute orientation of our model. We need at least 3 target to check the orientation of the photos.

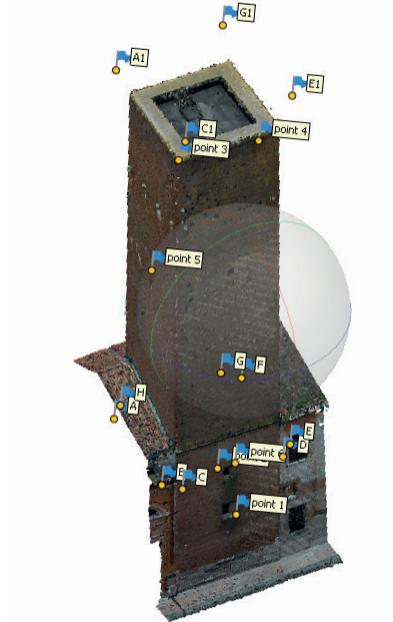
We proceed with the search for markers (GCP, Ground Control Points) in the photos, the points that will serve us to orient our model. Since no markers were placed during the survey, a cloud of points was used, obtained by means of the laser scanner, for the detection of Ground Control Points, in order to geo-reference and scale the model.

Using point cloud processing software (*Leica Cyclone*), some architectural edges have been chosen . We searched for points in the point cloud obtained from the laser scanner that were easily and uniquely identifiable within our photos.

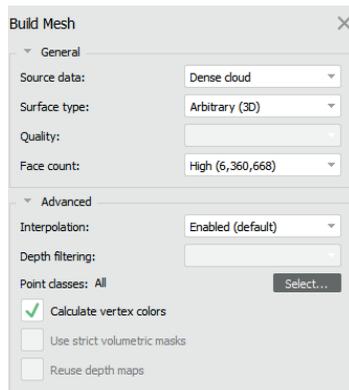
We insert the points found in each photo where the elements chosen as markers are visible. At least two photographs in which the element appears are required to find the correspondence of the point in the photos (stereoscopy). For greater security, we have identified the exact position of the marker in as many photos as possible, taking care that the pixel error does not exceed 0.5 pixels. Once the process was completed for each GCP we optimized the cameras to ensure greater accuracy of our model.



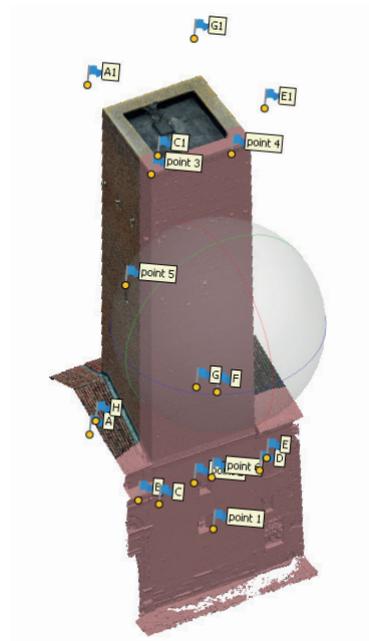
2.9 Build Dense cloud parameters



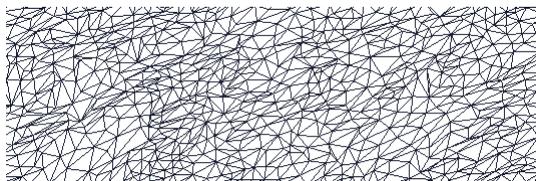
2.10 Dense cloud obtained



2.11 Build Mesh parameters



2.13 Mesh visualized in "model shaded"



2.12 Mesh detail in the "wireframe" visualization.

GCP, abbiamo ottimizzato le telecamere per garantire una maggiore precisione del nostro modello.

Una volta posizionati i marker, abbiamo ottenuto le coordinate necessarie per georeferenziare e scalare il nostro modello e caricarle nel programma. A questo punto otteniamo un errore in metri che deve essere inferiore a 2 centimetri. Alcuni marker, non molto precisi, sono stati esclusi dalla selezione dei GCP, utilizzandoli come check point. Manteniamo dunque almeno tre GCP, sufficienti per orientare il modello nello spazio (3.6). In questo modo l'errore totale dei Ground Control Points mantiene un valore di 2,5 cm, accettabile per il livello di precisione richiesto in questo caso (2.8).

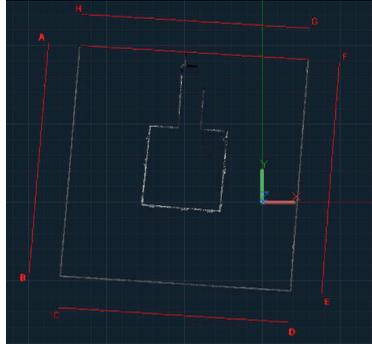
4. Nuvola densa

Si è proceduto con la generazione della nuvola di punti densa utilizzando una qualità media e un filtraggio lieve. (2.9) Nonostante ciò, come vedremo, la qualità media ottenuta è più che sufficiente per i nostri obiettivi (2.10). Nel nostro caso, per questo motivo, il numero dei punti della nuvola densa ottenuti non era troppo alto per il software a disposizione e non è stato necessario filtrare la nuvola densa per ottenerne una più leggera lavorando sulla distanza tra i punti e, di conseguenza, sul numero totale di punti considerati.

Once the markers have been positioned, we obtain the coordinates necessary to georeference and scale our model and load them into the program. At this point we get an error in meters which must be less than 2 centimeters. Some markers are not very precise and we have therefore excluded them from the selection of the GCP, using them as check points. We keep three GCPs, sufficient to orient the model in space (3.6). In this way, the total error of the Ground Control Points maintains a 2.5cm value, acceptable for the level of precision requests in this case (2.8).

4. Dense Cloud

We proceed with the generation of the dense point cloud using medium quality and mild filtering. (2.9) Despite this, as we will see, the average quality is more than sufficient for our objectives (2.10). In our case, for this reason, the number of the points of the dense cloud obtained were not too much for the software and it has not been necessary to filter the dense cloud to obtain a lighter one working on the distance between the points and, consequently, on the number of points considered.



Parallel segments Coordinates

A x=-6.8580 y=+5.0966 z=0
 B x=-7.4798 y=-2.2699 z=0
 C x=-6.5473 y=-3.3519 z=0
 D x=+0.8480 y=-3.8260 z=0
 E x=+1.9090 y=-2.9049 z=0
 F x=+2.4782 y=+4.4830 z=0
 G x=+1.5427 y=+5.5579 z=0
 H x=-5.8000 y=+6.0106 z=0

2.14 Coordinates of the points taken from Autodesk Recap PRO. To these values we have to add a Z value to obtain the parallel planes we need.



2.15 The parallel planes we need to obtain the orthophotos

5. Mesh

Il passo successivo è stato creare la mesh (2.11). La mesh consiste in un reticolo di poligoni regolari, in questo caso triangoli (2.12). I vertici di questi poligoni sono scelti tra i punti della nuvola, in base all'identificazione di alcune caratteristiche della nuvola stessa. Scegliamo un'alta qualità per l'elaborazione, disabilitiamo il completamento automatico da parte del software di alcune parti mancanti dell'edificio, per le quali non c'erano dati sufficienti, e applichiamo l'opzione "calcola i colori dei vertici" per ottenere anche quel tipo di informazioni. La mesh finale può essere visualizzata in diversi modi (es: "modello ombreggiato" o "modello solido"). (2.13)

6. Ortomosaico

Ora che abbiamo creato la mesh possiamo ottenere l'ortomosaico.

Per fare questo abbiamo bisogno, come prima cosa, di trovare tre punti per creare il nostro piano di proiezione: ogni ortomosaico, infatti, per essere generato richiede un piano di proiezione identificato da almeno tre punti, presi considerando due punti allineati sull'asse verticale e due sull'asse orizzontale.

Considerando il nostro caso specifico, decidiamo di realizzare quattro ortofoto dei prospetti e una della copertura. Una volta esportata la nuvola di punti nel programma AutoCAD (2.14), senza modificare la scala e inserendola nell'origine degli assi, troviamo le coordinate dei punti che ci servono per

5. Mesh

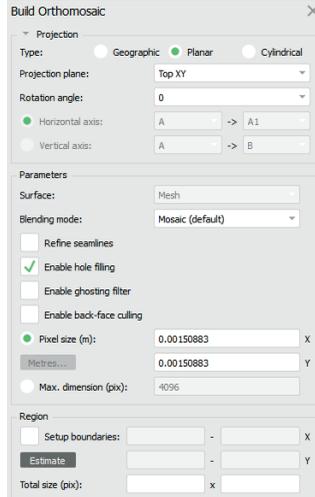
The next step is to create the mesh (2.11). The mesh is a lattice of regular polygons, in this case triangles (2.12). The vertices of this polygons are chosen among the points of the cloud, based on the identification of some characteristics of the cloud itself. We choose an high quality for the elaboration, we disabled the automatic completion by the software of some missing parts of the building, for which there was not enough data, and we thich the option "calculate vertex colors" to obtain also those kind of informations. The final mesh can be visualized in different ways ("model shaded" or "model solid"). (2.13)

6. Orthomosaic

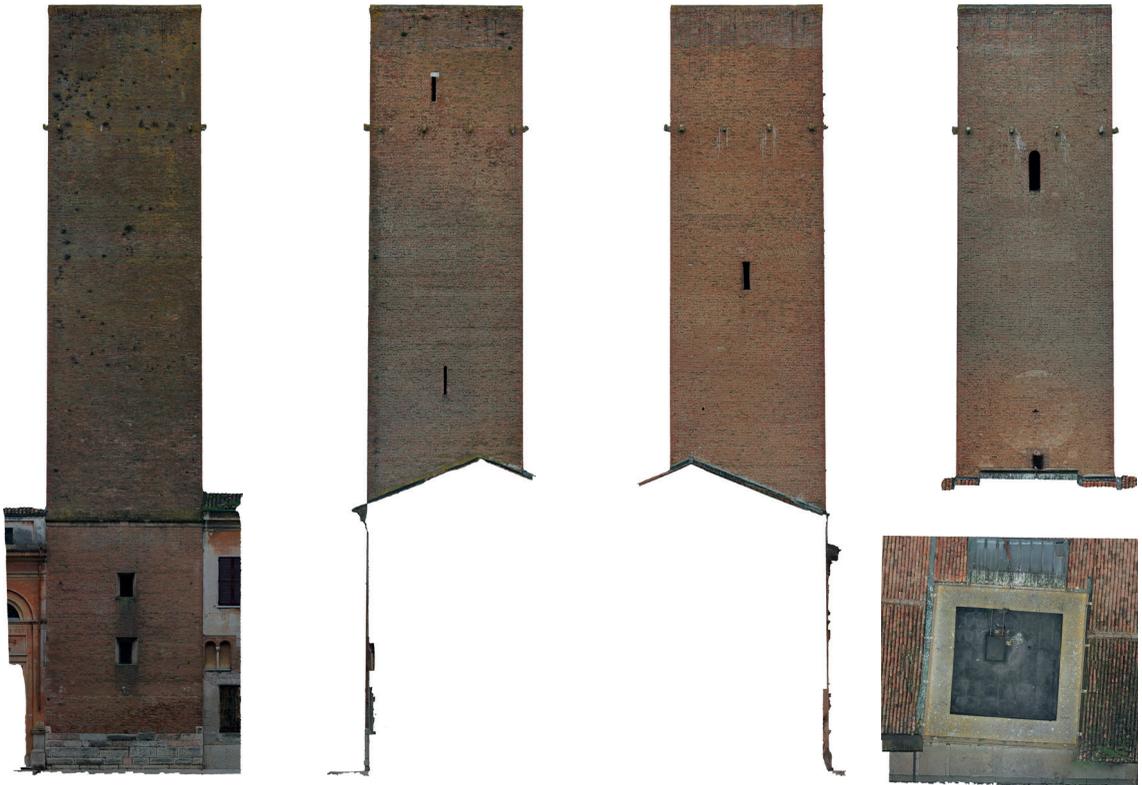
Now that we have created the mesh we can obtain the orthomosaic.

To do this we need, as first thing, to find three points to create our projection plane: each orthomosaic, indeed, to be generated requires a projection plane identified by at least three points, taken considering two points aligned on the vertical axis and two on the horizontal axis.

Considering our specific case, we decide to create four orthophotos of the elevations and one of the coverage. Once the point cloud has been exported to the AutoCAD program (2.14), without changing the scale and putting it in the axis origin, we find the coordinates of the points we need to create



2.16 Orthomosaic creation parameters



2.17 First versions of the five orthomosaics

creare il nostro piano di proiezione (2.15).

Indichiamo i punti che abbiamo trovato per identificare l'asse X e l'asse Y del piano di proiezione ; a questo punto possiamo creare l'ortomosaico. I pixel della nostra ortofoto hanno un lato di 0.00150883m (2.16) ma un numero così complesso risulterà molto scomodo da utilizzare per calcoli e controlli successivi, decidiamo quindi di aumentare la dimensione del lato a 0.005m (5mm), sia per compensare eventuali errori grossolani dovuti alla distanza sia per migliorare l'operabilità dei dati.

I primi risultati presentano alcune parti ed elementi non definiti nell'ortofoto (2.17). Si è proceduto allora con la strategia del poligono: dopo aver pulito il modello con le aree poligonali e ridimensionato l'area di calcolo, si assegnano immagini senza oggetti indefiniti in alcuni punti specifici dell'ortofoto (2.18). È il software stesso a suggerire le foto per la sostituzione (2.19).

Ortomosaico finale

Al termine di questo processo abbiamo ottenuto una versione migliore degli ortomosaici, ripuliti dagli elementi indefiniti presenti nei primi (2.20).

Per migliorare la qualità delle nostre ortofoto abbiamo utilizzato anche il software Photoshop, che ci ha permesso di eliminare gli inutili elementi di bordo e migliorare la consistenza della luce e del colore delle immagini, portandole ad un risultato omogeneo,

our projection plane (2.15).

We indicate the points we have found to identify the X axis and the Y axis of the projection plane and then we can create the orthomosaic. The pixels of our orthophoto have a side of 0.00150883m (2.16) but such a complex number will be very inconvenient for subsequent calculations and checks, we therefore decide to increase the size of the side to 0.005 m (5mm), either to compensate for any gross errors due to distance, or to improve the operability of the data.

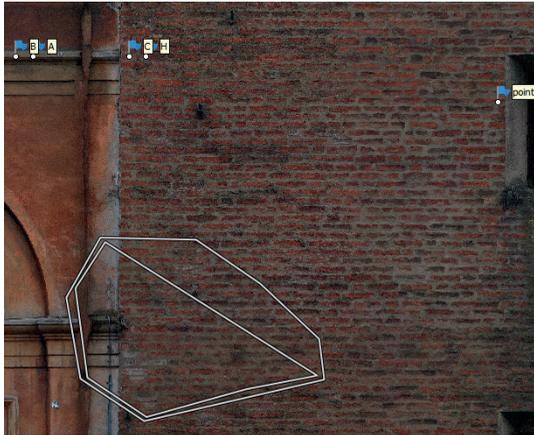
The first results presents some no defined parts and elements in the orthophoto (2.17).

We proceeded with the polygon strategy: after cleaning the model with the polygonal areas and resizing the calculation region, we assign images without undefined objects in some specific points of the orthophoto (2.18). It's the software itself that suggest the photos for the substitution (2.19).

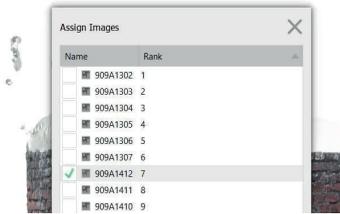
Final orthomosaic

At the end of this process we obtained a better version of the orthomosaics, cleaned by the melted elements present in the first ones (2.20).

To improve the quality of our orthophotos we have used also the Photoshop software, that allowed us to delete the useless border elements and improve te light and colour texture of the images, taking them to an homogeneous result, very difficult when you



2.18 Creation of polygonal areas to delete the disturbing elements from the orthophoto



2.19 Photo reassignment in the selected zones



2.20 Orthophotos obtained from the "cleaning" of the first ones.

molto difficile da ottenere quando si lavora con la luce naturale.

Il ridimensionamento

Dopo la creazione delle ortofoto, è necessario metterle in scala per ottenere le necessarie informazioni dimensionali sull'oggetto rilevato.

I valori che dobbiamo utilizzare per fare questa operazione sono quelli che possiamo leggere direttamente dalle proprietà delle foto ottenute (numero di pixel) e quelli che abbiamo dovuto inserire prima della creazione dell'ortomosaico (dimensione in pixel) . Più in dettaglio, dobbiamo moltiplicare il numero di pixel per la dimensione dei pixel, per ottenere l'altezza e la lunghezza reali delle ortofoto. (es: $7515 \times 0,005 = 37,575$ m). Dopo questo calcolo, abbiamo inserito l'immagine su AutoCad dove l'abbiamo ridimensionata utilizzando la dimensione trovata.

Ridisegno e misurazione

A questo punto è possibile esportare l'ortomosaico ottenuto in vari formati immagine (JPG/TIFF/PNG). L'immagine può poi essere utilizzata per realizzare il disegno vettoriale tramite CAD, per restituire le facciate. Le ortofoto finite, ora ridimensionate e corrette, sono pronte per ottenere tutte le informazioni dimensionali e qualitative sull'oggetto di studio architettonico (2.21).

work with the natural light.

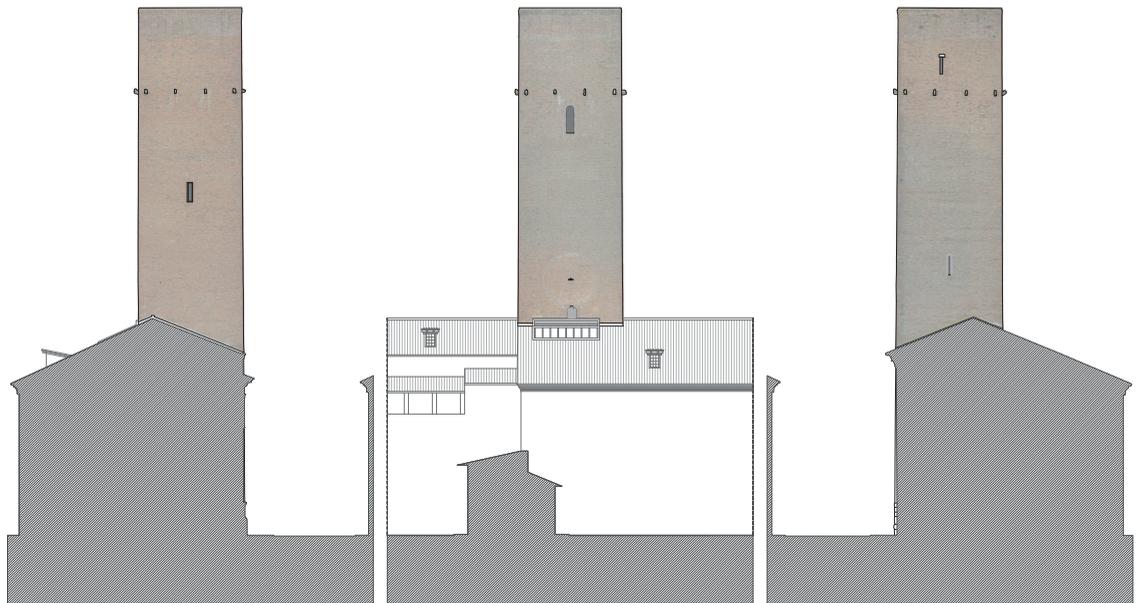
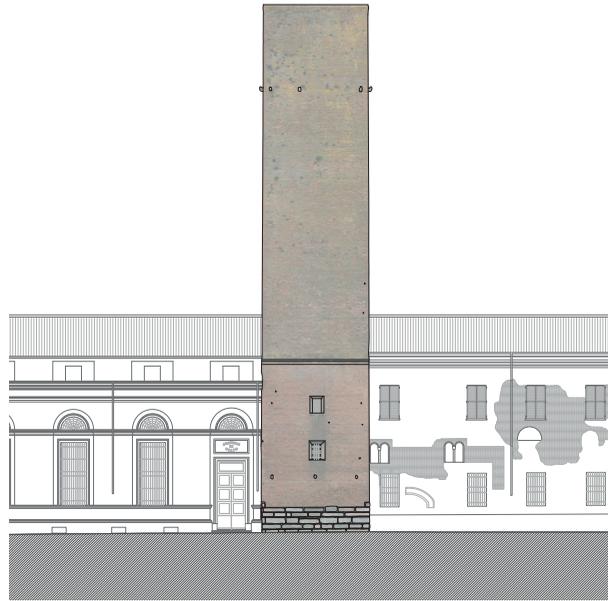
The scaling

After the creation of the orthophotos, it is necessary to put them in scale to obtain the necessary dimensional informations about the object surveyed.

The values that we have to use to do this operation are the ones that we can directly read from the properties of the photos obtained (number of pixel) and the ones that we have had to insert before the creation of the orthomosaic (pixel dimension) . More in detail, we have to multiply the number of pixel for the pixel dimension, to obtain the real height and length of the orthophotos. (es: $7515 \times 0.005 = 37.575$ m). After this calculation, we have put the image on AutoCad where we have scaled it using the founded dimension.

Redrawing and measurement

Afterwards, you can export the orthomosaic obtained in various image formats (JPG/TIFF/PNG). The image can then be used to realize the vector drawing through CAD, to return the façades. The finished orthophotos, now scaled and corrected, are ready to obtain all the dimensional and quality informations about the architectural object of study (2.21).



2.21 Elevation redrawings with the obtained ortophotos.

2.3_ IL RILIEVO GEOMETRICO DELLA TORRE: CONSIDERAZIONI

Come si è detto, un primo rilievo geometrico della torre era già stato ottenuto sulla base del materiale reperito e delle informazioni personalmente raccolte, ancor prima della realizzazione del rilievo fotogrammetrico e laser scanner. I dati raccolti in quest'ultima fase sono stati dunque fondamentali a verificare quello che a tutti gli effetti già si poteva definire un rilievo piuttosto completo.

Considerando la funzione di pure ricerca del rilievo in oggetto, e non avendo necessità di elaborare un progetto esecutivo di intervento, il rilievo iniziale, che comunque è stato verificato possedere un livello di errore molto basso rispetto alla precisione richiesta, è stato modificato sulla base dei nuovi e preziosi dati raccolti. Rimane comunque aperta la possibilità di ulteriore approfondimento e affinamento delle inevitabili approssimazioni nel momento in cui si rendesse effettivamente necessario elaborare un effettivo progetto di intervento.

Si ritiene comunque che il lavoro eseguito possa considerarsi piuttosto preciso e possa a tutti gli effetti fungere da base di partenza per ulteriori approfondimenti sul manufatto.

Occorre sottolineare come fondamentale alla completezza dell'elaborato di tesi sia stata l'elaborazione delle ortofoto, che hanno permesso non solo di ottenere una riproduzione precisa dei prospetti e

2.3_ THE GEOMETRIC SURVEY OF THE TOWER: CONSIDERATIONS

As mentioned, a first geometric survey of the tower had already been obtained on the basis of the material found and the information collected personally, even before the photogrammetric survey and laser scanner were carried out. The data collected in this last phase were therefore essential to verify what to all intents and purposes could already be defined as a rather complete survey.

Considering the function of pure research of the survey in question, and not having the need to elaborate an executive project of the intervention, the initial survey, which in any case has been verified to have a very low level of error compared to the required precision, has been modified on the basis of new and valuable data collected. However, the possibility of further deepening and refinement of the inevitable approximations remains open when it is actually necessary to elaborate an effective intervention project.

However, it is believed that the work performed can be considered quite precise and can in all effects serve as a starting point for further investigations on the artefact.

It should be emphasized how fundamental to the completeness of the thesis was the elaboration of the orthophotos, which allowed not only to obtain a precise reproduction of the elevations and therefore of the general sizing of the artifact, but also

dunque del dimensionamento generale del manufatto, ma anche di ottenere informazioni indispensabili sullo stato di conservazione delle murature. Su di esse, infatti, come si vedrà nei capitoli successivi, è stato realizzato il rilievo approfondito sia dal punto di vista materico, che del degrado.

Il solo rilievo diretto, considerata la conformazione geometrica del manufatto, non avrebbe mai consentito di ottenere un'analisi di tale dettaglio, come neanche il solo rilievo laser scanner che, come si vedrà, permette di ottenere ottimi risultati dal punto di vista metrico ma altrettanto scarsi dal punto di vista cromatico e materico. Essendo l'obiettivo principale della ricerca quello di arrivare ad elaborare un progetto di conservazione il più possibile adeguato e volendolo fare su un bene storico di questo tipo, questo genere di informazioni erano assolutamente essenziali.

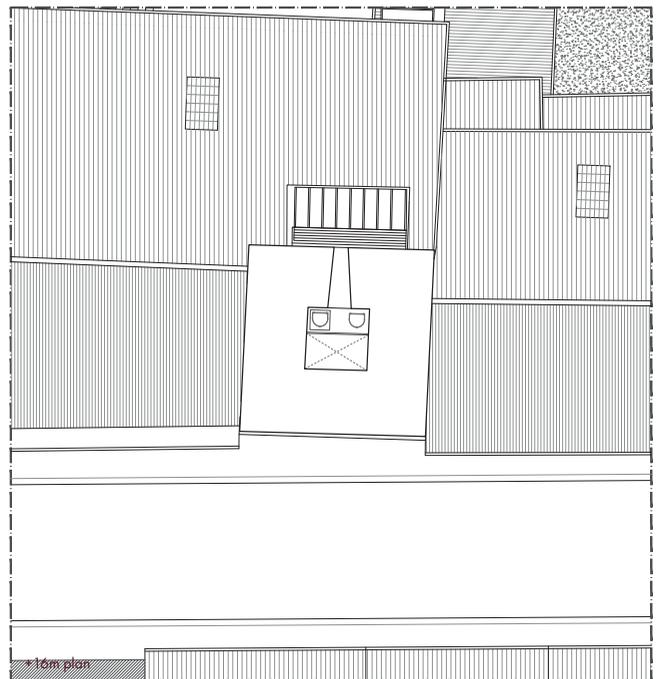
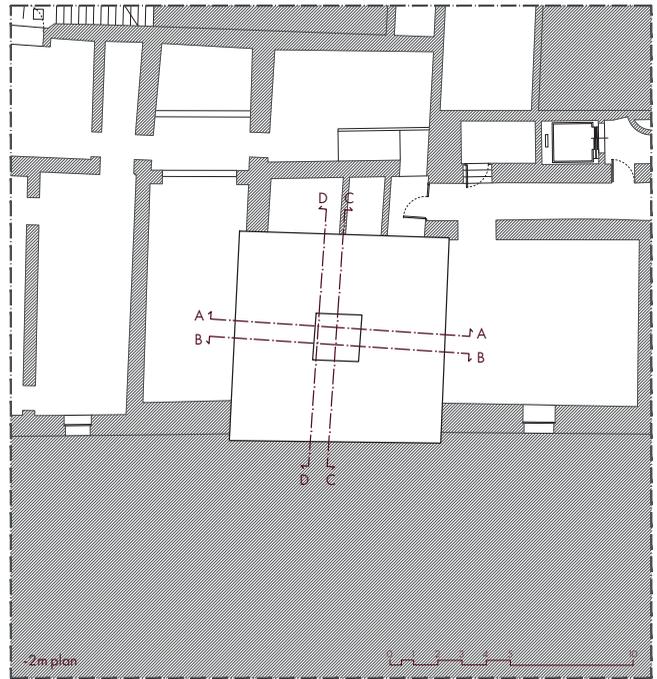
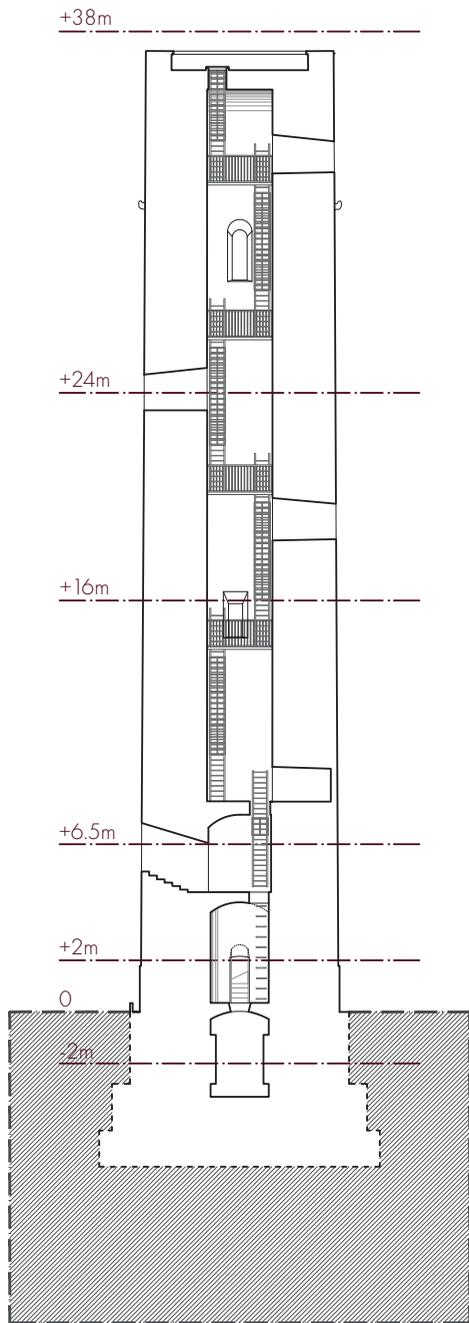
Nel complesso, quello svolto può considerarsi dunque un esempio piuttosto concreto di iter di rilievo di beni storici.

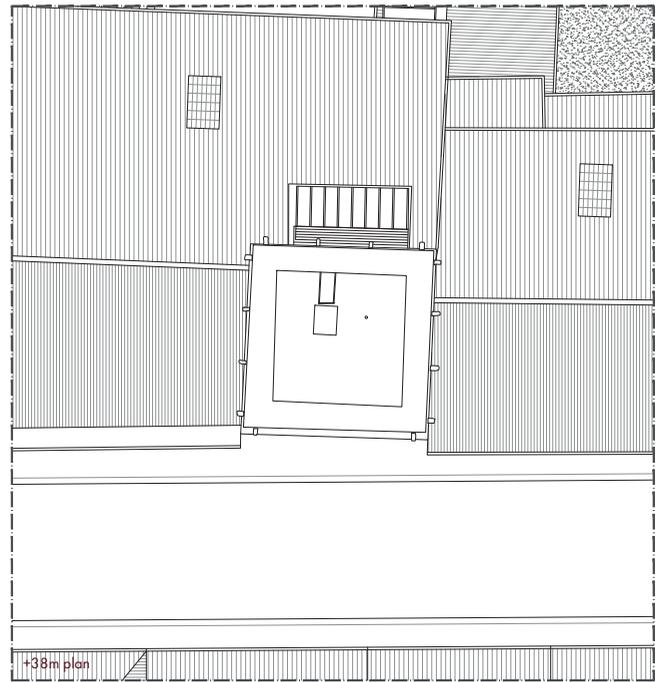
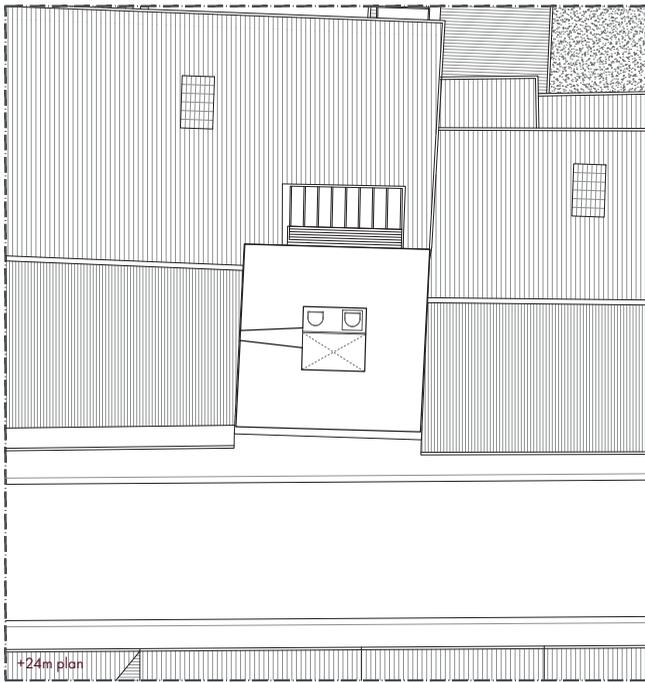
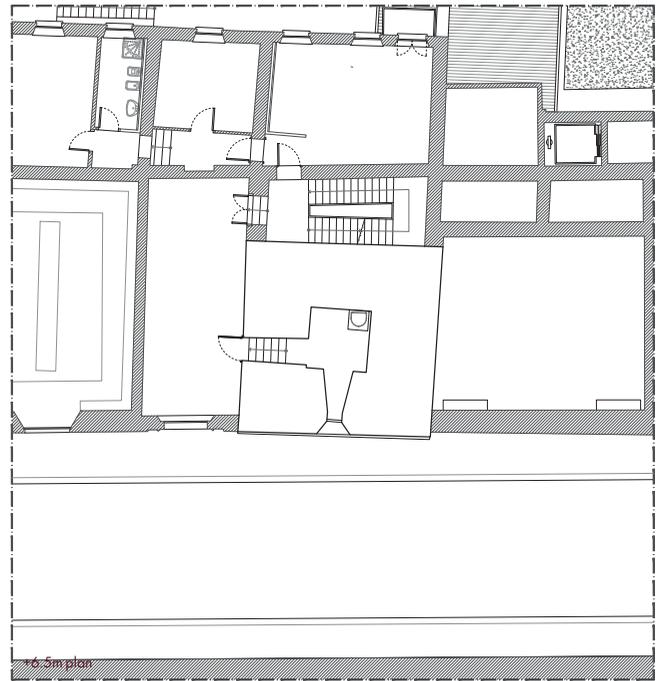
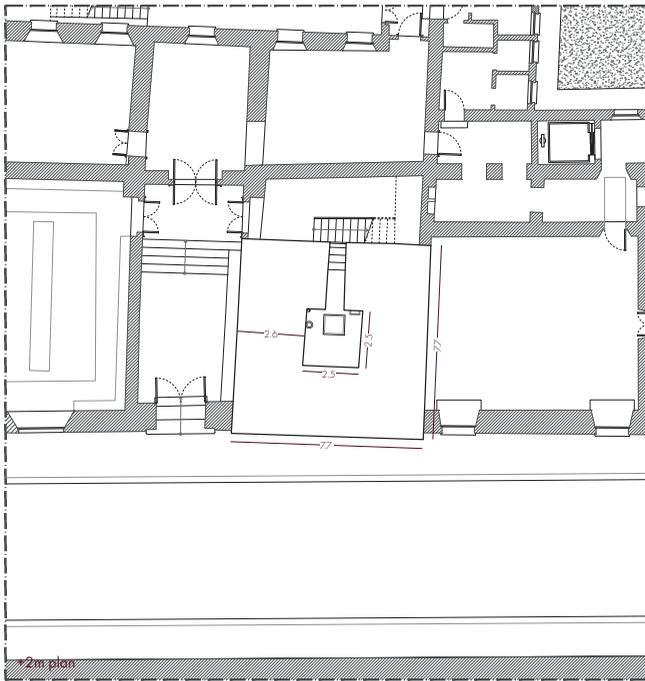
to obtain essential information on the state of conservation of the masonry. On them, in fact, as will be seen in the following chapters, an in-depth survey was carried out, both from the material point of view and from the deterioration point of view.

The direct survey alone, considering the geometric conformation of the artefact, would never have allowed to obtain an analysis of this detail, as neither would the only laser scanner survey which, as will be seen, allows to obtain excellent results from the metric point of view but equally scarce from a chromatic and material point of view. Since the main objective of the research was to come up with a conservation project as adequate as possible and wanting to do it on a historical asset of this type, this kind of information was absolutely essential.

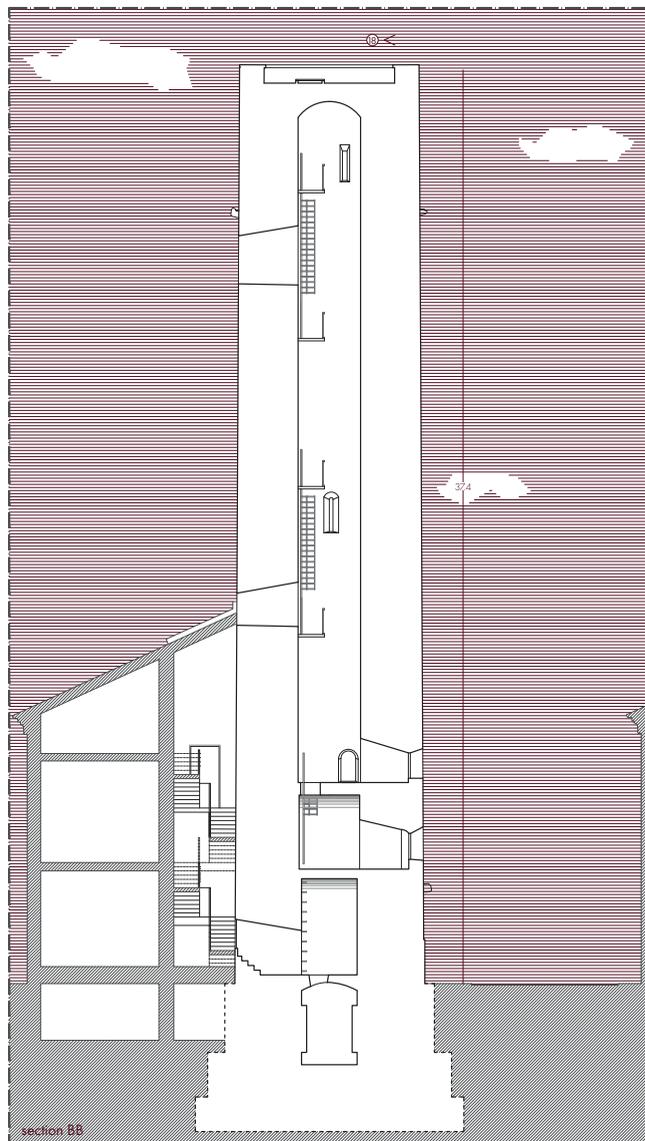
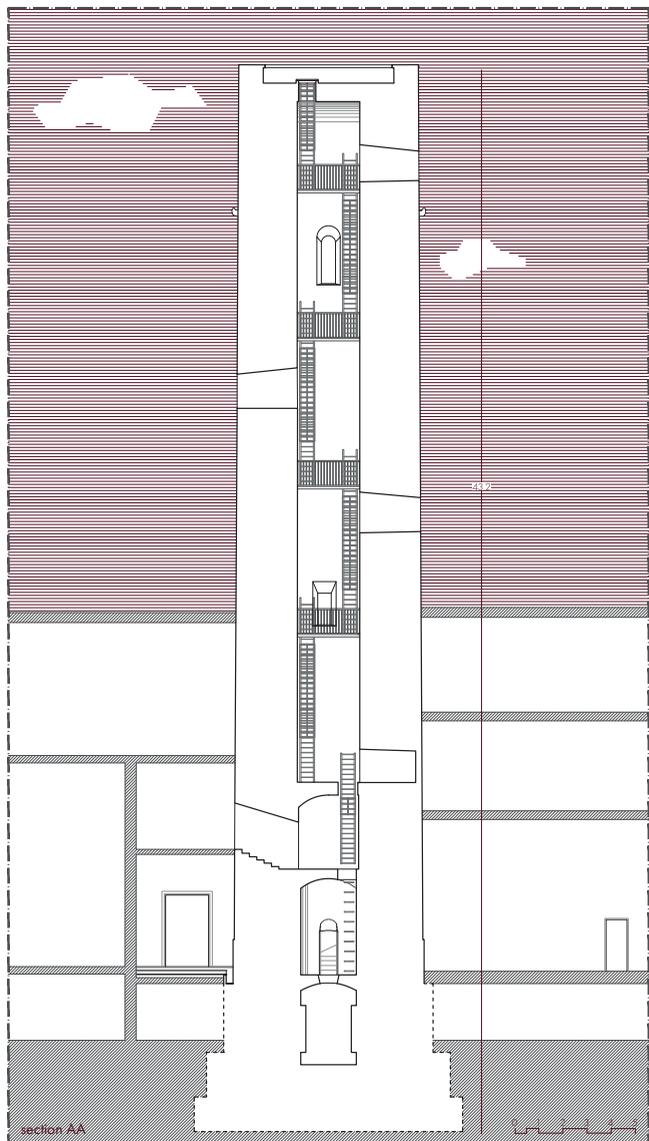
Overall, the one carried out can therefore be considered a rather concrete example of a survey of historical assets.

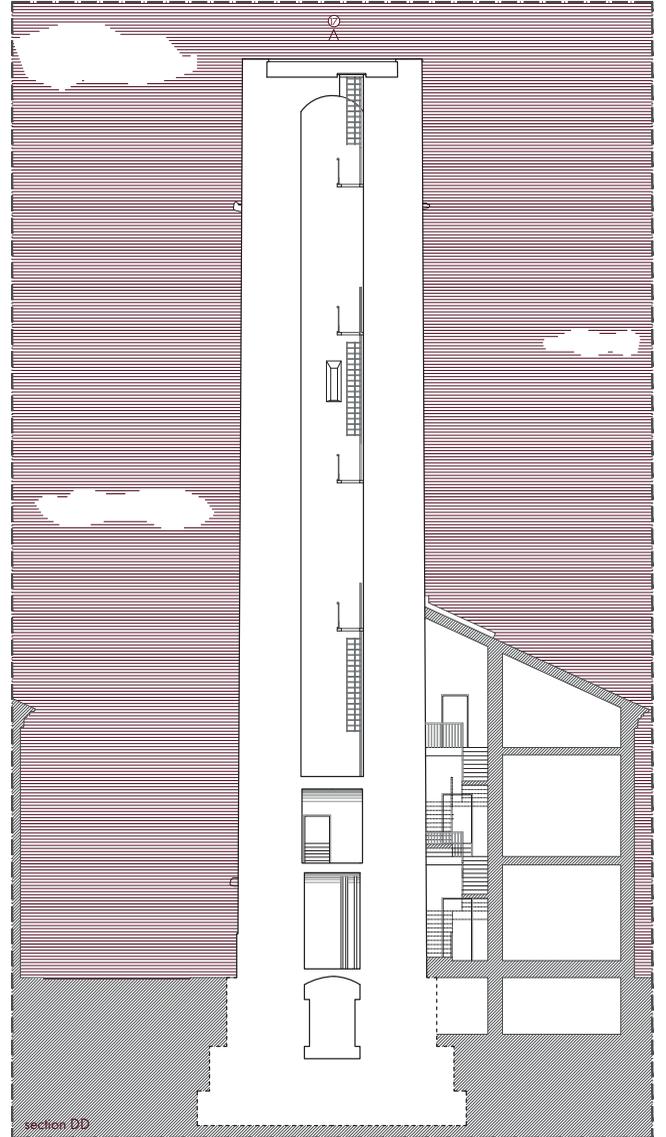
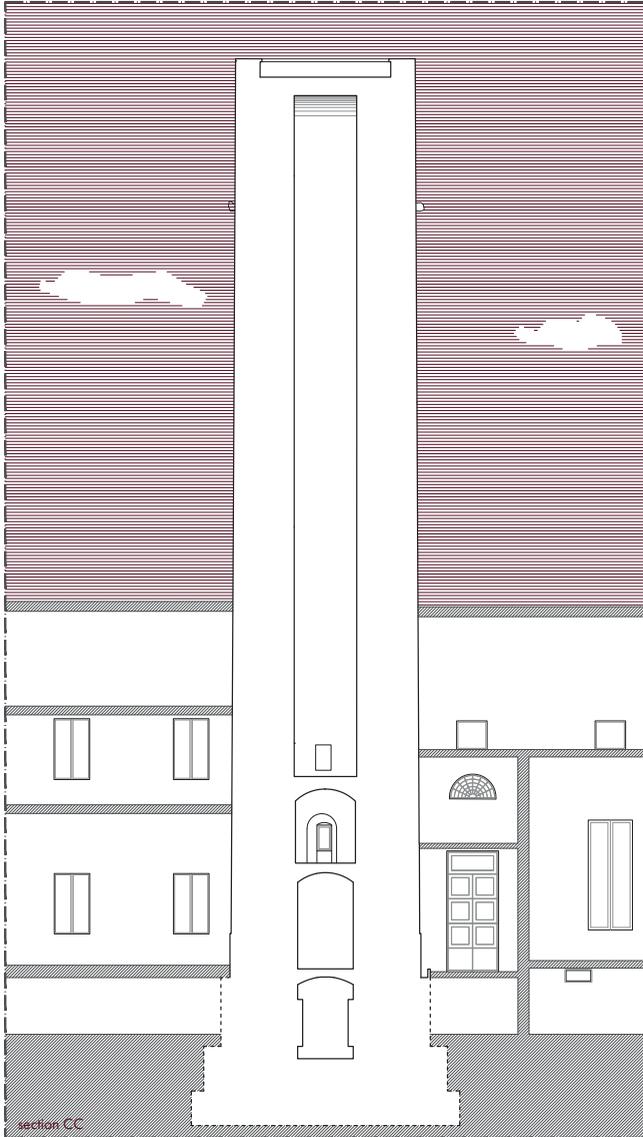
horizontal sections





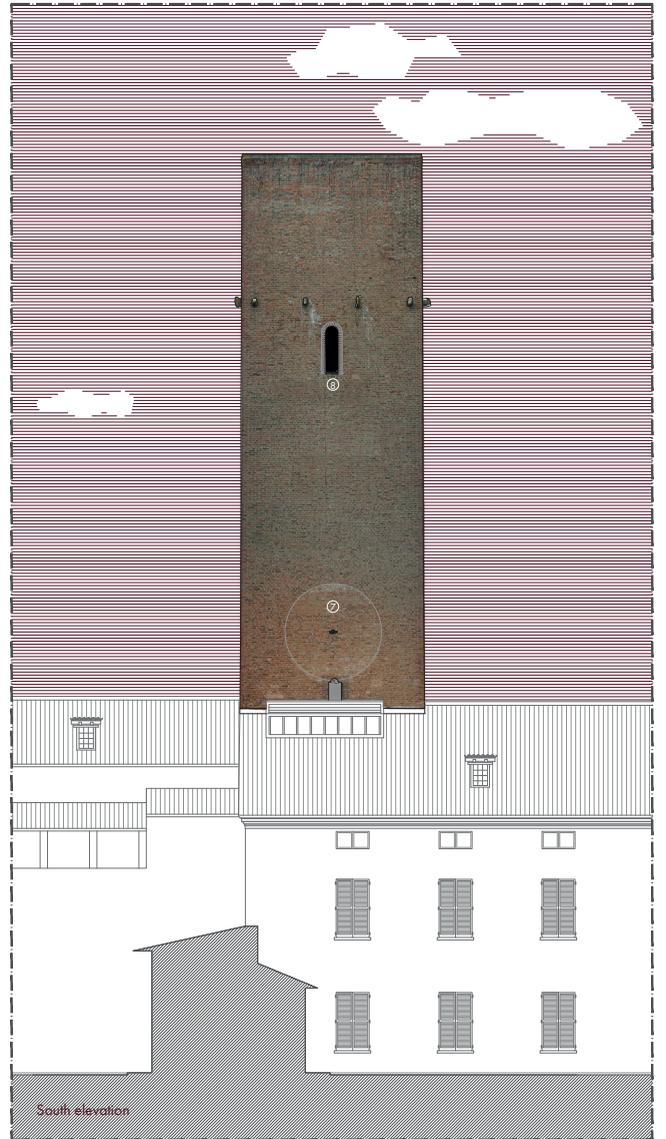
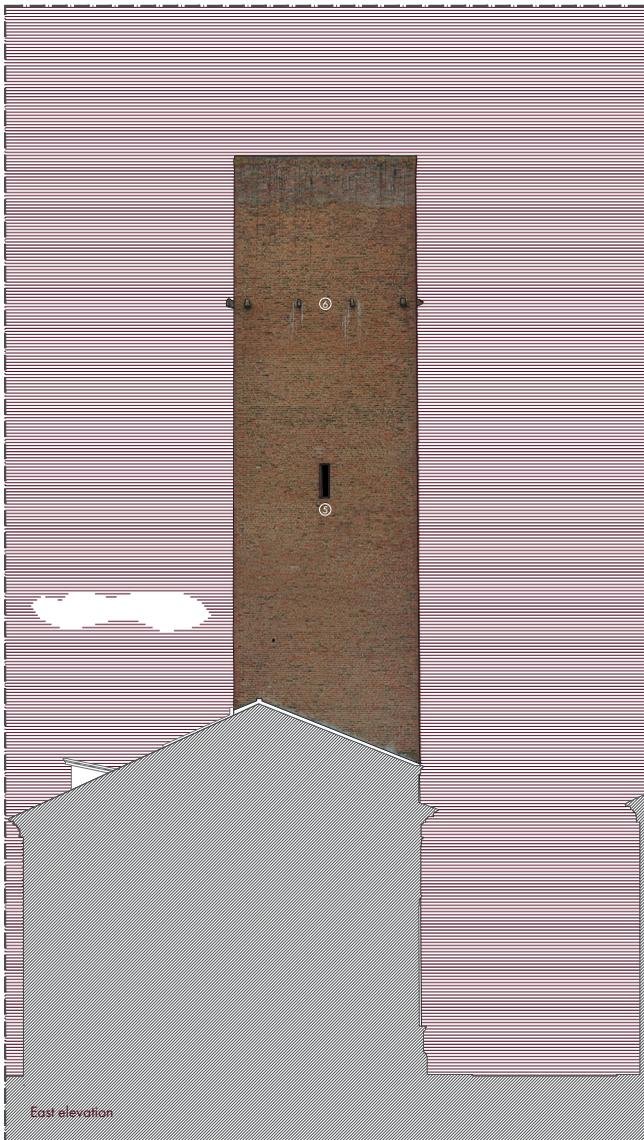
vertical sections

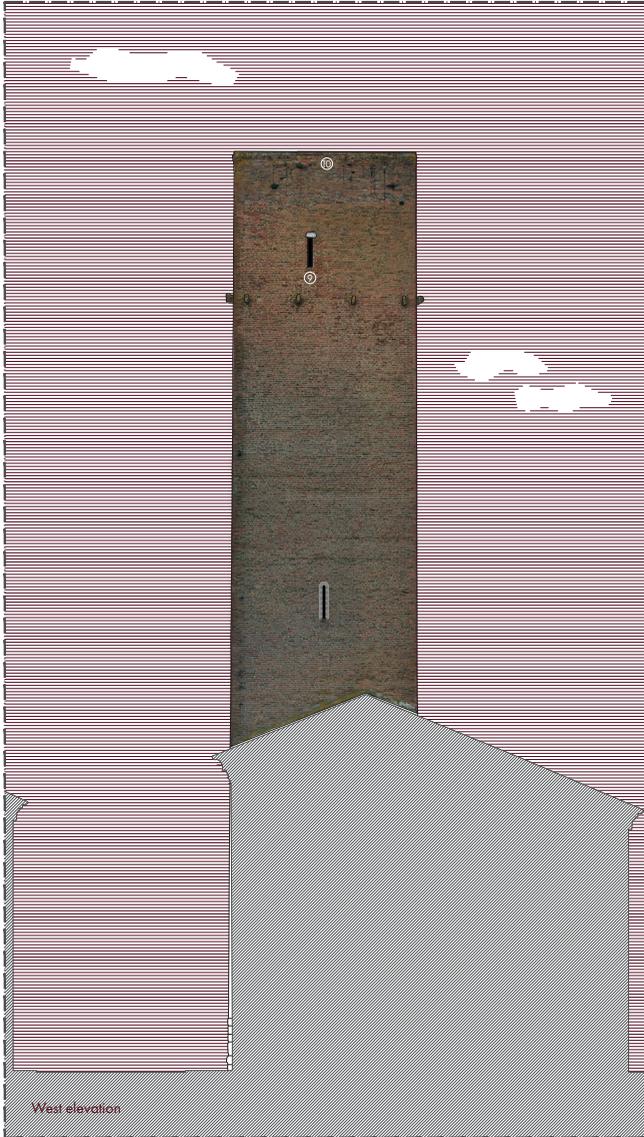




elevations







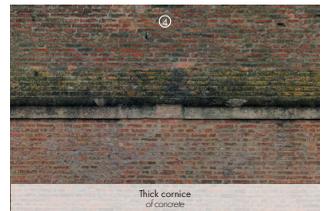
Base of the tower
of Ripao Ammonica or Ripao Verona irregular stone



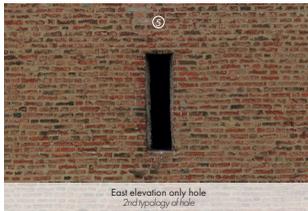
1st level window and stone support cell
of San Viglio limestone



2nd level window
1st typology of hole



Thick cornice
of concrete



East elevation only hole
2nd typology of hole



Superior stone support cell
of San Viglio limestone, probably support of a connection balcony



Ancient sundial remnants
traces of painting originally used for the cleaving of the sundial



South elevation arched hole
3rd typology of hole



East elevation hole
with a different stone architrave detail



Crowning detail
with the concrete covering of the terrace parapet



the masonry investigation

3.1 _ IL PROGETTO DI INDAGINE DIAGNOSTICA

Prima di cominciare un qualunque progetto di indagine diagnostica è bene definire le finalità di quest'ultimo e la tipologia di edificio a cui ci si sta avvicinando, consapevoli che le scelte d'analisi dovranno dipendere strettamente da queste premesse. La fase diagnostica deve essere attentamente studiata e programmata in modo tale da evitare inutili sprechi di tempo e di denaro e, non meno importante, eventuali danneggiamenti della muratura con indagini invasive non necessarie. In generale, le finalità d'ispezione sono le seguenti:

- *Misura, verifica e diagnosi*
- *Caratterizzazione dei materiali*
- *Definizione della geometria*
- *Definizione della struttura portante e dei vincoli*
- *Definizione della capacità portante*
- *Definizione dello stato di conservazione*
- *Controllo dell'intervento*

Il grado di approfondimento necessario alla conoscenza del manufatto, e dunque l'entità, precisione e tipologia delle indagini da effettuare, dovrà tenere in considerazione e dipendere da diversi fattori:

- *Valore dell'opera*
- *Risorse disponibili (mezzi e denaro)*
- *Entità dei dissesti riscontrabili*
- *Tipologia di intervento previsto*

Nel caso specifico l'oggetto di indagine è

3.1 _ THE DIAGNOSTIC SURVEY PROJECT

Before starting any diagnostic investigation project, it is good to define the purposes of the latter and the type of building you are approaching, aware that the analysis choices must strictly depend on these premises. The diagnostic phase must be carefully studied and programmed in such a way as to avoid unnecessary waste of time and money and, last but not least, any damage to the masonry with unnecessary invasive investigations. In general, the inspection purposes are as follows:

- *Measurement, verification and diagnosis*
- *Characterization of materials*
- *Definition of geometry*
- *Definition of the supporting structure and constraints*
- *Definition of the bearing capacity*
- *Definition of the state of conservation*
- *Check of the intervention*

The degree of in-depth analysis necessary for knowledge of the artifact, and therefore the extent, precision and type of investigations to be carried out, must take into account and depend on several factors:

- *Value of the work*
- *Available resources (means and money)*
- *Entity of the disasters that can be found*
- *Type of intervention envisaged*

In this specific case, the object of investigation is a medieval tower of considerable

una torre medievale di notevole importanza all'interno del patrimonio architettonico del centro storico di Mantova. Si tratta inoltre, di un monumento già stato sottoposto all'attenzione delle amministrazioni locali, interessate a dare all'edificio, che in passato ha ospitato funzioni differenti ed ora risulta inutilizzato, un nuovo ruolo all'interno del panorama cittadino. Per queste ragioni un progetto di indagine diagnostica deve essere pensato e attuato, anche in vista di un conseguente progetto di riuso.

Le fasi del progetto diagnostico

Un qualunque progetto diagnostico si compone di determinate fasi ripetibili, ognuna delle quali indispensabile all'ottenimento di informazioni riguardo il manufatto, fondamentali a raggiungere un livello di consapevolezza sufficientemente elevato da evitare possibili e talvolta irreparabili errori di intervento su di esso. Le fasi da seguire sono generalmente le seguenti:

1. *Indagine storica*
2. *Indagine preliminare visiva in situ*
3. *Rilievo geometrico*
4. *Rilievo stratigrafico*
5. *Rilievo del quadro fessurativo*
6. *Rilievo del degrado dei materiali*
7. *Indagini in situ e in laboratorio dei dati raccolti*
8. *Interpretazione dei dati raccolti e valutazione dello stato conservativo*

importance within the architectural heritage of the historic center of Mantua. It is also a monument that has already been submitted to the attention of local administrations, interested in giving the building, which in the past hosted different functions and is now unused, a new role within the city landscape. For these reasons, a diagnostic investigation project must be conceived and carried out, also in view of a consequent reuse project.

The phases of the diagnostic project

Any diagnostic project consists of certain repeatable phases, each of which is essential for obtaining information about the artefact, essential for achieving a sufficiently high level of awareness to avoid possible and sometimes irreparable errors in intervening on it. The steps to follow are generally the following:

1. *Historical investigation*
2. *Preliminary visual investigation in situ*
3. *Geometric survey*
4. *Stratigraphic survey*
5. *Survey of the crack pattern*
6. *Survey of the degradation of materials*
7. *In situ and laboratory investigations of the collected data*
8. *Interpretation of the data collected and evaluation of the conservation status*
9. *Elaboration of the conservative*

9. *Elaborazione del progetto*

di restauro conservativo

10. *Elaborazione del progetto di riuso
(eventuale)*

Dopo aver effettuato una prima **indagine storica** sulle vicende del manufatto volta alla raccolta indiretta di informazioni utili alla comprensione dell'edificio e che permetta di avere un quadro generale delle fasi attraversate e delle eventuali modifiche conosciute subite nel tempo, la metodologia di analisi diagnostica prevede un'**indagine preliminare visiva in situ** del manufatto, che permetta di rilevare eventuali dissesti evidenti della struttura e selezionare di conseguenza le specifiche tipologie di indagine da effettuare e accompagnato al **rilievo geometrico e stratigrafico**. Queste prime fasi sono principalmente finalizzate all'individuazione di tipologie, materiali e organismi strutturali che caratterizzano il manufatto oggetto di studio. Si tratta di un momento fondamentale all'interno della ricerca, poiché dai dati raccolti in queste due prime fasi dipenderanno tutte le scelte di indagine seguenti: in base alla tipologia di manufatto e alla sua evoluzione nel tempo sarà infatti necessario individuare specifiche e mirate tecniche di analisi efficaci al caso in oggetto.

In questo caso specifico, la Torre risulta accessibile agevolmente soltanto sui primi due livelli, piano terra e piano primo, direttamente tramite le aperture di

restoration project

10. *Elaboration of the reuse project (if any)*

After having carried out a first **historical investigation** on the events of the building aimed at indirectly collecting information useful for understanding the building and which allows to have a general picture of the phases passed through and any known changes undergone over time, the diagnostic analysis methodology provides for a **preliminary visual investigation in situ** of the building, which allows to detect any evident instability of the structure and consequently select the specific types of investigation to be carried out and accompanied by the **geometric and stratigraphic survey**. These early stages are mainly aimed at identifying the types, materials and structural organisms that characterize the building under study. This is a fundamental moment within the research, since all the following investigation choices will depend on the data collected in these first two phases: based on the type of artefact and its evolution over time it will in fact be necessary to identify specific and targeted techniques of effective analysis for the case in question.

In this specific case, the Tower is easily accessible only on the first two levels, ground floor and first floor, directly through the connecting openings with the adjacent buildings of the State Archives. The upper "floors" are accessible starting from the first level by means of vertical "marinara"

collegamento con gli immobili adiacenti dell'Archivio di Stato. I "piani" superiori sono accessibili partendo dal livello primo tramite scalette a pioli verticali in ferro alla marinara separate da pianerottoli in ferro, che permettono di arrivare fino alla sommità della torre, sebbene in maniera molto poco agevole e dunque ad oggi riservata alle sole operazioni necessarie di manutenzione e pulizia. La Torre non presenta alcun accesso diretto su strada, ma le dimensioni (circa 9m di larghezza tra strada carrabile e i due marciapiedi) di Via Ardigò sulla quale affaccia permettono l'eventuale passaggio dei mezzi necessari al rilievo delle murature esterne (es. piattaforme elevatrici). In generale si può dire che l'edificio sia rilevabile sia all'interno che all'esterno nella sua quasi totalità. Accedendo all'archivio è possibile analizzarne anche le pareti di contatto con gli immobili adiacenti ad essa direttamente addossati. Saranno proprio questi ultimi, molto probabilmente, i punti da rilevare con maggiore attenzione perché soggetti ad eventuali problematiche di ammorsamento, manifestatesi con grande probabilità in seguito ai movimenti e alle scosse sismiche cui gli edifici sono stati sottoposti nel tempo, non tanto per la torre quanto più per i danneggiamenti indotti.

Qualora non fosse ancora stato realizzato, è necessario effettuare un **rilevamento geometrico** del manufatto, che permetta di ottenerne la riproduzione grafica precisa. La fase di analisi conoscitiva della geometria

ladders in iron separated by landings in iron structures, which allow you to reach the top of the tower, although in a very difficult way and therefore today reserved only for the necessary maintenance and cleaning operations. The Tower has no direct access by road, but the dimensions (about 9m wide between the driveway and the two sidewalks) of Via Ardigò on which it overlooks allow the possible passage of the means necessary to survey the external walls (e.g. lifting platforms). In general, it can be said that the building is detectable both internally and externally in its almost totality. By accessing the archive, it is also possible to analyze the contact walls with the adjacent buildings directly adjacent to it. The latter will most likely be the points to be observed with greater attention because they are subject to possible problems of clamping, which occurred with great probability as a result of the movements and seismic tremors to which the buildings have been subjected over time, not so much for the tower as for more for the damage caused.

If it has not yet been built, it is necessary to carry out a **geometric survey** of the artefact, which allows to obtain a precise graphic reproduction. The phase of cognitive analysis of the geometry of the building will be carried out using specific tools, such as: basic historical documentation (redesigns, historical photographs, reports), photographic survey, laser scanner survey, manual measurement using metric tape and

dell'edificio verrà effettuata mediante specifici strumenti, quali: la documentazione di base di tipo storico (ridisegni, fotografie storiche, relazioni), il rilievo fotografico, il rilievo laser scanner, la misurazione manuale tramite nastro metrico e distanziometro laser e l'utilizzo di droni per rilevare anche le quote più alte non raggiungibili fisicamente dal personale tecnico. Nel caso specifico della Torre quest'ultimo strumento, non sempre necessario, risulta fondamentale. Un rilievo geometrico della torre, piuttosto approssimativo, era già stato effettuato in occasione della proposta di riuso del 2011 realizzata dallo studio *Coprat*, per cui si è resa necessaria una riproduzione grafica metrica del manufatto, allora ancora inesistente. Proprio in quest'occasione lo studio *Geogra s.r.l* ne ha realizzato un rilievo laser scanner grazie al quale è stato possibile ricavare la nuvola di punti fondamentale a renderne misurabili anche le porzioni più alte chiaramente non accessibili senza i mezzi necessari.

A questa prima fase di rilievo geometrico basato sull'utilizzo critico di materiale già a disposizione (Nuvola di punti e disegni quotati frutto del rilievo in più fasi e di persone differenti del manufatto nel corso degli anni), è seguito un progetto di rilievo fotogrammetrico e laser scanner della torre, che ha permesso di ottenere i dati necessari alla verifica di quanto precedentemente realizzato.

laser distance meter and the use of drones to detect even the highest altitudes that cannot be physically reached by the technical staff. In the specific case of the Tower, this last tool, not always necessary, is fundamental. A rather approximate geometric survey of the tower had already been carried out on the occasion of the 2011 reuse proposal made by the *Coprat* studio, which required a metric graphic reproduction of the building, which was still non-existent at the time. Precisely on this occasion, the *Geogra s.r.l* studio created a laser scanner survey thanks to which it was possible to obtain the fundamental point cloud to make even the highest portions clearly not accessible without the necessary means measurable.

This first phase of geometric survey based on the critical use of material already available (Cloud of points and dimensional drawings resulting from the survey in several phases and of different people of the artifact over the years), was followed by a photogrammetric survey and laser scanner of the tower, which made it possible to obtain the data necessary to verify what was previously achieved.

Once this first phase of general knowledge has been carried out, the first more specific investigations on the masonry can be carried out: through the **stratigraphic survey**, always to be carried out with the complementarity, where possible, of historical investigations. It is possible to identify more or less clearly the interventions that the building should

Eseguita questa prima fase di conoscenza generale, possono essere effettuate le prime indagini più specifiche sulla muratura: tramite il **rilievo stratigrafico**, sempre da realizzare con la complementarietà, ove possibile, delle indagini storiche. E' possibile individuare più o meno chiaramente gli interventi che l'edificio dovrebbe aver subito nel corso del tempo, quali tamponamenti di aperture, accostamenti, sopraelevazioni, aggiunte o rimozioni di ogni genere. L'individuazione di questi punti di discontinuità sarà fondamentale nel momento in cui si dovrà stabilire in quali punti della struttura effettuare i saggi diagnostici ed i conseguenti interventi, poiché si tratta spesso proprio delle zone in cui le strutture risultano essere più fragili. All'esterno la torre non presenta palesi testimonianze di aggiunte o modifiche consistenti, sebbene grazie all'indagine storica sia stato possibile conoscere gli effettivi rimaneggiamenti dovuti ai lavori di restauro che hanno interessato la torre nel corso degli anni, i quali hanno coinvolto prevalentemente l'esterno. All'interno la disomogeneità è più consistente, particolarmente evidente quella del primo piano, il quale negli anni '40 è stato a tutti gli effetti integrato all'interno degli spazi dell'archivio in veste di deposito. Per farlo si è reso necessario realizzare l'apertura di nuove porte, l'inserzione di tramezzi divisorii nel deposito e la ritinteggiatura con latte di calce o colore a due passate dell'ambiente.

Le tipologie di diagnosi da effettuare per ottenere la valutazione dell'effettivo stato

have undergone over time, such as curtain walls of openings, juxtapositions, elevations, additions or removals of any kind. The identification of these points of discontinuity will be fundamental when it is necessary to establish in which points of the structure to carry out the diagnostic tests and the consequent interventions, since these are often precisely the areas in which the structures are more fragile. On the outside, the tower does not present clear evidence of additions or substantial changes, although thanks to the historical investigation it was possible to know the actual alterations due to the restoration works that have affected the tower over the years, which have mainly involved the external. Inside, the inhomogeneity is more consistent, particularly evident on the first floor, which in the 1940s was effectively integrated into the archive spaces as a deposit. To do this, it was necessary to open new doors, insert partitions in the warehouse and repaint the environment with lime milk or two-coat color.

The types of diagnosis to be made to obtain an assessment of the actual state of conservation of the building will be evaluated following the preliminary **survey of the crack pattern and the degradation of the materials**. The relief of the crack pattern is essential to define any criticalities present, attributable to deficiencies in the structural system in relation to ordinary static actions or in relation to any seismic action. The detection of cracks must take place through a careful investigation of

di conservazione dell'edificio saranno da valutare a seguito del preliminare **rilevamento del quadro fessurativo e del degrado dei materiali**. Il rilevamento del quadro fessurativo risulta fondamentale per definire eventuali criticità presenti, imputabili a carenze del sistema strutturale nei confronti di azioni ordinarie statiche o nei confronti dell'eventuale azione sismica. Il rilevamento delle fessurazioni dovrà avvenire attraverso un'attenta indagine sia dell'esterno che dell'interno, in modo da poter valutare anche la tipologia di fessurazione (superficiale, profonda, passante) ed il livello di pericolosità dello stato di fatto. Osservando la torre sia all'interno che all'esterno, non si rileva uno stato fessurativo preoccupante. Consistenti fessurazioni sono invece riscontrabili nei punti di ammassamento tra la muratura della torre e quella adiacente dell'archivio: in seguito al sisma del 2012, numerose discontinuità si sono manifestate in questi punti di contatto, che si è subito provveduto a stuccare dopo averne effettuato le necessarie verifiche che hanno confermato l'agibilità dell'edificio. Per quanto riguarda il livello di degrado dei materiali, l'obiettivo è quello di definire un abaco delle patologie rilevate sulla muratura in modo da individuarne le cause e prevederne un efficace progetto conservativo che ne eviti la riformazione. Nel nostro caso specifico, le patologie rilevabili all'esterno sono la presenza di vegetazione infestante, la presenza di patina biologica, porzioni in cui è visibile una lieve alterazione

both the outside and the inside, in order to also evaluate the type of crack (superficial, deep, passing) and the level of danger of the state of affairs. Observing the tower both inside and outside, there is only one case of worrying state of cracks. On the other hand, substantial cracks can be found in the clamping points between the masonry of the tower and the adjacent one of the archive: following the 2012 earthquake, numerous discontinuities appeared in these points of contact, which was immediately filled in after having carried out the necessary checks that confirmed the building's usability. As for the level of degradation of the materials, the goal is to define an abacus of the pathologies detected on the masonry in order to identify the causes and provide for an effective conservation project that avoids its reformation. In our specific case, the pathologies detectable outside are the presence of weed vegetation, the presence of biological patina, portions in which a slight chromatic alteration is visible, the presence of humidity and the detachment of small portions probably due to loss of adhesion mortars and the continuous actions of freezing and thawing, water infiltration and consequent crystallization of salts inside the masonry. Overall, however, the external facades are in a good state of conservation, probably due to the latest interventions carried out by the *Genio Civile* between the 50s and 70s of the last century and those carried out in the 90s at the request of the *Nucleo Operativo di*

cromatica, presenza di umidità e il distacco di piccole porzioni probabilmente a causa della perdita di aderenza delle malte e dalle continue azioni di gelo e disgelo, infiltrazione d'acqua e conseguente cristallizzazione dei sali all'interno della muratura. Nel complesso, tuttavia, le facciate esterne si presentano in un buono stato di conservazione, probabilmente dovuto agli ultimi interventi realizzati dal *Genio Civile* tra gli anni '50 e '70 del secolo scorso e quelli effettuati negli anni '90 su richiesta del *Nucleo Operativo di Mantova del Magistrato alle acque* in occasione del *VI Convegno Nazionale sul Riuso dei Castelli*.

La terza ed ultima fase è quella di **interpretazione dei dati raccolti** tramite l'analisi di vulnerabilità e le attività di monitoraggio, dalle quali dipenderanno le eventuali tecniche di intervento ed indicazioni progettuali.

Le **indagini sperimentali** si dividono generalmente in due categorie, quelle effettuabili direttamente **in situ** e quelle da effettuare **in laboratorio** in seguito al prelievo di materiale e successiva analisi. Tra le analisi da effettuarsi in situ si annoverano indagini qualitative quali indagini soniche, rilievo del quadro fessurativo, umidità, termografia, radar, e indagini quantitative quali rilievo geometrico, monitoraggio e controllo della struttura, misura dello stato di sforzo locale, dai quali si ricavano parametri geometrici e meccanici. Tra le analisi di laboratorio

Mantova del Magistrato alle acque on the occasion of the *VI National Conference on the Reuse of Castles*.

The third and last phase is that of **interpreting the data collected** through vulnerability analysis and monitoring activities, on which any intervention techniques and design indications will depend.

Experimental investigations are generally divided into two categories, those that can be carried out directly **in situ** and those to be carried out **in the laboratory** following the sampling of material and subsequent analysis. The analyses to be carried out in situ include qualitative investigations such as sonic investigations, relief of the crack pattern, humidity, thermography, radar, and quantitative investigations such as geometric relief, monitoring and control of the structure, measurement of the local stress state, from which we obtain geometric and mechanical parameters. On the other hand, laboratory analyses include chemical analyses, physical tests and mechanical tests, after which data that can be used to determine the load-bearing capacity of the masonry are collected.

In the specific case, the masonry, as mentioned, does not present obvious structural problems, however some specific investigations can be planned that give the certainty of still having, after the latest investigations carried out at the end of the 1980s, a situation of stability that allows a hypothetical reuse.

si possono avere invece analisi chimiche, prove fisiche e prove meccaniche, in seguito alle quali vengono raccolti dati utilizzabili per determinare la capacità portante della muratura.

Nel caso specifico la muratura, come si è detto, non presenta evidenti problematiche strutturali, si possono tuttavia programmare alcune indagini specifiche che diano la certezza di avere ancora, dopo le ultime indagini effettuate alla fine degli anni '80, una situazione di stabilità che ne consenta un ipotetico riuso.

La torre, non presentando alcuno strato di intonaco esterno e solo una piccola porzione intonacata all'interno in corrispondenza del primo piano, consente, prima di tutto, di ottenere già informazioni riguardo le **caratteristiche in superficie della muratura**, che vengono poi approfondite dalla possibilità di effettuare **saggi anche nello spessore** possibilmente in corrispondenza delle mancanze di materiale già presenti, evitando quanto più possibile, di effettuare ulteriori carotaggi meccanici invasivi che rischierebbero di indebolire inutilmente la struttura. Questo tipo di indagine consente di ottenere informazioni riguardo il **livello di ammorsamento** tra muri ortogonali e tra i solai e le pareti. In questo caso le ispezioni sono particolarmente utili in corrispondenza dei punti di ammorsamento tra la muratura della torre e quella degli edifici adiacenti dell'archivio, punti più fragili nei quali,

The tower, not presenting any layer of external plaster and only a small portion plastered inside at the first floor, allows, first of all, to already obtain information about the **surface characteristics of the masonry**, which are then deepened by the possibility of carry out **tests also in the thickness** possibly in correspondence with the lack of material already present, avoiding as much as possible to carry out further invasive mechanical coring that would risk unnecessarily weakening the structure. This type of survey makes it possible to obtain information regarding the **level of clamping** between orthogonal walls and between floors and walls. In this case the inspections are particularly useful in correspondence with the clamping points between the tower masonry and that of the adjacent buildings of the archive, more fragile points in which, as mentioned, the cracks caused by the seismic events of 2012 are clearly visible. In this case it will be necessary to remove portions of the plaster from the walls of the adjacent buildings, to detect the conditions of the underlying masonry. In the absence of plaster it will be possible to **check the compactness of the mortars and the monolithic behavior of the masonry**, through localized tests that affect the entire wall thickness.

Videoscopic investigations, where the masonry already has deep deficiencies or following targeted coring, which allow to visualize the stratification and internal composition of the masonry. The first option

come si è detto, sono chiaramente visibili le fessurazioni provocate dagli eventi sismici del 2012. In questo caso sarà necessario rimuovere porzioni di intonaco dalle pareti degli edifici adiacenti, per rilevare le condizioni della muratura sottostante. In assenza di intonaco sarà possibile effettuare una **verifica della compattezza delle malte e del comportamento monolitico della muratura**, attraverso saggi localizzati che interessino l'intero spessore murario.

Indagini videoscopiche, ove la muratura già presenti mancanze profonde o in seguito a carotaggio mirato, che permettono di visualizzare la stratificazione e composizione interna della muratura. Sarà da preferire la prima opzione, in modo da non danneggiare ulteriormente la muratura e dunque indebolire inutilmente la struttura.

Prova con martinetti piatti: Si tratta di una prova poco invasiva, e dunque adatta ad una muratura storica di questo tipo, in grado di rendere la caratterizzazione meccanica della muratura, la valutazione del suo stato di conservazione ed eventualmente verificare l'efficacia dell'intervento realizzato. Due tipologie di martinetto dovranno essere utilizzate: **martinetto piatto singolo**, che

will be preferred, so as not to further damage the masonry and therefore unnecessarily weaken the structure.

Test with flat jacks: This is a minimally invasive test, and therefore suitable for a historical masonry of this type, capable of making the mechanical characterization of the masonry, the evaluation of its state of conservation and possibly verify the effectiveness of the intervention realized. Two types of jacks must be used: **single flat jack**, which allows to measure the stress and compression state of the structure, **double flat jack**, which allows to identify the elastic characteristics of the masonry. This last type of test allows to estimate the response of the structures to the stresses. In the case of the tower, even in anticipation of a possible reuse project, which would inevitably lead to an increase in the load to which the structures would be subjected, this type of investigation is fundamental.¹

Sonic investigations in order to identify any discontinuities within the masonry and evaluate their density and quality. The sonic speed is higher in the case of homogeneity of the medium, lower in the case of air spaces and therefore voids. The tower, as mentioned, has no obvious lacks on the surface, but it

1. Reference standard: RILEM Lum 90/2 – Lum D.2: *In-situ stress tests based on the flat jack (1990)*; RILEM Lum 90/2.- Lum D.3: *In-situ strength and elasticity tests based on the flat jack (1990)*; ASTM C 1196 - *Standard test method for In situ compressive stress within solid unit masonry estimated using flatjack measurements (2009)*; ASTM C 1197 - *Standard test method for in-situ measurement of masonry deformability properties using the flatjack method (2009)*

permette di misurare lo stato di sforzo e compressione della struttura, **martinetto piatto doppio**, che permette di individuare le caratteristiche elastiche della muratura. Questo ultimo tipo di prova consente di stimare la risposta delle strutture agli sforzi. Nel caso della torre, anche in previsione di un eventuale progetto di riuso, che ne comporterebbe inevitabilmente un aumento di carico cui le strutture verrebbero sottoposte, questo tipo di indagine risulta fondamentale.¹

Indagini soniche allo scopo di individuare eventuali discontinuità all'interno della muratura e valutarne la densità e la qualità. La velocità sonica risulta maggiore in caso di omogeneità del mezzo, minore in caso di intercapedini d'aria e dunque di vuoti. La torre, come si è detto, non presenta evidenti mancanze in superficie, ma potrebbe presentare vuoti all'interno dello spessore della muratura, che questo tipo di indagine metterebbe facilmente in luce senza necessariamente intervenire con prove invasive quali, ad esempio, il carotaggio.

Indagini sulla presenza di umidità tramite il metodo ponderale, che permette di individuarne sia la distribuzione verticale che quella in spessore nella muratura. In questo caso specifico, trattandosi di un manufatto costituito da murature di consistente spessore (circa 2.5m), il problema dell'umidità potrebbe caratterizzarlo con molta probabilità.

could have gaps within the thickness of the masonry, which this type of investigation would easily highlight without necessarily intervening with invasive tests such as, for example, core drilling.

Investigations on the presence of humidity using the weight method, which allows to identify both the vertical distribution and the thickness distribution in the masonry. In this specific case, since it is an artifact consisting of thick walls (about 2.5m), the problem of humidity could very likely characterize it.

Following the acquisition of the necessary information through the diagnostic investigations carried out and the interpretation of the data collected, it will be possible to determine the acquisition points and design choices. In the specific case of the tower, a structure of such height with respect to the support base, it will be essential to carry out a **static and dynamic monitoring project**, which allows to know the static and dynamic behavior of the structure in normal conditions and in case of external stresses, in order to record the possible effects over time. Static monitoring is more limited as it requires fixed measurement bases over time and carries out only local detection, via LVDT (for checking the opening of cracks), laser light telecoordinometer (for controlling tower movements). The dynamic monitoring is repeatable and carries out global measurements, using servo accelerometers (to measure the accelerations suffered by the

In seguito all'acquisizione delle informazioni necessarie attraverso le indagini diagnostiche effettuate e all'interpretazione dei dati raccolti, sarà possibile determinare i punti di acquisizione e le scelte progettuali. Nel caso specifico della torre, una struttura di tale altezza rispetto alla base d'appoggio, sarà fondamentale effettuare un **progetto di monitoraggio statico e dinamico**, che permetta di conoscere il comportamento statico e dinamico della struttura in condizioni normali ed in caso di sollecitazioni esterne, in modo da registrarne i possibili effetti nel tempo. Il monitoraggio statico è **più limitato** poiché necessita di basi di misura fisse nel tempo ed effettua un rilevamento solo locale, tramite LVDT (per il controllo dell'apertura delle fessure), telecoordinometro a luce laser (per il controllo degli spostamenti della torre). La monitoraggio dinamico è ripetibile ed effettua rilevamenti globali, tramite servo accelerometri (per il rilievo delle accelerazioni subite dalla torre per effetto del vento).

Fondamentale alla valutazione dello stato di conservazione effettivo sarà il **campionamento delle malte e dei laterizi**, che vengono poi analizzati in laboratorio. Queste indagini permettono infatti di caratterizzare i materiali, i degradi e forniscono informazioni per la formulazione di materiali per le riparazioni. Nel caso delle malte si andrà ad intervenire mediante la ristilatura, risarcendo la parte esterna dei giunti con nuova malta perfettamente

tower due to the effect of the wind).

The **sampling of mortars and bricks**, which are then analyzed in the laboratory, will be fundamental to the evaluation of the actual state of conservation. In fact, these investigations allow to characterize the materials, the degradations and provide information for the formulation of materials for repairs. In the case of mortars, we will intervene by restyling, compensating the external part of the joints with new mortar perfectly compatible with the original one, where it is set back or missing on the surface. Sampling will make it possible to establish which mortars are the original ones and which ones to use for the intervention. Analyzes such as chemical composition determination, freeze and thaw tests, capillary rising tests and mechanical tests can be carried out on the bricks and on the samples obtained, capable of providing a general idea of the quality of the materials and their mutual collaboration. Apparently on the outside, the tower is rather homogeneous, on the inside, where there is no plaster, the masonry is more degraded. This is clearly due to the fact that the restorations carried out over the years have almost exclusively involved the exterior.²

The Tower, which originally had wooden stairs and galleries that would certainly have required specific investigations on the easily decaying material, following the interventions undergone in the 1970s was equipped with replacement metal stairs and

compatibile con quella originale, laddove risulti arretrata o mancante sulla superficie. Il campionamento consentirà di stabilire quali siano le malte originarie e quali utilizzare per l'intervento. Sui laterizi e sui campioni ricavati potranno essere effettuate analisi quali determinazione della composizione chimica, prove di gelo e disgelo, prove di risalita capillare e prove meccaniche, in grado di restituire un quadro generale della qualità dei materiali e della loro reciproca collaborazione. Apparentemente all'esterno la torre si presenta piuttosto omogenea, all'interno, dove non vi è presenza di intonaco, la muratura risulta più degradata. Ciò è chiaramente dovuto al fatto che i restauri realizzati nel corso degli anni abbiano coinvolto quasi esclusivamente gli esterni.²

La Torre, che in origine presentava scale e ballatoi in legno che avrebbero sicuramente richiesto indagini specifiche sul materiale di facile deperimento, in seguito agli interventi subiti negli anni '70 è stata dotata di scale e ballatoi in metallo sostitutivi, che, considerata la struttura e lo stato di conservazione, non dovrebbero presentare situazioni di rischio e dunque richiedere analisi diagnostiche specifiche ulteriori. Anche a seguito del sisma del 2012 essa ha infatti ottenuto l'agibilità dai tecnici preposti ai controlli necessari. Si

galleries, which, considering the structure and the state of conservation, should not present any risk situations and therefore require further specific diagnostic analyses. Even following the 2012 earthquake, it has in fact obtained accessibility from the technicians in charge of the necessary checks. However, one could easily hypothesize a replacement of the existing deck with a structure of stairs and landings that would be easier, ensuring its usability to a wider audience than that to which the Tower is accessible today.

In the case of the Gambulini Tower, the last project of diagnostic investigation and consequent conservative restoration dates back to the 1990s, in which, following in-depth **diagnostic investigations that involved both the walls of the Tower and the ground below**, steps were taken to resolve the problems encountered and to ensure the stability that still apparently characterizes it today.³

2. AA.VV, *Manuale delle murature storiche. Volume I: Analisi e valutazione del comportamento strutturale*, 2011
3. "Stato di conservazione e condizioni statiche delle Torri Demaniali denominate degli Zuccaro, di S'Alò e dei Gambulini in Mantova", in *Documenti sparsi inerenti le torri demaniali di Mantova*, Archivio di Stato Mantova)

potrebbe comunque facilmente ipotizzare una sostituzione dell'impalcato esistente con una struttura di scale e pianerottoli che risultasse più agevole, assicurandone la fruibilità ad un pubblico più esteso di quello cui la Torre è ad oggi accessibile.

Nel caso della Torre dei Gambulini, l'ultimo progetto di indagine diagnostica e conseguente restauro conservativo risale come si è detto agli **anni '90**, in cui a seguito di approfondite **indagini diagnostiche che hanno coinvolto sia le murature della Torre che il terreno sottostante**, si è provveduto a risolvere le problematiche riscontrate e ad assicurarne la stabilità che ancora oggi apparentemente la caratterizza.³

3.2 _ LE INDAGINI DEGLI ANNI '90

Le indagini sullo stato di conservazione generale delle tre torri cittadine effettuate in occasione del progetto di consolidamento, conservazione e riuso promosse dal *Nucleo Operativo di Mantova del Magistrato alle Acque* negli anni '90, nell'ambito dei compiti istituzionali che contemplano la manutenzione ordinaria e straordinaria degli immobili demaniali e gli interventi sulle strutture per la conservazione dei monumenti storico-artistici, hanno permesso di ottenere un quadro piuttosto completo dello stato delle murature e del terreno sottostante la torre, fondamentale ancora oggi per comprenderne lo stato attuale.

Prima di elaborare un progetto di intervento per il consolidamento e conseguente riuso delle torri, si sono effettuate indagini tecniche che ne accertassero l'effettivo stato delle condizioni di sicurezza statica, problematica senza dubbio più che mai urgente per poter preservare l'incolumità delle persone. Come si può leggere nel resoconto redatto dall'ingegner Gaetano Quarta e destinato all'Intendenza di Finanza di Mantova e per corrispondenza al Magistrato delle Acque Provveditorato Regionale OO.PP. nucleo operativo di Mantova che in una raccomandata urgente datata 23 Marzo 1989 lo avevano incaricato di effettuare il sopralluogo delle tre torri demaniali ed altri immobili storico-artistici appartenenti al demanio (quali l'ex Convento e la Chiesa

3.2 _ THE '90's INVESTIGATIONS

The surveys on the general state of conservation of the three city towers carried out on the occasion of the consolidation, conservation and reuse project promoted by the *Nucleo Operativo di Mantova del Magistrato alle Acque* in the 90s, as part of the institutional tasks that include ordinary and extraordinary maintenance of state-owned buildings and interventions on the structures for the conservation of historical-artistic monuments, have allowed us to obtain a rather complete picture of the state of the masonry and of the ground below the tower, which is still essential today to understand its current state.

Before drawing up an intervention project for the consolidation and subsequent reuse of the towers, technical investigations were carried out to ascertain the actual state of the static safety conditions, a problem that is undoubtedly more urgent than ever in order to preserve the safety of people. As can be read in the report drawn up by engineer Gaetano Quarta and intended for the Intendenza di Finanza di Mantova and by correspondence to the Magistrato delle Acque Provveditorato Regionale OO.PP. operating nucleus of Mantua which in an urgent registered letter dated 23 March 1989 had charged him with carrying out the inspection of the three state-owned towers and other historical-artistic properties belonging to the state property (such as the former Convent and

della SS. Trinità) e restituirne il quadro dello stato di conservazione e delle condizioni statiche, le indagini ritenute necessarie erano nello specifico: indagini sul sottosuolo di fondazione, ispezioni del tessuto murario ai vari piani, analisi diretta dei campioni prelevati con carotaggio trasversale o con endoscopia, applicazione di martinetti piatti alla base della torre per il rilievo dello stato tensionale, monitoraggio continuo tramite estensimetro delle eventuali fessurazioni.⁴

Le indagini realizzate hanno avuto l'obiettivo di individuare e definire i rapporti comportamentali di natura statica e chimico-fisica che ogni singola parte della torre instaura con l'insieme. Per ottenere un quadro esaustivo di tali relazioni sono state utilizzate le seguenti tecniche analitiche:

_Martinetti Piatti, che si sono eseguiti a diverse altezze e profondità sulle sezioni di spiccato, di sedime e fino al punto d'incontro con i manufatti adiacenti (come si è detto, punti di maggiore fragilità dal punto di vista statico della struttura). Nel complesso si è rilevato uno stato comportale delle murature sufficientemente omogeneo su ogni lato, sulle quali non influiscono significativamente con carichi orizzontali gli edifici adiacenti.

_Sonda a rotazione, per la verifica della reale conformazione esterna dello zoccolo

the Church of the Holy Trinity) and return the framework of the state of conservation and static conditions, the investigations deemed necessary were specifically: investigations on the foundation subsoil, inspections of the wall fabric on the various floors, direct analysis of the samples taken with transverse coring or endoscopy, application of flat jacks at the base of the tower for the relief of the stress state, continuous monitoring by strain gauge of any cracks.⁴

The investigations carried out had the aim of identifying and defining the static and chemical-physical behavioral relationships that each individual part of the tower establishes with the whole. To obtain a comprehensive picture of these relationships, the following analytical techniques were used:

_Flat Jack tests, which were performed at different heights and depths on the distinct sections, of the grounds and up to the meeting point with the adjacent artifacts (as mentioned, points of greatest fragility from the static point of view of the structure). Overall, a sufficiently homogeneous behavior of the masonry was found on each side, on which the adjacent buildings do not significantly affect with horizontal loads.

_Rotating probe, for the verification of the

4. "Stato di conservazione e condizioni statiche delle Torri Demaniali denominate degli Zuccaro, di S'Alò e dei Gambulini in Mantova", in *Documenti sparsi inerenti le torri demaniali di Mantova*, Archivio di Stato Mantova)

fondazionale alla torre, che ha accertato come essa prosegua indisturbata fino ad una profondità di circa 3.5m sotto il piano di calpestio, per poi lasciare spazio unicamente alle stratificazioni del terreno.

_Indagini geognostiche, che si sono spinte fino ad una profondità di 30m sotto il piano di calpestio, mostrando un terreno fondazionale di buone caratteristiche strutturali, con due sole sezioni di natura argillosa e dunque più deboli, posizionate una tra 2m e 2.3m, ed un'altra tra 9.9m e 10.2m. La prima risulta meno preoccupante poiché la fondazione si spinge fino alla profondità di 6m, la seconda è stata verificata tramite prove edometriche che ne hanno assicurato il buono stato di sovraconsolidazione.

_Sezioni lucide, lette combinatamente al microscopio hanno dimostrato come i campioni di mattoni prelevati presentassero una forte disomogeneità di impasti e di cottura testimoniate da diverse colorazioni e dalla presenza di eterogeneità all'interno dell'impasto.

_Indagini porosimetriche sui mattoni hanno dimostrato una diffusa macro e microporosità accentuata negli strati esterni ma che rimane comunque a livelli piuttosto alti anche in quelli interni.

_Classificazione dei litotipi. Sono stati individuati due litotipi differenti per colorazione superficiale e conformazione petrografica. In un campione prelevato

real external conformation of the foundational base of the tower, which has ascertained how it continues undisturbed up to a depth of about 3.5m under the floor, and then leaves room only for the stratifications of the ground.

_Geological investigations, which went up to a depth of 30m below the walking surface, showing a foundation soil with good structural characteristics, with only two sections of clayey nature and therefore weaker, one positioned between 2m and 2.3m, and a 'other between 9.9m and 10.2m. The first is less worrying since the foundation goes up to a depth of 6m, the second was verified through oedometric tests which ensured the good state of over-consolidation.

_Microscope sections, read together under the microscope have shown how the samples of bricks taken showed a strong non-homogeneity of dough and baking, evidenced by different colors and by the presence of heterogeneity within the mixture.

_Porosimetric investigations on the bricks have shown a widespread macro and micro porosity accentuated in the external layers but which however remains at quite high levels even in the internal ones.

_Classification of lithotypes. Two different lithotypes have been identified in terms of surface coloring and petrographic conformation. In a sample taken from a portion of the ancient support to the walkway that ran at the top of the Tower, the limestone

da una porzione dell'antico supporto al camminamento che correva in cima alla Torre si è rinvenuto il *calcare di San Vigilio*, proveniente con grande probabilità dal Monte Baldo, mentre nel basamento è stato riconosciuto come *rosso ammonitico*, con probabilità *rosso di Verona*.

_Classificazione malte di allettamento. Si è rinvenuta una sostanziale omogeneità nel tipo di impasti utilizzati, che si avvalgono essenzialmente di calce ed inerti a varie granulometrie e colorazioni tipiche delle sabbie provenienti dal lago.⁵

INDAGINI SULLA MURATURA

I materiali

Fondamentale all'analisi della muratura e del suo stato conservativo è una definizione preliminare dei materiali che la costituiscono. In questo caso le macrocategorie di materiali rinvenute sono tre: **laterizio, malta e pietra**.

Grazie alla lettura combinata di sezioni lucide al microscopio è stato possibile riconoscere all'interno dei campioni di mattoni prelevati una forte disomogeneità di impasti e di cotture, definite da svariate colorazioni e dalla presenza di eterogeneità. Su di essi è stata riscontrata una diffusa macro e microporosità, particolarmente evidente

of San Vigilio was found, probably coming from Monte Baldo, while in the base it was recognized as ammonite red, with probability red Verona.

_Classification of bedding mortars. A substantial homogeneity was found in the type of mixtures used, which essentially make use of lime and aggregates of various grain sizes and colors typical of the sands coming from the lake.⁵

INVESTIGATIONS ON THE MASONRY

The materials

Fundamental to the analysis of the masonry and its state of conservation is a preliminary definition of the materials that constitute it. In this case, the macro-categories of materials found are three: **brick, mortar and stone**.

Thanks to the combined reading of sections under the microscope, it was possible to recognize a strong non-homogeneity of doughs and firings within the brick samples, defined by various colours and by the presence of heterogeneity. A widespread macro and microporosity was found on them, particularly evident in the external layers but

5. Fabio Pigozzi, *Relazione tecnica illustrativa delle metodologie adottate per l'intervento di restauro conservativo*, 1990



limestone
of San
Vigilio
support
cells



mixed
brick and
lime mortar
from lake
sands
full masonry



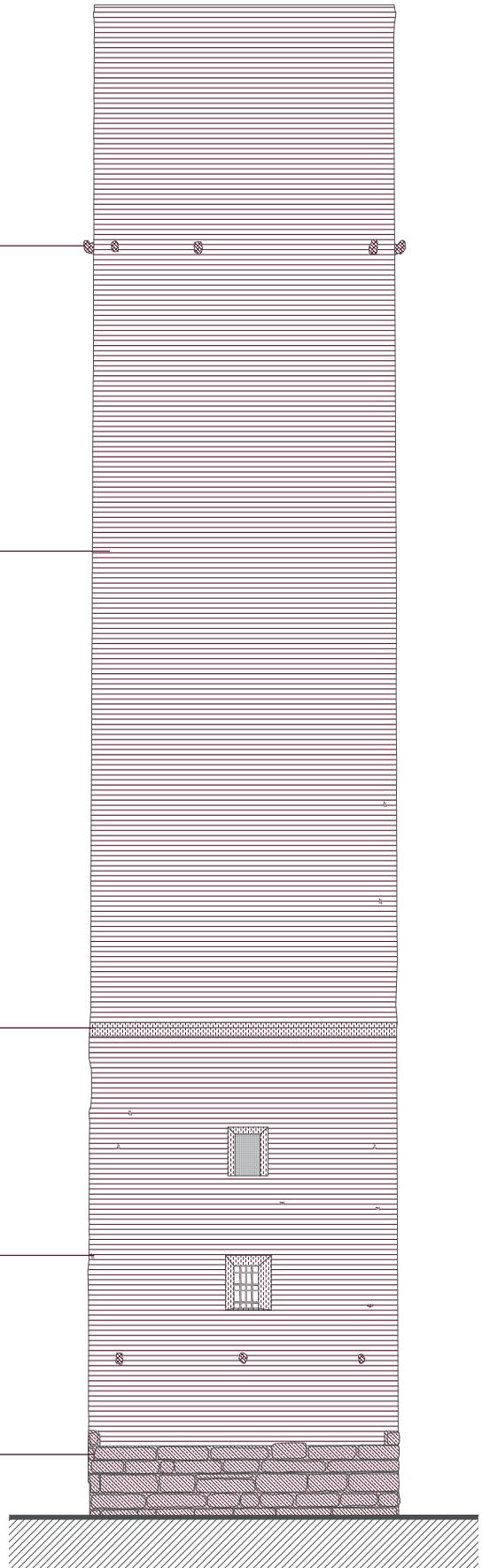
concrete
cornice



iron
carpentry
elements



rosso
ammonitico
or rosso
Verona
base



negli strati esterni ma comunque presente in maniera significativa anche in quelli interni.

Al contrario, per quanto si attiene alle malte di allettamento, si è riconosciuta una sostanziale omogeneità nel tipo di impasti utilizzati, costituiti essenzialmente da calce ed inerti a varie granulometrie e colorazioni tipiche delle sabbie provenienti dal lago. Gli impasti utilizzati presentano elevato rapporto inerte legante ed in alcuni punti si rilevano tracce di cocchiopesto miscelate all'impasto. Da sottolineare il fatto che sia stato rinvenuto un unico campione di un'antica stilatura dei giunti, eseguita utilizzando una miscela di calce ed inerte a finissima granulometria ben costipato nella malta di allettamento e rifinita da una lisciatura superficiale che ha permesso di ottenere un profilo di andamento perfettamente rettilineo. L'effetto finale era quello di una cortina muraria a vista con stilature e giunti puliti e ben visibili, che oltre ad avere un gradevole effetto estetico aveva un'importante funzione protettiva, rallentandone il deterioramento superficiale da dilavamento meteorico.

A livello litografico, sono stati riconosciuti due differenti litotipi, tra loro differenti per colorazione superficiale. Negli elementi di supporto dell'antico camminamento che correva alla sommità della Torre si è riconosciuto un *calcare di San Vigilio*, con probabile provenienza dal Monte Baldo. Nel basamento invece è stato rinvenuto il *rosso ammonitico*, conosciuto anche come

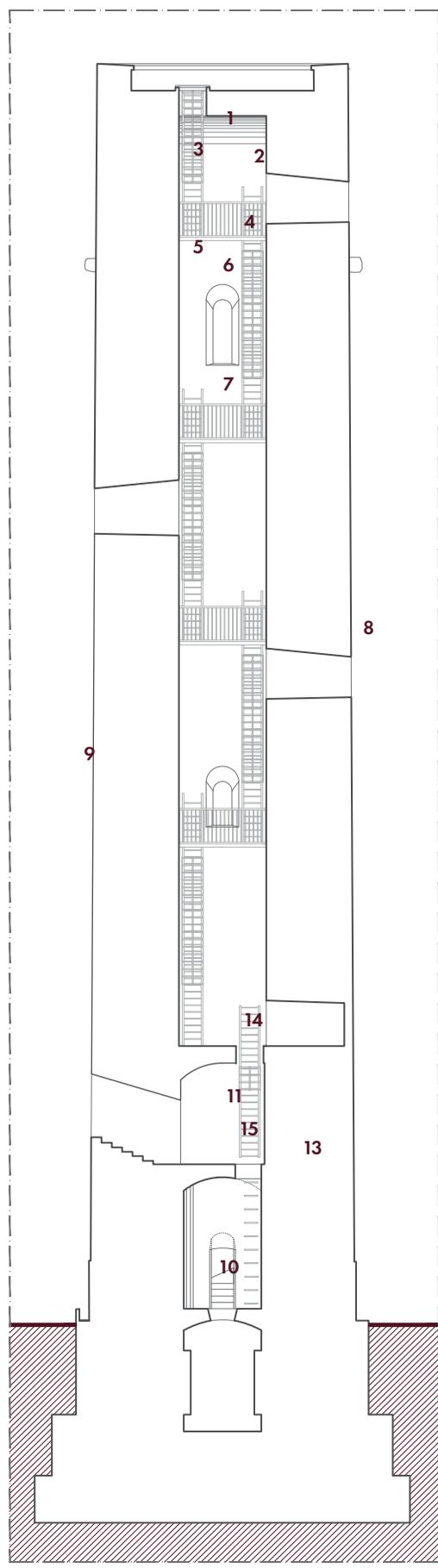
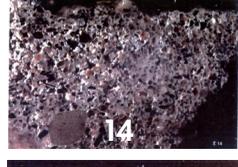
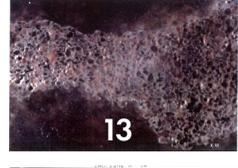
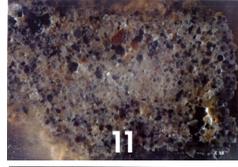
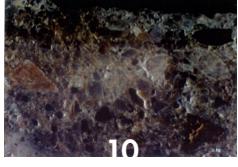
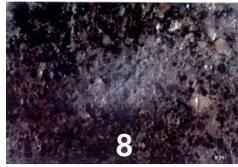
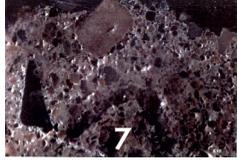
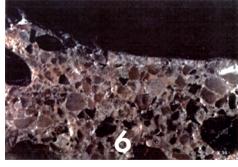
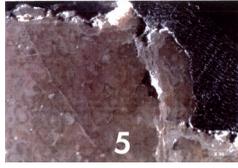
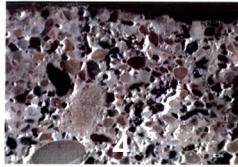
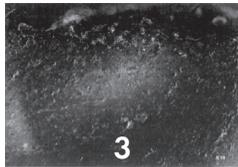
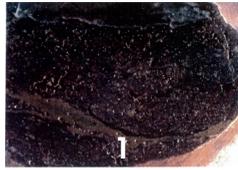
still significantly present also in the internal ones.

On the contrary, as far as bedding mortars are concerned, a substantial homogeneity in the type of mixtures used was recognized, essentially consisting of lime and aggregates with various grain sizes and colors typical of the sands coming from the lake. The mixtures used have a high inert binder ratio and in some places there are traces of cocchiopesto mixed with the dough. It should be emphasized that a single sample of an ancient stylisation of the joints was found, carried out using a mixture of lime and inert with very fine granulometry well compacted in the bedding mortar and finished by a surface smoothing that allowed to obtain a profile of perfectly straight course. The final effect was that of an exposed curtain wall with clean and clearly visible streaks and joints, which in addition to having a pleasant aesthetic effect had an important protective function, slowing down the surface deterioration from meteoric washout.

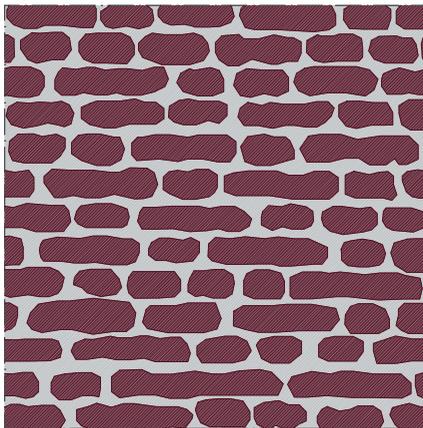
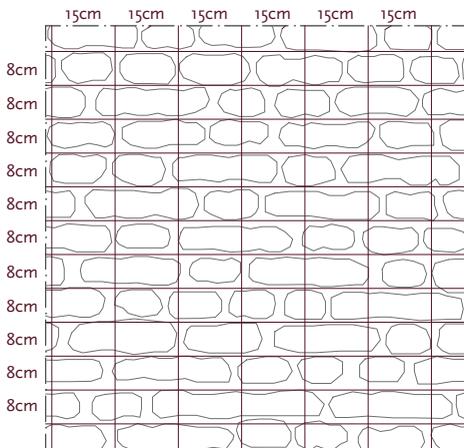
At the lithographic level, two different lithotypes have been recognized, each one different in terms of surface coloring. In the supporting elements of the ancient walkway that ran at the top of the Tower, a *limestone of San Vigilio* was recognized, probably coming from Monte Baldo. In the base, however, the *Rosso Ammonitico*, also known as *Rosso Verona*, was found. *The section under the microscope shows a pinkish-white colored limestone with an inhomogeneous*

MICROSCOPE SECTION

realized on the bricks



100cm



BRICKS

- MATRIX:** Uneven, characterized by a strong heterogeneity and widespread macro and micro porosity.
- COLOUR:** Varied, due to the inhomogeneity of dough and cooking. Tendentially reddish and blackish.
- DIMENSION:** Various, mainly about 5.5x12 x24 cm. Some bricks have a longer length, reaching 27/28 cm
- TEXTURE:** Arrangement to regular and staggered horizontal courses of bricks predominantly of band, alternating with header ones.

LIME MORTAR

- MATRIX:** Homogeneous, consisting of lime and aggregate of various grain sizes and colors typical of the sands coming from the lake. The mixtures used have a high inert binding ratio and in some places there are traces of cocciopesto mixed with the dough.
- COLOUR:** Generally light gray
- DIMENSION:** Height horizontal joints 2.5cm, width vertical joints
- TEXTURE:** Distance vertical joints 8cm, distance horizontal joints uneven

Rosso Verona. La sezione al microscopio mostra un calcare di colorazione bianco rosata a struttura disomogenea nel quale la matrice risulta costituita da calcite in forma microcristallina con tracce di spatica. La tessitura è di tipo organogeno con struttura disomogenea e distribuzione fossilifera. Il cemento calcitico presenta un aspetto compatto con inglobati al suo interno fossili di echinodermi crinoidi e residui foraminiferi. La roccia in esame può essere catalogata come una dismicrite fossilifera che ricorda i calcari del mesozoico.

Le prove effettuate

A seguito della catalogazione dei materiali costituenti, si sono realizzate indagini specifiche che ottenessero informazioni sullo stato effettivo della muratura.

_Prove di carico con martinetti piatti si sono svolte con una modalità non comune, inserendo in apposite tasche realizzate con taglio meccanico all'interno dei giunti di malta della muratura delle celle idrauliche realizzate in lamiera deformabile, allo scopo di adattarsi alle irregolarità del taglio meccanico nel momento in cui viene pompato olio in pressione dalla pompa collegata alle celle. Tramite un manometro collegato alla pompa è possibile misurarne la pressione idraulica e tramite comparatori millesimali leggere le deformazioni prodotte sulle murature. L'obiettivo della prova era

structure in which the matrix is made up of calcite in a microcrystalline form with traces of spathicum. The texture is organogenic with an uneven structure and fossiliferous distribution. The calcitic cement has a compact appearance with fossils of crinoid echinoderms and foraminiferous residues incorporated within it. The rock in question can be classified as a fossiliferous dismicrite reminiscent of Mesozoic limestones.

The tests carried out

Following the cataloging of the constituent materials, specific investigations were carried out to obtain information on the current state of the masonry.

_Load tests with flat jacks were carried out in an uncommon way, inserting hydraulic cells made of deformable sheet metal in special pockets made with mechanical cutting inside the mortar joints of the masonry, in order to adapt to the irregularities of the mechanical cut in the moment in which pressurized oil is pumped by the pump connected to the cells. By means of a pressure gauge connected to the pump it is possible to measure the hydraulic pressure and by means of millesimal comparators to read the deformations produced on the walls. The objective of the test was to identify the

individuare la pressione massima oltre la quale si formano lesioni nelle porzioni di muratura adiacenti al taglio, più precisamente circa 1 m al di sopra e 1 m al di sotto di esso. Per fare questo vengono lette le deformazioni corrispondenti ad un determinato carico eseguendo cicli di carico e scarico fino al raggiungimento del punto di rottura.

In questo caso, i carichi a rottura (N) hanno variato da 24×10^4 N a 34.8×10^4 N con martinetti che non prendevano più carico idraulico. Considerando che la cella di carico ha una superficie di 20x40cm, sono facilmente calcolabili i **carichi unitari a rottura teorici massimi e minimi**, tramite la formula: *carico assoluto / superficie della cella = carico unitario*.

$$\text{Minimo} : 24 \times 10^4 \text{ N} / (200 \times 400) \text{ mm}^2 = 3 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Massimo} : 34.8 \times 10^4 \text{ N} / (200 \times 400) = 4.35 \text{ N/mm}^2$$

Tutti i carichi a rottura vanno corretti con un coefficiente di bordo della muratura oltre i 2m, che influisce positivamente sulle prove di carico aumentando il valore teorico ottenuto. Il valore effettivo si ottiene considerando un coefficiente di bordo che può variare tra 0.75 e 0.9, che va a migliorare il coefficiente teorico. In questo caso si è tenuto un valore medio di 0.8, ottenendo i seguenti **valori effettivi di carichi unitari a rottura massimi e minimi**.

$$\text{Minimo} : 3 \text{ N/mm}^2 \times 0.8 = 2.4 \text{ N/mm}^2$$

maximum pressure beyond which cracks are formed in the portions of masonry adjacent to the cut, more precisely about 1 m above and 1 m below it. To do this, the deformations corresponding to a given load are read by carrying out loading and unloading cycles until the breaking point is reached.

In this case, the breaking loads (N) ranged from 24×10^4 N to 34.8×10^4 N with jacks no longer taking hydraulic load. Considering that the load cell has a surface area of 20x40cm, the **theoretical maximum and minimum unit loads at break** can be easily calculated using the formula: absolute load / cell surface = unit load.

$$\text{Minimum: } 24 \times 10^4 \text{ N} / (200 \times 400) \text{ mm}^2 = 3 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$$\text{Maximum: } 34.8 \times 10^4 \text{ N} / (200 \times 400) = 4.35 \text{ N} / \text{mm}^2$$

All breaking loads must be corrected with a masonry edge coefficient over 2m, which positively affects the load tests by increasing the theoretical value obtained. The actual value is obtained by considering an edge coefficient that can vary between 0.75 and 0.9, which improves the theoretical coefficient. In this case an average value of **0.8 was kept, obtaining the following effective values of maximum and minimum unitary loads at break**.

$$\text{Minimum: } 3 \text{ N/mm}^2 \times 0.8 = 2.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum: } 4.35 \text{ N/mm}^2 \times 0.8 = 3.48 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Massimo} : 4.35 \text{ N/mm}^2 \times 0.8 = 3.48 \text{ N/mm}^2$$

Per calcolare i carichi ammissibili della muratura occorre considerare un coefficiente di sicurezza variabile, caso per caso, tra 6 e 10. Considerando un coefficiente minimo di sicurezza pari a 6, si ottengono i seguenti **valori di carico ammissibile minimo e massimo**.

$$\text{Minimo} : 2.4 \text{ N/mm}^2 / 6 = 0.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Massimo} : 3.48 \text{ N/mm}^2 / 6 = 0.58 \text{ N/mm}^2$$

I valori ottenuti sono confrontabili con i carichi deducibili analiticamente della torre, che saranno massimi alla base, sulla quale insiste tutto il peso, e varieranno in base all'altezza alla quale vengono calcolati. Considerando un peso specifico pari a 1600 Kg/m³ e l'altezza della torre di 37m, si ottiene un carico massimo alla base pari a:

$$P_{\text{max}} = p.s. \times h = 1600 \text{ Kg/m}^3 \times 37\text{m} = 59200 \text{ Kg/m}^2 = 0.059 \text{ kg/mm}^2$$

Che nel caso delle prove realizzate alla quota più alta (16.5m) si riduce a :

$$P_{\text{min}} = p.s. \times h = 1600 \text{ Kg/m}^3 \times 20.5\text{m} = 32800 \text{ Kg/m}^2 = 0.033 \text{ kg/mm}^2$$

Al termine delle analisi, i dati raccolti in una tabella hanno permesso di ottenere informazioni dettagliate sulla capacità portante della muratura e sulla sua

To calculate the admissible loads of the masonry it is necessary to consider a variable safety factor, case by case, between 6 and 10. Considering a minimum safety factor equal to 6, the following **minimum and maximum admissible load values** are obtained.

$$\text{Minimum: } 2.4 \text{ N/mm}^2 / 6 = 0.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum: } 3.48 \text{ N/mm}^2 / 6 = 0.58 \text{ N/mm}^2$$

The values obtained are comparable with the analytically deductible loads of the tower, which will be maximum at the base, on which all the weight rests, and will vary according to the height at which they are calculated. Considering a specific weight of 1600 kg / m³ and the height of the tower of 37m, a maximum load at the base is obtained equal to:

$$P_{\text{max}} = p.s. \times h = 1600 \text{ Kg} / \text{m}^3 \times 37\text{m} = 59200 \text{ Kg} / \text{m}^2 = 0.059 \text{ kg} / \text{mm}^2$$

Which in the case of the tests carried out at the highest altitude (16.5m) is reduced to:

$$P_{\text{min}} = p.s. \times h = 1600 \text{ Kg} / \text{m}^3 \times 20.5\text{m} = 32800 \text{ Kg} / \text{m}^2 = 0.033 \text{ kg} / \text{mm}^2$$

At the end of the analyses, the data collected in a table made it possible to obtain detailed information on the bearing capacity of the masonry and its originality. To define the **elastic modules** containing the edge effect of the masonry surrounding the test area on

originalità. Per definire i **moduli elastici** contenendo l'effetto di bordo della muratura che circonda la zona di prova sulla porzione caricata si sono considerati valori di carico di 10.6×10^4 N, corrispondenti a stati tensionali impressi dalla cella di 0.13 Kg/mm^2 ; sperimentalmente, infatti, oltre tali valori si sono riscontrati degli aumenti sensibili del 10-15% rispetto alle prove di carico svolte in laboratorio e forti deformazioni differenziate leggibili dai grafici ottenuti. I moduli elastici si sono ottenuti sulla base dei singoli carichi unitari impressi dalla cella e le corrispondenti deformazioni lette sui comparatori di riferimento. Il valore medio ottenuto è pari a

$$E = 1349.55 \text{ N/mm}^2.$$

NB: Le prove sono state condotte con una modalità molto lontana da quelle raccomandate, l'attendibilità dei valori riscontrati è dunque da ritenersi piuttosto bassa.

Misure di porosità si sono effettuate attraverso l'analisi di cinque campioni prelevati in punti differenti dell'edificio, volte a verificarne la *porosità, l'indice dei vuoti, il peso di volume saturo e la densità secca*, sia dei mattoni interi (di frammenti significativi di essi) sia di fette di circa 1.5cm prelevate sulla faccia di essi esposta all'atmosfera (ricavati utilizzando una sega circolare). Tutte le prove sono state effettuate dopo aver tenuto i campioni in immersione per circa una settimana, dopo averli seccati a 105° e pesati. In seguito al periodo di bagno ed

the loaded portion, load values of 10.6×10^4 N were considered, corresponding to stress states impressed by the cell of 0.13 Kg/mm^2 ; experimentally, in fact, beyond these values, significant increases of 10-15% were found compared to the load tests carried out in the laboratory and strong differentiated deformations readable from the graphs obtained. The elastic modules were obtained on the basis of the single unit loads impressed by the cell and the corresponding deformations read on the reference comparators. The average value obtained is equal to

$$E = 1349.55 \text{ N/mm}^2.$$

NB: The tests were conducted in a manner very far from those recommended, the reliability of the values found is therefore to be considered rather low.

Porosity measurements were carried out through the analysis of five samples taken in different points of the building, aimed at verifying the porosity, the void index, the saturated volume weight and the dry density, both of the whole bricks (of fragments significant of them) and of slices of about 1.5cm taken on the face of them exposed to the atmosphere (obtained using a circular saw). All the tests were carried out after having kept the samples immersed for about a week, after having dried them at 105° and weighed them. Following the bath and boiling period, they were weighed in the saturated state, so as to be able to proportion

ebollizione essi sono stati pesati allo stato saturo, in modo da poter proporzionare l'acqua assorbita alla loro porosità efficace. Le differenze riscontrate nei vari campioni sono state dovute alla diversa composizione e distribuzione che, come si è detto precedentemente, caratterizza il materiale laterizio in opera, che ne determina un'inevitabile risposta differente agli agenti atmosferici. Quelle che potevano essere piccole differenze in origine, con il passare dei secoli hanno raggiunto proporzioni maggiori, che ne hanno determinato il comportamento e degrado differenziato. Nonostante questo, dai dati raccolti si può notare come i valori relativi alla parte superficiale del mattone, maggiormente esposta agli agenti atmosferici, siano indicativi di uno stato di degrado più elevato, causato dalla maggiore porosità e dalla minore densità che caratterizzano il materiale.

La **porosità** rilevata sui mattoni sezionati superficialmente si aggira tra il 38% e il 43% circa. La porosità rilevata sui mattoni interi si aggira tra il 34% il 42% circa.

L'**indice dei vuoti** rilevato sui mattoni sezionati superficialmente si aggira tra 0.62 e lo 0.74 circa. La porosità rilevata sui mattoni interi si aggira tra lo 0.54 e lo 0.73 circa.

Il **peso di volume saturo** rilevato sui mattoni sezionati superficialmente si aggira tra 1.99 g/cm^3 e 2.07 g/cm^3 circa. Il peso di volume saturo sui mattoni interi si aggira tra 2.00 g/

the absorbed water to their effective porosity. The differences found in the various samples were due to the different composition and distribution which, as mentioned above, characterizes the brick material in place, which determines an inevitable different response to atmospheric agents. What could have been small differences originally, with the passing of the centuries have reached greater proportions, which have determined their behavior and differentiated degradation. Despite this, from the data collected it can be seen that the values relating to the surface part of the brick, which is more exposed to atmospheric agents, are indicative of a higher state of degradation, caused by the greater porosity and lower density that characterize the material.

The **porosity** detected on the superficially sectioned bricks is between 38% and 43% approximately. The porosity found on whole bricks is around 34% to 42%.

The **void index** detected on superficially sectioned bricks is approximately between 0.62 and 0.74. The porosity measured on whole bricks is around 0.54 to 0.73.

The **saturated volume weight** detected on the superficially sectioned bricks is between 1.99 g/cm^3 and 2.07 g/cm^3 approximately. The saturated volume weight on whole bricks is approximately between 2.00 g/cm^3 and 2.13 g/cm^3 .⁶

NB: Also in this case the definitions adopted

cm³ e 2.13 g/cm³ circa. ⁶

NB: Anche in questo caso le definizioni adottate non sono conformi a quelle più comuni nel settore

INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per ottenere un quadro dettagliato delle tipologie e delle conseguenti qualità portanti del terreno sul quale la torre insisteva sono stati eseguiti sondaggi geognostici e conseguenti analisi di laboratorio, firmate dal dottore geologo Antonio Mucchi.

L' esame della stratigrafia ha consentito di individuare con precisione tutte le tipologie, gli spessori e le profondità dei vari terreni fino alla profondità di 30m dal piano di calpestio, che hanno restituito quanto segue:

p.c.0m – 03.0m: Terreni di riporto

03.0m – 09.9m: Sabbia con qualche livello di ghiaia

09.9m – 10.3m: Limo argilloso con tracce di sabbia

10.3m – 22.5m: Sabbia fine, poi livelli di sabbia media

22.5m – 30.0m: Terreni prevalentemente limosi con intercalazioni sabbiose

do not comply with the most common ones in the sector

GEOLOGICAL INVESTIGATIONS

To obtain a detailed vision of the types and consequent bearing qualities of the ground on which the tower stood, geognostic surveys and consequent laboratory analyses were carried out, signed by the geologist Antonio Mucchi.

The examination of the stratigraphy made it possible to accurately identify all types, thicknesses and depths of the various soils up to a depth of 30m from the walking surface, which resulted in the following:

p.c.0m - 03.0m: Backwater

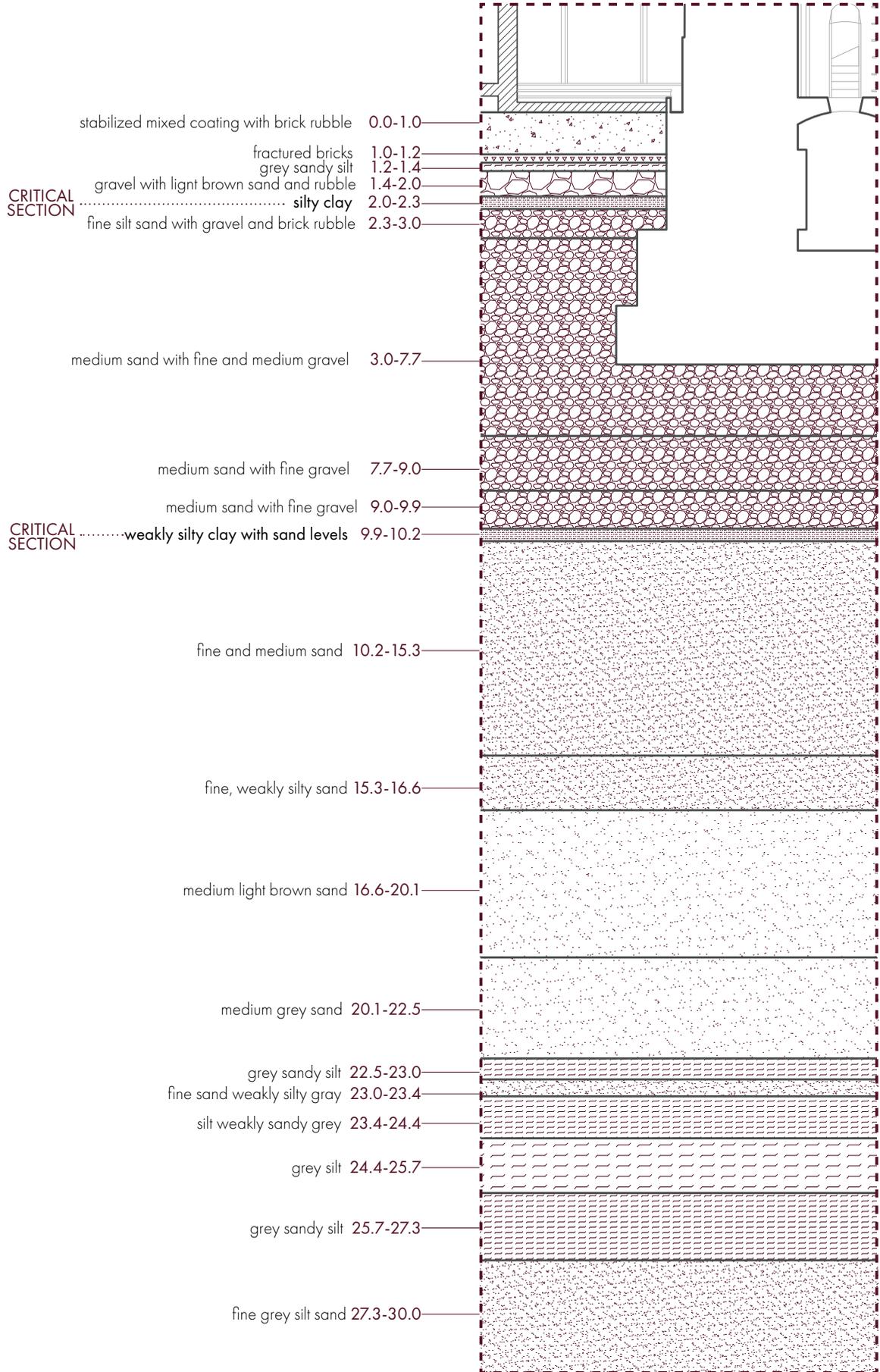
03.0m - 09.9m: Sand with some gravel levels

09.9m - 10.3m: Clayey silt with traces of sand

10.3m - 22.5m: Fine sand, then medium sand levels

22.5m - 30.0m: Predominantly loamy soils with sandy intercalations

⁶. Fabio Pigozzi, *Relazione tecnica illustrativa delle metodologie adottate per l'intervento di restauro conservativo*, 1990



Saggi stratigrafici nel terreno: Gli unici due livelli poco consistenti sono stati rilevati nel terreno di riporto fino alla profondità di 2m, seguito da un livello argilloso sottostante, e in quello rilevato alla profondità compresa tra 9.9m e 10.2m. Per quanto riguarda il secondo campione di materiale indisturbato è stato prelevato ed analizzato in laboratorio, le cui indagini ne hanno confermato le scarse caratteristiche meccaniche; tuttavia, la modesta entità in spessore di tale livello e il suo sviluppo pressochè uniforme non hanno mai creato evidentemente problemi alla staticità della struttura in elevazione, come dimostrano l'assenza di evidenti fuori piombo e l'omogenea distribuzione dei carichi. In generale si possono riconoscere dunque discrete capacità portanti ai terreni esaminati, compatibili con i carichi e le esigenze della struttura sovrastante.

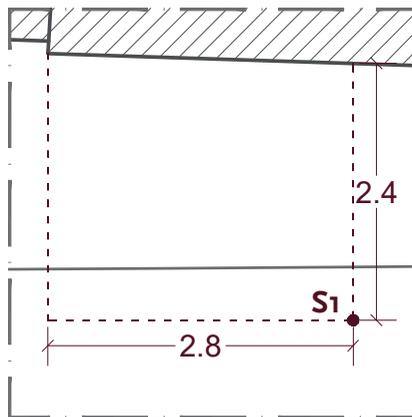
Analisi di laboratorio: Il campione indisturbato su cui effettuare le analisi di laboratorio è stato prelevato nell'unico livello con possibili problematiche statiche, un piccolo strato di circa 30-40cm di spessore costituito da argille limose e interstrati centimetrici di sabbia. Considerando il piccolo spessore e la disomogeneità del campione si è optato di eseguirvi una prova di taglio diretto non consolidata, non drenata, al posto della più classica prova triassiale non drenata, non consolidata. Il provino ottenuto è poi stato sottoposto ad alcune analisi che hanno permesso di ottenere informazioni fondamentali alla comprensione delle

Stratigraphic tests in the soil: The only two not very consistent levels were detected in the backfill to a depth of 2m, followed by a clayey level below, and in the one detected at a depth between 9.9m and 10.2m. As regards the second sample of undisturbed material, it was taken and analyzed in the laboratory, whose investigations confirmed its poor mechanical characteristics; however, the modest thickness of this level and its almost uniform development have evidently never created problems with the static nature of the elevated structure, as evidenced by the absence of obvious out of plumb and the homogeneous distribution of loads. In general, therefore, it is possible to recognize fair load-bearing capacities to the soils examined, compatible with the loads and needs of the overlying structure.

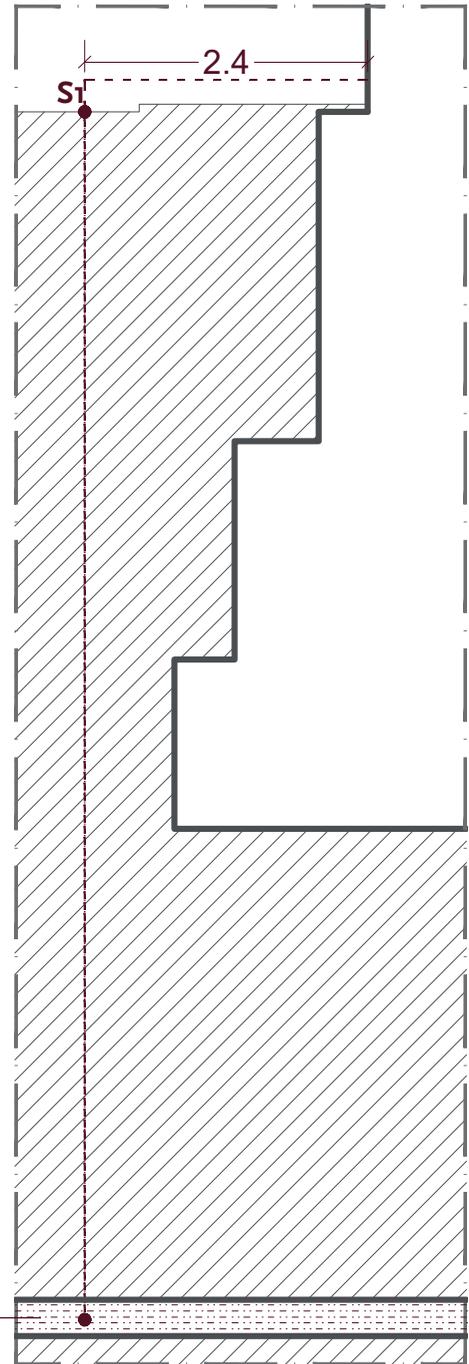
Laboratory analysis: The undisturbed sample on which to carry out the laboratory analyses was taken in the only level with possible static problems, a small layer of about 30-40cm thick consisting of silty clays and centimeter-sized interlayers of sand. Considering the small thickness and the inhomogeneity of the sample, it was decided to perform an unconsolidated, undrained direct shear test instead of the more classic undrained, unconsolidated triaxial test. The specimen obtained was then subjected to some analyses which made it possible to obtain fundamental information for understanding the actual mechanical properties of the soil and predicting any static risks.⁷

CRITICAL SECTION | 9.9-10.2m
weakly silty clay with sand levels

The investigations were carried out on an S1 specimen extracted in the depth range 9.9-10.2m, in the only layer significant from the point of view of the danger identified during the geognostic test: about 30-40cm of silty clays alternating with centimetric layers of sand.



*weakly silty clay
alternating with layers of sand
-9.9-10.2m*



effettive proprietà meccaniche del terreno e prevederne eventuali rischi di staticità.⁷

Delle indagini effettuate si riporta di seguito una breve spiegazione ed un riepilogo dei risultati ottenuti.

_Calcolo dei limiti di Atterberg o indici

di consistenza: Al fine di individuare il più esaurientemente possibile le caratteristiche fisico-meccaniche dei possibili terreni di appoggio di un qualsiasi tipo di carico, sono stati elaborati una serie di sistemi classificativi riconosciuti a livello internazionale, che permettono di ottenere un confronto omogeneo dei dati raccolti. Alcuni di queste metodologie si basano sulla composizione granulometrica (caratteristiche fisiche) dei materiali, che da sola diventa tuttavia insufficiente nel caso in cui il terreno da analizzare sia costituito da una elevata percentuale di materia fine (ad esempio una percentuale di limo e argilla superiore al 30%). In questi casi, dunque, per classificare il materiale fine ci si avvale delle caratteristiche di plasticità individuate attraverso i limiti di consistenza o di Atterberg (limite liquido, limite plastico, limite di ritiro), che si può dire costituiscano il "confine" tra i vari stati fisici (liquido, plastico, semisolido, solido) che il terreno può assumere.

E' importante sottolineare come i risultati

A brief explanation of the investigations carried out and a summary of the results obtained are provided below.

_Calculation of Atterberg limits or consistency indexes:

In order to identify as exhaustively as possible the physical-mechanical characteristics of the possible support soils of any type of load, a series of internationally recognized classification systems have been developed, which allow to obtain a homogeneous comparison of the collected data. Some of these methodologies are based on the granulometric composition (physical characteristics) of the materials, which by itself however becomes insufficient if the soil to be analyzed consists of a high percentage of fine matter (for example a percentage of silt and clay higher than 30%). In these cases, therefore, to classify the fine material we use the plasticity characteristics identified through the consistency or Atterberg limits (liquid limit, plastic limit, shrinkage limit), which can be said to constitute the "border" between various physical states (liquid, plastic, semi-solid, solid) that the ground can assume.

It is important to underline that the results obtained from the Atterberg limit tests

7. Fabio Pigozzi, *Relazione tecnica illustrativa delle metodologie adottate per l'intervento di restauro conservativo*, 1990

ottenuti dalle prove limiti di Atterberg rappresentino delle proprietà intrinseche del terreno, spesso definite come proprietà indice del terreno e trovino la loro applicazione nel confronto tra terreni a grana fine prelevati in siti diversi fino alla classificazione degli stessi. Tali proprietà, tuttavia, non forniscono informazioni sullo stato fisico in cui si trova il terreno al momento del prelievo del campione. A tale scopo si definisce l'indice di consistenza quale proprietà di stato in cui il contenuto d'acqua (w) allo stato naturale (ovvero valutato sul materiale indisturbato) è confrontato con i limiti w_L e w_P .⁸

I risultati ottenuti dalle indagini sul campione prelevato hanno dato i seguenti valori:

Limite liquido (LL) = 41.3%

Limite plastico (LP) = 22.09%

Umidità naturale (W_n) = 22.31%

Indice plastico (IP) = 19.20%

Indice di consistenza (I_c) = 0.99

I risultati delle analisi evidenziano una bassa qualità delle caratteristiche meccaniche del livello critico analizzato, che non sarebbero compatibili con i carichi trasmessi dalla torre. La modesta entità del livello tuttavia non ha evidentemente creato problemi nella struttura

represent intrinsic properties of the soil, often defined as index properties of the soil and find their application in the comparison between fine-grained soils taken from different sites up to their classification. However, these properties do not provide information on the physical state of the soil at the time the sample was taken. For this purpose, the consistency index is defined as a state property in which the water content (w) in the natural state (i.e. evaluated on the undisturbed material) is compared with the w_L and w_P limits.⁸

The results obtained from the investigations on the sample taken gave the following values:

Liquid limit (LL) = 41.3%

Plastic limit (LP) = 22.09%

Natural humidity (W_n) = 22.31%

Plastic index (IP) = 19.20%

Consistency index (I_c) = 0.99

The results of the analyses show a low quality of the mechanical characteristics of the critical level analyzed, which would not be compatible with the loads transmitted by the tower. The modest size of the level, however, evidently did not create problems in the elevated structure, which does not show evident out of plumb, proof of how the

8. Head K.H., *Manual of Soil Laboratory Testing: Vol.1: Soil Classification and Compaction Tests*. London: Pentech, 1980 / Lambe T. W., and R. V. Whitman, *Soil Mechanics*, 553 pp., Wiley, New York / Skempton, 1969 / A.W., *Residual strength of clays in land-slides, folded strata and the laboratory*. *Geotechnique* 35, 3-18, 1985

in elevazione, che non presenta evidenti fuori piombo, a riprova di come i carichi siano distribuiti omogeneamente nei quattro lati.

_Determinazione del coefficiente di consolidazione

La prova consiste nell'applicare una serie di incrementi di carico e registrare le deformazioni ad intervalli di tempo stabiliti.⁹

In questo caso specifico si è utilizzato un incremento di carico di 2-4 Kg/cm² e un intervallo di tempo variabile, più precisamente ognuno il doppio di quello precedente (15s, 30s, 60s, 120s, ecc...) per un totale di 11 rilevazioni. Considerando un **coefficiente di permeabilità** $k = 1.01 \times 10^{-7}$ si è ottenuto un **coefficiente di consolidazione** $CV = 4.85 \times 10^{-3}$.

In generale si può dire che il terreno presenti un discreto grado di consolidazione e un valore di permeabilità tipico per questa tipologia di terreni.

_Prove di consolidazione edometrica: La prova edometrica consiste nell'applicare una pressione verticale ad un provino cilindrico di terreno la cui espansione laterale viene impedita meccanicamente, in modo da permettere il drenaggio dell'acqua contenuta nel terreno analizzato nella

loads are evenly distributed on the four sides.

_Determination of the consolidation coefficient

The test consists in applying a series of load increases and recording the deformations at set time intervals.

In this specific case, a load increase of 2-4 Kg / cm² and a variable time interval was used, more precisely each one twice the previous one (15s, 30s, 60s, 120s, etc ...) for a total of 11 surveys. Considering a **permeability coefficient** $k = 1.01 \times 10^{-7}$, a **consolidation coefficient** $CV = 4.85 \times 10^{-3}$ was obtained.

In general, it can be said that the soil has a fair degree of consolidation and a permeability value typical for this type of soil.

_ Edometric consolidation tests: The oedometric test consists in applying a vertical pressure to a cylindrical specimen of soil whose lateral expansion is mechanically prevented, in order to allow the drainage of the water contained in the analyzed soil in the vertical direction only. Taking into account the starting moment of the application of the vertical pressure, the resulting vertical settlements are measured.

⁹. Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 2: Determinazione della massa volumica dei terreni a grana fine, Norma numero: UNI CEN ISO/TS 17892-2:2005

sola direzione verticale. Tenendo conto del momento d'inizio dell'applicazione della pressione verticale vengono misurati i cedimenti verticali che ne derivano. ¹⁰

Le misurazioni speditive di resistenza si sono eseguite con penetrometro (*pocket penetrometer 1.3 Kg/cmq*) e con scissometro (*vane test 0.2 Kg/cmq*) tascabili. sono avvenute mantenendo un incremento di carico D_p pari ogni volta al doppio del precedente per un numero di prove pari a 10. Occorre tenere in considerazione come tali strumenti non abbiano mai un certificato di taratura, per cui il loro utilizzo restituisca solamente misure indicative, da confrontare con i valori ottenuti da prove di compressione semplice.

In generale i risultati delle prove edometriche hanno evidenziato un discreto grado di sovraconsolidazione dovuto al carico impresso dalla struttura e discrete caratteristiche di capacità portante, compatibili con i carichi cui il terreno è sottoposto.

The expeditious resistance measurements were performed with a pocket penetrometer (*1.3 Kg / cmq*) and with a pocket scissometer (*0.2 Kg / cmq vane test*). took place maintaining an increase in load D_p equal each time to double the previous one for a number of tests equal to 10. It must be taken into consideration that these instruments never have a calibration certificate, so that their use only returns indicative measurements, to compare with the values obtained from simple compression tests.

In general, the results of the oedometric tests showed a fair degree of over-consolidation due to the load imparted by the structure and fair characteristics load bearing capacity, compatible with the loads to which the ground is subjected.

10. S. Cianci, M. Parente, "Il certificato di laboratorio geotecnico. La descrizione del campione.", su *Professione Geologo*, n° 31, Maggio 2012

3.3 _ UN NUOVO PROGETTO DI INDAGINE DIAGNOSTICA: IPOTESI DI APPROFONDIMENTO

Analisi della muratura

La prima operazione svolta ha previsto l'indagine diretta della muratura e l'analisi della sua composizione e tessitura. Grazie all'aiuto di una scheda tecnica di rilievo è stato possibile descrivere quanto più esaurientemente possibile gli elementi caratterizzanti la muratura in esame in modo da definirne la qualità:

LOCALIZZAZIONE DEL DETTAGLIO NELL'EDIFICIO:

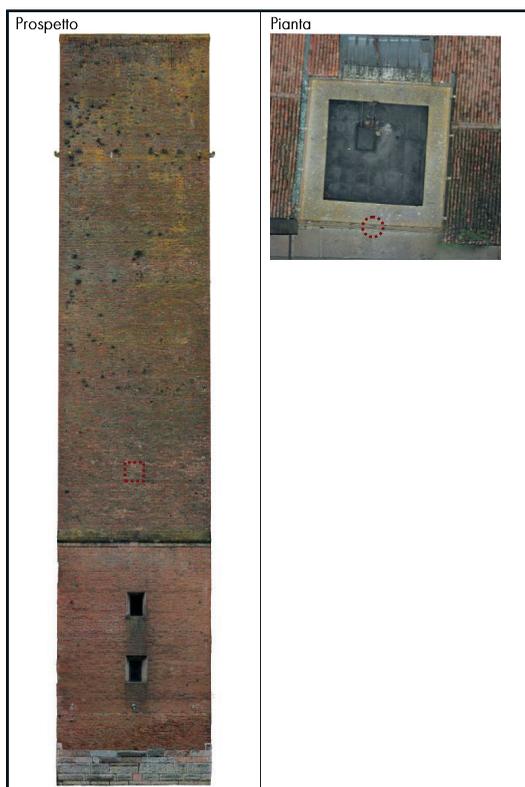
Prospetto Nord

L'analisi è stata svolta sia all'interno che all'esterno alla stessa altezza nella muratura.

3.3 _ A NEW DIAGNOSTIC SURVEY PROJECT: HYPOTHESIS OF IN-DEPTH

Masonry analysis

The first operation carried out involved the direct investigation of the masonry and the analysis of its composition and texture. Thanks to the help of a survey sheet, it was possible to describe in the most exhaustive way possible the elements characterizing the masonry in question in order to define its quality.



DEFINIZIONE E DESCRIZIONE DELLA MURATURA

L'edificio oggetto di studio è una torre medievale, realizzata nel XII secolo, classico esempio di architettura militare di pianura. La torre, a pianta quadrata piuttosto regolare, presenta una muratura piena di 2.5m di spessore e un'altezza di 37.3m

La muratura è costituita da mattoni pieni di laterizio, cromaticamente disomogenei sia dal punto di vista degli impasti che delle cotture, e malta di calce, in cui al contrario si riscontra una discreta omogeneità d'impasto, costituito da calce e inerti a varie granulometrie e colorazioni tipiche delle sabbie provenienti dal lago. A livello litografico la torre presenta un basamento in calcare Rosso Verona ed elementi aggettanti di supporto di un ex camminamento posto sulla sommità in calcare di San Virgilio.

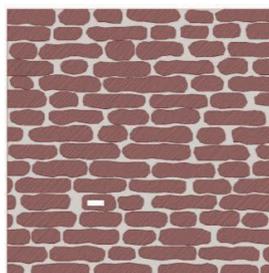
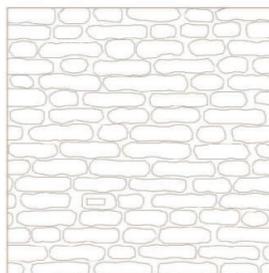
TESSITURA

La tessitura muraria è costituita da mattoni disposti di fascia alternati a mattoni disposti di testa, disposti su corsi orizzontali regolari e sfalsati. La disposizione dei singoli elementi risulta irregolare.

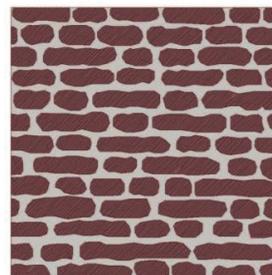
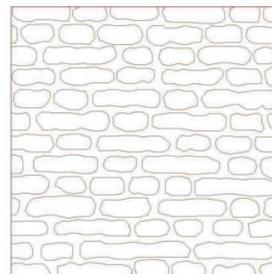
Ruolo strutturale:

- muratura d'ambito
- muratura di spina
- pilastro
- tamponamento
- muratura interna
- _____

INTERNO



ESTERNO



Tipologia:

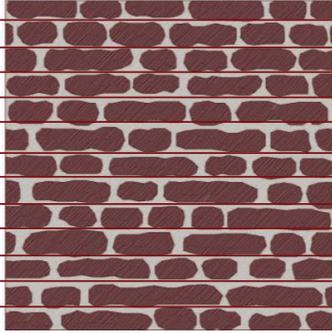
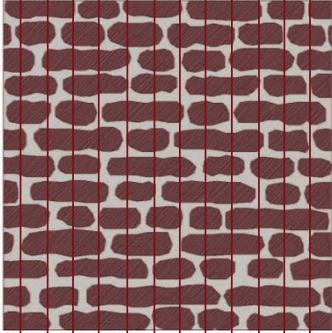
- in pietra
- in mattoni
- in blocchi di cls
- in blocchi di tufo
- mista: _____

Ricorsi:

- assenti
- in mattoni
- di elementi più grandi
- calcestruzzo
- _____

Orizzontamenti:

- assenti
- presenti ogni: _____

<p>Regolarità e Orizzontalità dei corsi e dei giunti</p>  <p>Regolarità dei corsi orizzontali</p>	<p>Allineamento dei giunti verticali</p>  <p>Irregolarità dei giunti verticali</p>	<p>Commenti</p> <p>La muratura presenta una buona regolarità per quanto riguarda l'allineamento dei giunti orizzontali, di spessore 2.5cm, che risultano omogeneamente distanziati tra loro di circa 8cm.</p> <p>I giunti verticali sono sfalsati tra loro in modo da dare maggiore rigidità alla struttura, con una disposizione totalmente irregolare.</p>
<p>Degrado</p>	<p>Presenza di lesioni / degrado</p>	<p>Commenti</p> <p>Le tipologie di degrado riscontrate in questa porzione rilevata sono la mancanza di parti di giunti di malta e la formazione di licheni superficiali.</p>

OSSERVAZIONI: La muratura si presenta in uno stato di conservazione discreto. Il degrado riscontrato in questa porzione rilevata si limita prevalentemente a mancanza di parti di giunti di malta e alla formazione di licheni sullo strato superficiale di alcuni laterizi, probabilmente dovuta all'orientamento a Nord della parete, che non riceve dunque mai luce diretta durante il giorno.

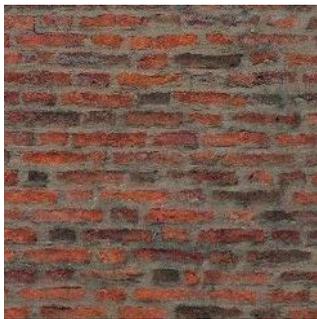
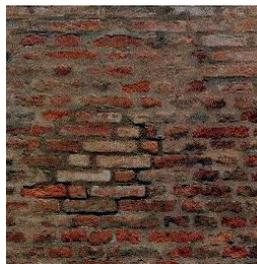
LATERIZI

<p><input checked="" type="checkbox"/> mattoni cotti <input type="checkbox"/> mattoni crudi <input type="checkbox"/> _____</p> <p>Lavorazioni superficiale <input checked="" type="checkbox"/> assente <input type="checkbox"/> presente _____</p> <p>Presenza di impurità Non si riscontra presenza visibile di impurità nei mattoni.</p> 	<p>CARATTERISTICHE E DIMENSIONI</p> <p><input type="checkbox"/> dimensioni regolari <input checked="" type="checkbox"/> dimensioni irregolari <input type="checkbox"/> elementi rotti di riuso <input type="checkbox"/> altro:</p> <p>DISTRIBUZIONE DELLE DIMENSIONI I mattoni in laterizio utilizzati sono di forma piuttosto regolare ad eccezione del lato lungo, che varia tra i 24 e i 28 cm Dimensioni medie mattoni di fascia 24 cm Dimensioni medie mattoni di testa 12 cm Non si riscontra la presenza di elementi rotti di riuso o di scarto.</p> <p>Posa in opera Disposizione a corsi orizzontali equidistanti regolari sfalsati irregolarmente in senso verticale.</p> <p>Apparecchiatura <input type="checkbox"/> prevalentemente di fascia <input type="checkbox"/> prevalentemente di testa <input checked="" type="checkbox"/> regolare <input type="checkbox"/> altro</p>	<p>COLORE E SUA DISTRIBUZIONE Colorazione mista, prevalentemente rossastra e nerastra, che risulta distribuita in maniera disomogenea sulla muratura a causa del differente impasto e grado di cottura in produzione dei singoli mattoni.</p> <p>Impasto Piuttosto disomogeneo e differente di mattone in mattone</p> <p>Stato di conservazione:</p> <p><input type="checkbox"/> buono <input checked="" type="checkbox"/> mediocre <input type="checkbox"/> cattivo <input type="checkbox"/> pessimo</p> <p>La muratura, sebbene molto antica perché risalente al XII secolo, è stata sottoposta ad ingenti opere di riqualificazione nel corso degli anni '90 che le hanno consentito di giungere ad oggi in mediocre stato di conservazione. Sono presenti numerose patologie di degrado che tuttavia non privano la torre dell'integrità visiva d'insieme.</p>
---	---	--

OSSERVAZIONI: La disposizione dei laterizi dà a primo impatto un aspetto piuttosto omogeneo alla muratura. Solo avvicinandosi ed utilizzando un riferimento metrico ci si può rendere conto dell'irregolarità dei mattoni e della loro disposizione.

ELEMENTI LAPIDEI		
<p>Provenienza:</p> <input type="checkbox"/> scavo locale <input type="checkbox"/> greto del fiume <input checked="" type="checkbox"/> cava <p>Origine materiale prevalente:</p> <input type="checkbox"/> arenaria <input checked="" type="checkbox"/> calcare <input type="checkbox"/> tufo <input type="checkbox"/> travertino <input type="checkbox"/> _____ <p>Lavorazione:</p> <input checked="" type="checkbox"/> assente <input type="checkbox"/> appena accennata <input type="checkbox"/> spigoli finiti e facce non lavorate <input type="checkbox"/> spigoli finiti e faccia a vista spianata <p>Dimensioni:</p> <input type="checkbox"/> piccole (<15cm) <input type="checkbox"/> medie (>15 e <25cm) <input checked="" type="checkbox"/> grandi (>25cm)	<p>Forma:</p> <input type="checkbox"/> ciottoli <input type="checkbox"/> blocchi erratici <input type="checkbox"/> lastre <input type="checkbox"/> bozze <input checked="" type="checkbox"/> bugnati <input type="checkbox"/> conci <input type="checkbox"/> altro _____ <p>Lavorazione superficiale Sbozzata</p> <p>Stato di conservazione:</p> <input type="checkbox"/> buono <input checked="" type="checkbox"/> mediocre <input type="checkbox"/> cattivo <input type="checkbox"/> pessimo <p>Osservazioni: La pietra si presenta in buono stato di conservazione</p>	 

OSSERVAZIONI: La pietra non costituisce direttamente la muratura, ma è stata utilizzata per realizzare il basamento e gli elementi di sostegno di un antico camminamento che correva tutt'attorno alla torre nella parte sommitale. Più precisamente si tratta di calcare Rosso Verona nel primo caso e calcare di San Virgilio nel secondo.

MALTA		
<p>Funzione:</p> <input checked="" type="checkbox"/> allettamento <input type="checkbox"/> riempimento <input type="checkbox"/> stilatura <p>Spessore del giunto verticale Circa 1.5 cm</p> <p>Altezza dei letti di posa Circa 2.5 cm</p> <p>Colore della malta: Grigio chiaro</p> <p>Colore dell'aggregato: Nero e grigio scuro</p> <p>Lavorazione superficiale Lavorazione superficiale assente</p> 	<p>Consistenza:</p> <input type="checkbox"/> incoerente <input type="checkbox"/> friabile <input checked="" type="checkbox"/> compatta <input type="checkbox"/> tenace <input type="checkbox"/> _____ <p>Profondità degrado (Eventuale mancanza)</p> <input type="checkbox"/> 0-0,5 cm <input checked="" type="checkbox"/> 0,5-2cm <input type="checkbox"/> 2-5cm <input type="checkbox"/> > di 5 cm <p>Presenza di una ristilatura. Descrizione della nuova malta Sono presenti tracce di varie ristilature, realizzate in più fasi e con materiali differenti, ben riconoscibili grazie alla tonalità più chiara della malta con la quale sono state realizzate e al metodo di posa, piuttosto approssimativo.</p> <p>Ne consegue che il riconoscimento del profilo esatto dei mattoni, ovviamente regolari, risulti difficoltoso. Il ricalco realizzato sopra ne è la prova.</p>	<p>Aggregato:</p> <input checked="" type="checkbox"/> sabbia <input type="checkbox"/> ghiaietto <input type="checkbox"/> ghiaia <p>Dimensioni massime aggregati Inferiore a 5 mm</p> <p>Forma:</p> <input checked="" type="checkbox"/> arrotondata <input type="checkbox"/> spigolosa  <p>Osservazioni: La malta di calce originaria presenta una discreta omogeneità d'impasto, costituito da calce e inerti a varie granulometrie e colorazioni tipiche delle sabbie provenienti dal lago vicino. Si riscontrano gradi di conservazione malta diversi tra loro, con porzioni in cui risulta perfettamente conservata ed altre in cui risulta parzialmente mancante.</p>

Ipotesi di approfondimento

Sulla base dei dati raccolti in occasione delle indagini effettuate negli anni '90 e durante il rilievo diretto della Torre, è possibile ipotizzare un nuovo progetto di indagine che permetta di analizzare in maniera esaustiva tutti gli interrogativi rimasti irrisolti a seguito delle indagini già effettuate e le problematiche emerse in questi ultimi anni. Occorre sottolineare prima di tutto come l'assetto strutturale della Torre (in particolare la mancanza di una struttura di risalita e di piani d'appoggio adeguati a realizzare le operazioni di analisi) abbia creato non poche difficoltà nel rilievo diretto e diagnostico realizzato, imponendo la necessità di elaborare una proposta di approfondimento da realizzare in presenza delle strumentazioni e dei mezzi necessari.

Quella di seguito riportata è dunque un'ipotesi di approfondimento rispetto a ciò che, nel corso degli anni, da personale differente e con diverse tecniche, si può ritenere come già valutato ed ancora valido, sebbene in alcuni casi, come verrà meglio esplicitato, i dati raccolti siano da utilizzare criticamente in quanto le tecniche con le quali sono stati ottenuti risultino ormai obsolete e talvolta addirittura discutibili. Nello specifico si suggerisce di effettuare le seguenti indagini:

- Prove con martinetto piatto singolo e doppio

In-depth hypothesis

On the basis of the data collected during the investigations carried out in the 90s and during the direct survey of the Tower, it is possible to hypothesize a new survey project that allows to analyze in an exhaustive manner all the questions that remained unresolved following the investigations already carried out and the problems that have emerged in recent years. First of all, it should be emphasized how the structural structure of the Tower (in particular the lack of a lift structure and adequate support surfaces to carry out the analysis operations) has created many difficulties in the direct and diagnostic survey carried out, imposing the need to elaborate a proposal for in-depth analysis to be carried out in the presence of the necessary instruments and means.

The following is therefore an in-depth hypothesis with respect to what, over the years, by different personnel and with different techniques, can be considered as already evaluated and still valid, although in some cases, as will be better explained, the collected data are to be used critically as the techniques with which they were obtained are now obsolete and sometimes even questionable. Specifically, it is suggested to carry out the following investigations:

- Tests with single and double flat jacks

- Inspection of discontinuities and repaired areas

- *Ispezione delle discontinuità e delle zone riparate*

- *Monitoraggio statico e dinamico delle fessurazioni*

- *Ispezione della zona sommitale*

- *Static and dynamic monitoring of cracks*

- *Inspection of the top area*

Prove con martinetto piatto singolo e doppio

Sebbene prove con i martinetti piatti siano già state effettuate, in occasione delle indagini diagnostiche degli anni '90, vi sono alcuni parametri utili alla valutazione dello stato tensionale delle murature (quali la **deformazione orizzontale e lo stato di sforzo locale**) che non sono stati menzionati nella relazione tecnica illustrativa delle metodologie adottate per l'intervento di restauro conservativo. Inoltre, come si è detto, le indagini effettuate sono state condotte con una modalità non conforme alla prassi, restituendo nel caso di alcune prove nello specifico risultati completamente inverosimili. Ciò impone di valutare criticamente i dati a disposizione e non ritenere completamente affidabili alcuni valori.

Questa tipologia di prova è però fondamentale all'ottenimento di informazioni attendibili riguardo le principali caratteristiche meccaniche di una struttura muraria in termini di valore dello sforzo di compressione verticale, deformabilità, comportamento sforzi-deformazioni. E' per queste ragioni

Tests with single and double flat jacks

Although tests with flat jacks have already been carried out, on the occasion of the diagnostic investigations of the 90s, there are some parameters useful for evaluating the stress state of the masonry (such as **horizontal deformation and the state of local stress**) that have not been mentioned in the technical report illustrating the methodologies adopted for the conservative restoration intervention. Furthermore, as mentioned above, the investigations carried out were conducted in a manner that did not conform to the practice, returning completely improbable results in the case of some tests specifically. This makes it necessary to critically evaluate the available data and not to consider some values completely reliable.

However, this type of test is essential for obtaining reliable information about the main mechanical characteristics of a wall structure in terms of the value of the vertical compression stress, deformability, stress-strain behavior. It is for these reasons that we suggest an in-depth study of the available data by carrying out further tests with single

che si suggerisce l'approfondimento dei dati a disposizione tramite la realizzazione di ulteriori prove con martinetto piatto singolo e doppio grazie alle quali sarà possibile valutare con precisione le caratteristiche elastiche della muratura e lo stato di sforzo locale a vari livelli della Torre.

Sarà utile in particolare effettuare suddette prove a diversi livelli di elevazione e, se possibile, allo stesso livello sia all'interno che all'esterno del manufatto, il cui spessore delle pareti non permetterebbe in altro modo di valutare esaurientemente lo stato di sforzo locale. Si tratta di una tecnica poco invasiva rispetto ad altre a disposizione e dunque particolarmente adatta ad essere effettuata sulle murature storiche come quella in oggetto, senza rischiare di indebolire ulteriormente la struttura.

La prova con **martinetto singolo** è condotta introducendo un martinetto piatto in un taglio effettuato lungo un giunto di malta. La prova risulta leggermente distruttiva anche se, una volta terminata la prova, lo strumento viene facilmente rimosso e il giunto risarcito. La determinazione dello stato di sforzo locale si basa sul rilassamento tensionale provocato dal taglio effettuato in direzione perpendicolare alla superficie muraria, che verrà valutato misurando la riduzione della distanza tra i margini superiore ed inferiore del taglio. La prova prosegue poi ponendo il martinetto piatto nell'apertura realizzata ed aumentando la pressione in modo da

and double flat jacks, thanks to which it will be possible to accurately evaluate the elastic characteristics of the masonry and the state of local stress at various levels of the Tower.

In particular, it will be useful to carry out the aforementioned tests at different levels of elevation and, if possible, at the same level both inside and outside the building, the thickness of the walls would not otherwise allow to fully assess the state of local effort. It is a less invasive technique compared to others available and therefore particularly suitable to be carried out on historical walls such as the one in question, without risking further weakening the structure.

The **single flat jack test** is conducted by introducing a flat jack into a cut made along a mortar joint. The test is slightly destructive even if, once the test is finished, the instrument is easily removed and the joint repaired. The determination of the local stress state is based on the stress relaxation caused by the cut made perpendicular to the wall surface, which will be evaluated by measuring the reduction in the distance between the upper and lower edges of the cut. The test then continues by placing the flat jack in the opening made and increasing the pressure so as to gradually bring the edges of the crack back to the original distance, measured before cutting.

The same test can be applied to measure the deformability of the masonry. In this case a second flat jack (**double jacks**) is inserted

riportare progressivamente i lembi della fessura alla distanza originaria, misurata prima del taglio.

La stessa prova può essere applicata per misurare la deformabilità della muratura. In questo caso un secondo martinetto piatto (**martinetti doppi**) è inserito in un taglio parallelo al precedente, alla distanza di circa 40-50cm. I due martinetti delimitano così una porzione di muratura non sollecitata su cui effettuare una prova di compressione monoassiale, volta a determinare la resistenza del materiale. Grazie ad una specifica strumentazione posta sulla superficie (estensimetri e trasduttori di spostamento lineare) è possibile registrare la misura delle deformazioni durante tutta la prova. Dalla prova condotta a "controllo di carico", è possibile stimare il modulo elastico e la resistenza locale della muratura.

Ispezione delle discontinuità e delle zone riparate

L'individuazione delle discontinuità strutturali permette di riconoscere eventuali carenze organizzative della struttura muraria e dunque di fornire indicazioni sui possibili dissesti che si possono innescare all'interno della costruzione ed evidenziare i macroelementi da valutare durante le verifiche sismiche. Una volta che le discontinuità strutturali e le aree mal ammassate sono state mappate è possibile ipotizzare possibili cinematismi

in a cut parallel to the previous one, at a distance of about 40-50cm. In this way the two jacks delimit a portion of non-stressed masonry on which to carry out a monoaxial compression test, aimed at determining the resistance of the material. Thanks to a specific instrumentation placed on the surface (strain gauges and linear displacement transducers) it is possible to record the measurement of deformations during the whole test. In this way, from the "load control" test, it is possible to estimate the elastic modulus and local resistance of the masonry.

Inspection of discontinuities and repaired areas

The identification of structural discontinuities makes it possible to recognize any organizational shortcomings of the wall structure and therefore to provide information on possible failures that can be triggered within the building and highlight the macro elements to be evaluated during seismic checks. Once the structural discontinuities and badly clamped areas have been mapped, it is possible to hypothesize possible

futuri per ogni porzione non efficacemente vincolata e dunque **mettere in evidenza fattori di rischio che minacciano l'integrità dell'edificio**, prevenendone un eventuale collasso. La procedura permette di ottenere una prima valutazione della vulnerabilità sismica dell'edificio, basata sull'analisi critica del quadro fessurativo riscontrato. Nella valutazione di tale quadro fessurativo occorre infatti tener conto di vari fattori che possono aver influenzato la storia del manufatto, quali eventi traumatici per la costruzione (ad esempio eventi sismici, azione di fulmini ed altri fenomeni meteorologici violenti, ecc), eventuali dissesti e riparazioni subite, variazioni d'uso e conseguente storia dei carichi sopportati, evoluzioni ed ampliamenti, eventuali adeguamenti normativi, peso proprio delle strutture.

Avendo ricostruito, tramite l'indagine storica, tutte le fasi costruttive dell'edificio, gli interventi subiti e le modifiche al contorno, è possibile individuare consapevolmente i **punti di maggiore rischio dal punto di vista della discontinuità muraria** e dunque minore grado di ammorsamento e sicurezza statica delle strutture sottoposte a sollecitazioni ordinarie nel tempo ed in particolare in caso di episodi traumatici straordinari. Nello specifico, considerando che la Torre è stata realizzata in un'unica fase né è stata sottoposta a modifiche quali tamponamento di aperture preesistenti, non saranno da monitorare in maniera specifica eventuali discontinuità nella struttura stessa. Al

future kinematics for each portion that is not effectively constrained and therefore **highlight risk factors that threaten the integrity of the building**, preventing its possible collapse. The procedure allows to obtain an initial assessment of the building's seismic vulnerability, based on the critical analysis of the crack pattern found. In assessing this crack pattern, it is in fact necessary to take into account various factors that may have influenced the history of the building, such as traumatic events for the construction (for example seismic events, lightning strikes and other violent meteorological phenomena, etc.), any damage and repairs suffered, variations in use and consequent history of the loads borne, evolutions and extensions, any regulatory adjustments, own weight of the structures.

Having reconstructed, through the historical investigation, all the construction phases of the building, the interventions undergone and the changes to the contour, it is possible to consciously identify the **points of greatest risk from the point of view of the discontinuity of the walls** and therefore lesser degree of clamping and safety statics of structures subjected to ordinary stresses over time and in particular in the event of extraordinary traumatic episodes. Specifically, considering that the Tower was built in a single phase nor was it subjected to changes such as plugging of pre-existing openings, any discontinuity in the structure itself will not be specifically monitored. On the contrary, the points of

contrario, saranno da monitorare i punti di contatto tra la muratura della Torre e quelle degli edifici adiacenti dell'Archivio, costruiti in fasi successive e privi di ammortamento reciproco. In questo modo, i **movimenti differenziati** delle due strutture potrebbero creare spinte reciproche (soprattutto in senso orizzontale) dannose per entrambe. È ciò che è avvenuto in occasione dei episodi sismici del 2012, a seguito dei quali le murature dell'Archivio addossate alla Torre hanno palesato, con diffusione piuttosto omogenea, fenomeni fessurativi superficiali, che sono stati ispezionati senza dare esito preoccupante a livello statico.

Monitoraggio statico e dinamico

Il controllo dell'evoluzione nel tempo dei fenomeni fessurativi e deformativi di edifici esistenti risulta fondamentale per la valutazione della sicurezza strutturale in quanto, considerata la loro notevole iperstaticità, gli edifici in muratura rispondono frequentemente alle sollecitazioni ed alle distorsioni imposte con deformazioni e fessurazioni che non sono necessariamente indice di problemi strutturali imminenti, se non quando tendono ad incrementarsi nel tempo. Per la corretta valutazione dell'affidabilità strutturale risulta quindi necessario individuare quali movimenti risultino ancora in fase di evoluzione e quali abbiano invece raggiunto una situazione stazionaria.

contact between the masonry of the Tower and those of the adjacent buildings of the Archive, built in successive phases and free of mutual clamping, will have to be monitored. In this way, the **differentiated movements** of the two structures could create reciprocal thrusts (especially horizontally) harmful to both. This is what happened during the seismic episodes of 2012, following which the walls of the Archive leaning against the Tower revealed, with a rather homogeneous diffusion, superficial cracking phenomena, which were inspected without giving a worrying result at a static level.

Static and dynamic monitoring

The control of the evolution over time of the cracking and deformation phenomena of existing buildings is fundamental for the evaluation of structural safety since, given their considerable hyperstatic nature, masonry buildings frequently respond to the stresses and distortions imposed with deformations and cracks that do not they are necessarily indicative of imminent structural problems, if not when they tend to increase over time. For the correct assessment of the structural reliability it is therefore necessary to identify which movements are still in the evolution phase and which ones have instead reached a stationary situation.

Despite having detected the crack pattern

Pur avendo rilevato il quadro fessurativo che attualmente compromette la Torre è dunque opportuno programmare un monitoraggio nel tempo. Nell'elaborazione del progetto di monitoraggio occorre valutare tipologia e durata delle misurazioni sulla base dei dati raccolti durante le indagini diagnostiche effettuate sullo specifico edificio. In generale esistono due tipologie di monitoraggio, **statico (locale) e dinamico (globale)**, ognuno dei quali presenta vantaggi e svantaggi da valutare caso per caso in base alle condizioni di contorno e agli obiettivi dell'indagine.

La misura delle grandezze statiche, spostamenti a cavallo di fessure, implica anche la misura delle variazioni di temperatura che sono in genere la causa principale delle variazioni di apertura delle lesioni e (assieme alla variazione di esposizione all'irraggiamento) dei movimenti di inclinazione delle strutture snelle. Disponendo di una serie di dati acquisiti con continuità per una finestra temporale di estensione adeguata è possibile effettuare l'elaborazione statistica individuando la periodicità e l'ampiezza delle oscillazioni. Il monitoraggio dinamico ha invece lo scopo di rilevare la storia delle vibrazioni cui il manufatto è stato soggetto. Viene effettuato generalmente con due finalità: caratterizzare le strutture che sono soggette a vibrazioni naturali (vento, traffico veicolare, suono delle campane) o controllare gli effetti, più o meno dannosi, delle vibrazioni sulle strutture.

that currently compromises the Tower, it is therefore advisable to plan its monitoring over time. In developing the monitoring project, it is necessary to evaluate the type and duration of the measurements on the basis of the data collected during the diagnostic investigations carried out on the specific building. In general, there are two types of monitoring, **static (local) and dynamic (global)**, each of which has advantages and disadvantages to be assessed on a case-by-case basis based on the surrounding conditions and the objectives of the survey.

The measurement of static quantities, displacements astride cracks, also implies the measurement of temperature variations which are generally the main cause of the opening variations of the lesions and (together with the variation of exposure to irradiation) of the inclination movements of the structures slender. Having a series of data acquired continuously for a time window of adequate extension, it is possible to carry out statistical processing by identifying the periodicity and amplitude of the fluctuations. Dynamic monitoring, on the other hand, has the purpose of detecting the history of the vibrations to which the artifact was subjected. It is generally carried out with two purposes: to characterize structures that are subject to natural vibrations (wind, vehicular traffic, sound of bells) or to control the more or less harmful effects of vibrations on structures. This is the **most effective monitoring technique for towers** because it captures even the

Si tratta della tecnica di monitoraggio più efficace per le torri perché coglie anche minime variazioni di risposta.

In generale la torre non presenta un quadro fessurativo preoccupante, ad eccezione dello spigolo Sud-Ovest, nel quale si riscontra una duplice discontinuità sui due fronti, che palesa uno stato di sforzo locale maggiore rispetto al resto della struttura.

Ispezione della zona sommitale

Nel caso di elementi a **prevalente sviluppo verticale**, un ruolo fondamentale nella perdita di stabilità del manufatto è svolto solitamente dalla presenza di eventuali celle campanarie, altre ampie bucatore o elementi snelli posti sulla sommità, che con la propria vulnerabilità dovuta alla scarsa superficie d'appoggio e all'esiguo carico verticale (associato solo al peso proprio della porzione), acquisiscono un limitato effetto stabilizzante rispetto all'eventuale ribaltamento.

Pur non presentando porzioni sommitali differenti e discontinue rispetto al resto delle murature né elementi giustapposti al piano di copertura, considerando l'altezza consistente della torre in oggetto (37m) in rapporto al proprio piano di appoggio (circa 50 m²) sarà opportuno effettuare ispezioni approfondite della porzione sommitale. Si tratta di indagini che a causa delle condizioni di ispezione e dei rischi dovuti

slightest variations in response.

In general, the tower does not present a worrying crack pattern, with the exception of the South-West corner, in which there is a double discontinuity on the two fronts, which reveals a state of local effort greater than the rest of the structure.

Inspection of the top area

In the case of elements with **prevalently vertical development**, a fundamental role in the loss of stability of the building is usually played by the presence of any bell cells, other large openings or slender elements placed on the top, which with its own vulnerability due to the scarce support surface and the low vertical load (associated only with the weight of the portion), acquire a limited stabilizing effect with respect to any overturning.

Although it does not have different and discontinuous top portions with respect to the rest of the walls or elements juxtaposed to the roof level, considering the substantial height of the tower in question (37m) in relation to its support surface (about 50 m²) it will be advisable to carry out in-depth inspections of the top portion. These are investigations which, due to the inspection conditions and the risks due to the lack of adequate instruments, have not been possible to carry out during the surveys carried out but which

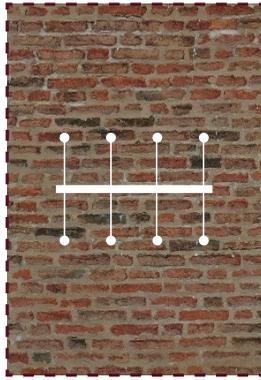
alla mancanza di strumentazioni adeguate non è stato possibile realizzare durante i rilievi effettuati ma che risultano indispensabili ad ottenere un quadro esaustivo dello stato di conservazione del manufatto nella sua interezza.

Quanto esposto sopra non è altro che un ipotesi di approfondimento elaborata a partire dall'analisi critica delle informazioni già a disposizione, del rilievo diretto del manufatto e delle lacune purtroppo ancora presenti che varrebbe la pena colmare per ottenere un quadro completo dello stato e del comportamento della muratura.

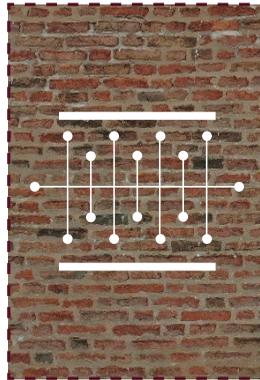
are essential to obtain an exhaustive picture of the state of conservation of the building in its entirety.

The above is nothing more than an in-depth hypothesis developed starting from the critical analysis of the information already available, the direct survey of the artefact and the unfortunately still present gaps that would be worth filling in order to obtain a complete picture of the state and behavior of the masonry.

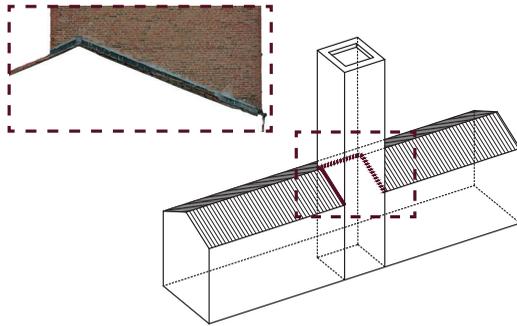
single flat
jack tests



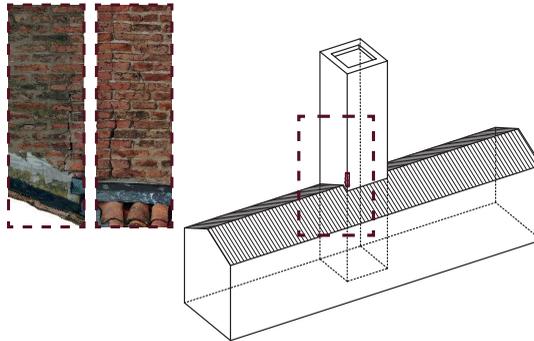
double
flat jack tests



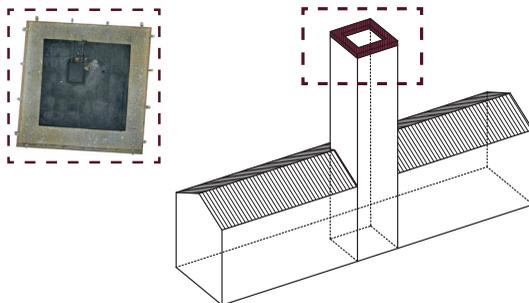
discontinuities and modified areas inspection



cracking static and dynamic monitoring



top area inspection



IV

the structural investigation

4.1_ MODALITA' E FINALITA' DELL'INTERVENTO STRUTTURALE NELL'EDILIZIA STORICA

"I naturalisti hanno notato che in natura i corpi degli esseri animati risultano strutturati in modo tale che le ossa non restino in nessun punto staccate tra loro. Allo stesso modo le ossature (degli edifici) saranno da riunire alle ossature, ed esse tutte da rafforzare nel modo più opportuno con nervi e legamenti; sicché la successione delle ossature, collegate tra loro, risulti tale da resistere da sola, quand'anche ogni altro elemento venisse a mancare, perfettamente conchiusa nella solidità della sua membratura".¹

Leon Battista Alberti,

Il termine "**struttura**", dal latino *structura*, deriva dal verbo *struere*, "costruire". Assume dunque sin dalla propria origine etimologica un senso architettonico, che designa il modo in cui un edificio è costruito dal punto di vista materico, ma anche il modo in cui le parti dell'insieme sono disposte tra loro. Non è un caso che in architettura si intenda per struttura sia la distribuzione delle parti di una costruzione, considerate nei rapporti e nelle proporzioni reciproche, sia l'insieme degli elementi costruttivi costituenti l'ossatura di un manufatto, o una parte specifica di tale complesso. Tale struttura può essere semplice (quale ad esempio un muro, una

4.1_ METHODS AND PURPOSES OF THE STRUCTURAL INTERVENTION IN HISTORICAL BUILDING

"Naturalists have noticed that in nature the bodies of animated beings are structured in such a way that the bones do not remain in any point detached from each other. In the same way the skeletons (of the buildings) will be joined to the skeletons, and they must all be strengthened in the most appropriate way with nerves and ligaments; so that the succession of the frames, connected to each other, is such as to stand alone, even if every other element is missing, perfectly enclosed in the solidity of its member".¹

Leon Battista Alberti

The term "**structure**", from the Latin *structura*, derives from the verb *struere*, "to build". Therefore, from its etymological origin, it assumes an architectural meaning, which designates the way in which a building is constructed from a material point of view, but also the way in which the parts of the whole are arranged among themselves. It is no coincidence that in architecture we mean by structure both the distribution of the parts of a building, considered in mutual relationships and proportions, and the set of construction elements making up the backbone of an artifact, or a specific part of this complex. This structure can be simple (such as for example

1. Leon Battista Alberti, *De re aedificatoria*, 1485

trave, un pilastro, o qualunque altro singolo elemento architettonico) o complessa (quale un'ossatura muraria, una travatura reticolare o l'impalcato di un ponte, dati dall'unione di più strutture semplici). Estendendone il concetto, essa costituisce il particolare legame di un edificio in quanto *unicuum*, ma allo stesso tempo si intende anche come il modo in cui la materia è stata plasmata per ottenerne determinate forme. In tale accezione la parola designa contemporaneamente: un insieme/sistema, le singole parti di questo insieme, i rapporti di queste parti tra loro. In architettura gli elementi costituiscono la base del sistema dei nodi strutturali che definiscono l'organismo architettonico, rendendo la struttura l'essenza della costruzione: la valutazione dell'interazione tra singolo elemento e organismo strutturale determina il giudizio sulle prestazioni del manufatto e sulle sue debolezze, possibile soltanto a partire da un'attenta analisi di come l'edificio è stato costruito.

Conseguenza diretta di una qualunque indagine diagnostica che abbia riscontrato problematiche dal punto di vista della sicurezza statica dell'edificio analizzato, il consolidamento è da considerarsi la naturale evoluzione strutturale del restauro. Il restauro strutturale, con la propria teoria e le proprie tecniche permette di ritrovare quella *ratio firmitatis*² con la quale gli antichi

a wall, a beam, a pillar, or any other single architectural element) or complex (such as a masonry, a truss or the deck of a bridge, given by the union of more simple structures). Extending the concept, it constitutes the particular bond of a building as a *unicuum*, but at the same time it is also understood as the way in which matter has been molded to obtain certain forms. In this meaning, the word designates at the same time: a whole / system, the individual parts of this whole, the relations of these parts to each other. In architecture, the elements form the basis of the system of structural nodes that define the architectural organism, making the structure the essence of the construction: the evaluation of the interaction between single element and structural organism determines the judgment on the performance of the building and its weaknesses, possible only starting from a careful analysis of how the building was built.

Direct consequence of any diagnostic investigation that has encountered problems from the point of view of the static safety of the analyzed building, the consolidation is to be considered the natural structural evolution of the restoration. The structural restoration, with its own theory and techniques, allows us to rediscover that *ratio firmitatis*² with which the ancient builders had ensured the necessary stability to the erected factories. When Vitruvius speaks of the principles on

2. Vitruvio, XV secolo a.C.

costruttori avevano assicurato la necessaria stabilità alle fabbriche erette. Quando Vitruvio parla dei principi sui quali a suo parere si debba basare qualunque forma di architettura, *venustas, utilitas e firmitas*³ vengono poste sullo stesso livello, in quanto imprescindibilmente legate l'una all'altra nella buona riuscita della costruzione. Nel principio di *ratio firmitatis* rientrano vari aspetti che definiscono l'essenza della costruzione: la concezione strutturale, la forma strutturale (o aspetto formante) e l'assetto resistente (o concretezza funzionale). Gli antichi costruttori ben conoscevano l'importanza della natura dei materiali nella scelta delle forme strutturali e delle loro proporzioni per le singole strutture. E' proprio nella tipologia e nelle caratteristiche del materiale che risiedono i limiti delle possibilità costruttive, creando un legame inscindibile tra forma e struttura. Allo stesso modo, inscindibili sono anche le rispettive forme di dissesto e degrado legate ad una specifica forma architettonica e ad uno specifico materiale. Se è vero che sono le tipologie e le proprietà dei materiali a determinare inevitabilmente un certo tipo di organizzazione della costruzione, è parimenti vero che sono le forme geometriche ad assicurare l'equilibrio e la stabilità di una determinata conformazione strutturale dotata dei vincoli necessari ad essere staticamente

which in his opinion any form of architecture should be based, *venustas, utilitas and firmitas*³ are placed on the same level, as they are inextricably linked to each other in the success of the construction. The principle of *ratio firmitatis* includes various aspects that define the essence of the construction: the structural conception, the structural form (or forming aspect) and the resistant structure (or functional concreteness). The ancient builders were well aware of the importance of the nature of the materials in the choice of structural shapes and their proportions for individual structures. It is precisely in the type and characteristics of the material that the limits of the construction possibilities lie, creating an inseparable link between shape and structure. In the same way, the respective forms of instability and decay linked to a specific architectural form and to a specific material are also inseparable. If it is true that it is the types and properties of materials that inevitably determine a certain type of organization of the construction, it is equally true that it is the geometric shapes that ensure the balance and stability of a certain structural conformation equipped with the necessary constraints to be statically safe.⁴

3. Vitruvio, XV secolo a.C.

4. G.B.Milani, *L'ossatura murale. Studio statico-costruttivo ed estetico proporzionale degli organismi architettonici, con speciale riferimento alle strutture elastiche nelle loro varie e moderne applicazioni, Società italiana di edizioni artistiche C. Crudo e C., Torino, 1920-1923*).

sicura. ⁴

A tale proposito, come si può leggere anche all'interno delle raccomandazioni ICOMOS, "Il comportamento di ogni struttura è influenzato da tre fattori principali: la forma, comprendendo in ciò non solo la geometria, ma anche lo stato deformativo, l'efficacia dei collegamenti tra i vari elementi strutturali, etc.; i materiali della costruzione e le azioni agenti": è proprio sull'interazione tra questi elementi che dovrebbe basarsi un qualunque intervento di restauro strutturale. ⁵

Ogni volta che in un edificio si crea un indebolimento strutturale, ciò che a noi appare come dissesto non è altro che la nuova conformazione che esso assume in risposta a delle sollecitazioni esterne, allo scopo di raggiungere un nuovo stato di equilibrio: si tratta dunque di una nuova conformazione resistente, senza dubbio meno efficace di quella iniziale ma comunque di equilibrio. ⁶ Per quanto indebolito e danneggiato, qualora non dovessero avvenire ulteriori sostanziali mutamenti, esso continuerà ad esistere e a reagire, seppur diversamente, alle sollecitazioni.

I danni subiti dalla fabbrica in seguito ad eccessive sollecitazioni sono riscontrabili nel

In this regard, as can also be read in the ICOMOS recommendations, "The behavior of each structure is influenced by three main factors: the shape, including not only the geometry, but also the deformation state, the effectiveness of the connections between the various structural elements, etc. ; construction materials and acting actions ": it is precisely on the interaction between these elements that any structural restoration intervention should be based. ⁵

Whenever a structural weakening is created in a building, what appears to us as failure is nothing more than the new conformation that it assumes in response to external stresses, in order to reach a new state of equilibrium: it is therefore a matter of a new resistant conformation, undoubtedly less effective than the initial one but still balanced. ⁶ However weakened and damaged, should no further substantial changes occur, it will continue to exist and react, albeit differently, to requests.

The damage suffered by the factory as a result of excessive stresses can be found in the resulting crack pattern and deformation pattern: it should be emphasized that the danger of the latter does not depend on the size or on the greater or lesser degree of displacement of its parts, but rather on

5. ICOMOS, *Raccomandazioni per l'analisi, conservazione e restauro strutturale dei Beni Architettonici*, 2004, Parte II, Punto 3.2

6. F. Doglioni, P. Mazzotti, *Codice di pratica per gli interventi di miglioramento sismico nel restauro del patrimonio architettonico. Integrazioni alla luce delle esperienze nella regione Marche, Regione Marche, Tipografia Tacconi, Ascoli Piceno, 2007*

quadro fessurativo e del quadro deformativo conseguenti: occorre sottolineare come la pericolosità di questi ultimi non dipenda dalle dimensioni o dal maggiore o minore grado di spostamento delle sue parti, quanto più ai meccanismi ai quali tali dissesti sono associati. Il dissesto non è altro che la manifestazione concreta della vulnerabilità dell'edificio. Quest'ultima sarà comune, in parte, a tutti gli edifici aventi caratteristiche simili, e specifica sulla base delle peculiarità di ciascun edificio.⁷

Un efficace progetto di restauro strutturale dovrà intervenire di volta in volta sulle caratteristiche che definiscono meccanicamente la struttura: geometria, materiale, carichi, andando a modificarne le caratteristiche di resistenza e/o lo stato tensionale, in base alle specifiche esigenze, che vadano a compensare le carenze strutturali riscontrate nella fabbrica in oggetto.⁸

Sulla base delle carenze strutturali riconosciute, si configurerà la tipologia di intervento, che dipenderà dalle caratteristiche del manufatto, dall'entità e dalla natura dell'allontanamento dalla condizione iniziale, dalla vulnerabilità, dalla

the mechanisms at the which such failures are associated. The failure is nothing more than the concrete manifestation of the building's vulnerability. The latter will be common, in part, to all buildings with similar characteristics, and specific on the basis of the peculiarities of each building.⁷

An effective structural restoration project will have to intervene from time to time on the characteristics that mechanically define the structure: geometry, material, loads, modifying its resistance characteristics and / or the stress state, according to specific needs, which compensate the structural deficiencies found in the factory in question.⁸

On the basis of the recognized structural deficiencies, the type of intervention will be configured, which will depend on the characteristics of the building, the extent and nature of the removal from the initial condition, the vulnerability, the presence of degradation, the stratification of the masonry, and above all the objectives to be achieved. Typically, the types of intervention are distinguished by the degree of urgency with which the operation needs to be carried out: if the "repair" of the damage aims to immediately resolve the state of failure through the reconstruction of

7. F. Doglioni, P. Mazzotti, *Codice di pratica per gli interventi di miglioramento sismico nel restauro del patrimonio architettonico. Integrazioni alla luce delle esperienze nella regione Marche, Regione Marche, Tipografia Tacconi, Ascoli Piceno, 2007*

8. Circolare del Ministero per i Beni e le Attività Culturali dell'8 Novembre 2002, Istruzioni generali per la redazione di progetti di restauro dei beni architettonici di valore storico artistico in zona sismica; Regione Marche: DGR 18 Gennaio 1999, n. 78 PR/CBC, Delibera amministrativa Consiglio Regionale n. 234 del 10 Novembre 1998].

presenza di degrado, dalla stratificazione della muratura, e soprattutto dagli obiettivi che si intende raggiungere. Tendenzialmente le tipologie di intervento si distinguono per il grado di urgenza con cui l'operazione necessita di essere svolta: se la "riparazione" dal danno mira a risolvere nell'immediato lo stato di dissesto tramite la ricostruzione degli elementi perduti, senza tuttavia intervenire sulle cause che hanno provocato tale dissesto, il "miglioramento o adeguamento antisismico", il "rafforzamento per l'uso" e la "riorganizzazione strutturale" mirano invece all'ottenimento di un miglioramento preventivo delle potenzialità strutturali del manufatto. In tutti questi casi, sebbene la tipologia di approccio da perseguire quando si tratta di edilizia storica sia tendenzialmente quello di mantenere il più possibile ciò che è rimasto per non perderne le tracce della storia, occorre anche prendere atto del fatto che fare questo non sia sempre possibile per assicurare una soluzione efficace e affidabile. In questi casi si provvederà a realizzare figure resistenti complementari (e possibilmente reversibili) alla fabbrica.⁹

Nella maggior parte dei casi, a seconda che ci si ponga come principale obiettivo quello della conservazione o della sicurezza strutturale, la preferenza ricade su interventi che risultino, prima di tutto, affidabili e duraturi nel tempo. Occorre sottolineare

the lost elements, without however intervening on the the causes that caused this failure, the "improvement or anti-seismic adaptation", the "strengthening for use" and the "structural reorganization" aim instead at obtaining a preventive improvement of the structural potential of the building. In all these cases, although the type of approach to be pursued when it comes to historic construction tends to be to keep as much as possible what is left in order not to lose the traces of history, it is also necessary to take note of the fact that doing this is not always possible to ensure an effective and reliable solution. In these cases, resistant figures will be created that are complementary (and possibly reversible) to the factory.⁹

In most cases, depending on whether the main objective is conservation or structural safety, the preference falls on interventions that are, first of all, reliable and long-lasting. However, it should be emphasized that in a perspective of reconciling structural safety and conservative restoration, it is also essential to respect the compatibility criterion from the point of view of restoration, and that of structural necessity and constructive reliability from the point of view of safety. The relationship between these two needs is defined by the parameter of the quality of the structural function of the intervention, based on qualitative / quantitative criteria and on

9. F. Doglioni, *Nel restauro. Progetti per le architetture del passato*, Marsilio, Venezia 2008

tuttavia, come in un'ottica di conciliazione tra sicurezza strutturale e restauro conservativo sia fondamentale rispettare parimenti il criterio di *compatibilità* dal punto di vista del restauro, e quello di *necessità strutturale* e *affidabilità costruttiva* dal punto di vista della sicurezza. La relazione tra queste due esigenze è definita dal parametro della *qualità della funzione strutturale dell'intervento*, basata su criteri qualitativo/quantitativi e su un'analisi costi/benefici in cui i benefici sono dati dal reale incremento del grado di sicurezza mentre i costi sono misurati in termini di alterazione dei caratteri storico-architettonici dell'edificio.¹⁰

A tale proposito, per assolvere entrambi gli obiettivi, la scelta deve ricadere su interventi che garantiscano la massima efficacia contrastando al minimo la struttura storica in termini di impatto materico ed estetico-figurale.¹¹ Va da sé che in questa scelta un ruolo fondamentale andrà attribuito alla destinazione d'uso dell'edificio e al significato che esso dovrà ricoprire, in modo da evitare ingiustificati miglioramenti (in termini di sovrastima) che potrebbero danneggiarne al contrario il valore.

a cost / benefit analysis in which the benefits are given by the real increase in the degree of safety while the costs are measured in terms of alteration of the historical-architectural features of the building.¹⁰

In this regard, in order to achieve both objectives, the choice must fall on interventions that guarantee maximum effectiveness by contrasting the historical structure to a minimum in terms of material and aesthetic-figural impact.¹¹ It goes without saying that in this choice a fundamental role will be attributed to the intended use of the building and the meaning that it will have to cover, in order to avoid unjustified improvements (in terms of overestimation) which could, on the contrary, damage its value.

10. C. Donà, *Il restauro strutturale del costruito storico*, in *Manuale delle murature storiche*, vol I, 2011

11. P. Fancelli, *La struttura ... presente. Introduzione allo studio della storia del consolidamento* in P. Rocchi, *Trattato sul consolidamento*, Mancosu, Roma 2003

4.2_ LE VALUTAZIONI SULLA STRUTTURA

Obiettivo di questa ricerca è, oltre a quello di approfondire lo studio della Torre dei Gambulini in vista di un ipotetico progetto conservativo e conseguente riuso, tentare di delineare un procedimento di indagine ed intervento efficace. Nei capitoli precedenti si è sottolineato come fasi fondamentali alla conoscenza esaustiva dell'edificio siano la ricerca storica, il rilievo geometrico-dimensionale e l'indagine materico-costruttiva. A questi, non può prescindersi la lettura costruttivo-strutturale del manufatto, essenziale ad elaborare un'analisi critica di tutti i dati raccolti ed una proposta di intervento che risulti specifica per il caso in oggetto e dunque efficace.

Come ricorda Giuffrè, *“La storicità della tecnica costruttiva è un elemento di importanza prioritario per l'esame strutturale: non si può controllare la stabilità dell'opera se non si conosce come essa sia stata costruita; non si può modellare una struttura per eseguirne uno studio meccanico se non si possiede con piena consapevolezza la tecnica con cui è stata realizzata”*¹². Non è possibile realizzare una corretta interpretazione del comportamento statico e sismico di un edificio senza averne

4.2_ THE EVALUATIONS ABOUT THE STRUCTURE

The aim of this research is, in addition to deepening the study of the Gambulini Tower in view of an hypothetical conservation project and consequent reuse, to try to outline an effective investigation and intervention procedure. In the previous chapters, it has been emphasized that historical research, the geometric-dimensional survey and the material-constructive investigation are fundamental phases for the exhaustive knowledge of the building. To these, the constructive-structural reading of the building cannot be ignored, which is essential to develop a critical analysis of all the data collected and a proposed intervention that is specific to the case in question and therefore effective.

As Giuffrè recalls, *“The historicity of the construction technique is an element of priority importance for the structural examination: you cannot check the stability of the work if you do not know how it was built; you cannot model a structure to perform a mechanical study if you do not have full awareness of the technique with which it was created”*¹². It is not possible to achieve a correct interpretation of the static and seismic behavior of a building without first

12. A. Giuffrè, *“L'intervento strutturale quale atto conclusivo di un approccio multidisciplinare”* in M. Piana, *“Il consolidamento strutturale dell'edilizia storica”*, Quaderni dei seminari sul restauro architettonico n.1, Centro Internazionale di Studi Andrea Palladio, Vicenza, 1995, n.8

primariamente effettuato un'approfondita lettura delle caratteristiche strutturali e costruttive.

Nel rilievo è opportuno analizzare la qualità costruttiva e quella dei materiali costitutivi, applicata sia alle strutture che ai singoli elementi che le costituiscono. Fondamentale ad ottenere un quadro completo della costruzione è anche realizzarne un'ampia documentazione fotografica di dettaglio ed un'adeguata rappresentazione della costruzione, che ne identifichi la distinzione delle singole parti, l'identificazione degli elementi portanti e, soprattutto, la definizione dei rapporti tra le parti. I singoli elementi andranno distinti nella propria tipologia costruttiva, che dovrà ricadere in una tra le seguenti:

- *Fondazioni*
- *Strutture murarie*
- *Strutture voltate*
- *Solai piani*
- *Coperture*
- *Scale*
- *Connessioni tra elementi strutturali*

A questi va aggiunta l'analisi costruttiva e dello stato di conservazione di tutti gli elementi, non necessariamente strutturali, ad *elevata vulnerabilità*, e dunque maggiori fonti di pericolo per la sicurezza statica

having carried out an in-depth reading of the structural and construction characteristics.

In the survey it is appropriate to analyze the construction quality and that of the constituent materials, applied both to the structures and to the individual elements that constitute them. Fundamental to obtaining a complete view of the building is also to create a large detailed photographic documentation and an adequate representation of the building, which identifies the distinction of the individual parts, the identification of the load-bearing elements and, above all, the definition of the relationships between parts. The individual elements must be distinguished in their construction type, which must fall into one of the following:

- *Foundations*
- *Wall structures*
- *Vaulted structures*
- *Floors*
- *Covers*
- *Stairs*
- *Connections between structural elements*

To these must be added the constructive analysis and the state of conservation of all elements, not necessarily structural, with high vulnerability, and therefore major sources of danger for the overall static safety of the building.¹³

13. C. Donà, *Il rilievo degli edifici in muratura*, in AA.VV, *Manuale delle murature storiche. Volume I: Analisi e valutazione del comportamento strutturale*, 2011

complessiva dell'edificio. ¹³

Murature, solai e coperture, se considerate a sé stanti, costituiscono uno schema statico semplice piuttosto fragile. La connessione di elementi piani come questi, raccordati tra loro da elementi monodimensionali (quali solai ed archi) o spaziali (come la volta) da luogo invece ad un sistema scatolare caratterizzato da una notevole rigidità. Il comportamento scatolare assunto dipende non soltanto dalla qualità dei singoli elementi che costituiscono la struttura (che è comunque essenziale) ma soprattutto dalla loro collaborazione: le connessioni tra elementi verticali ed orizzontali assume un ruolo fondamentale nella risposta dell'edificio alle sollecitazioni.

ANALISI COSTRUTTIVA E STRUTTURALE DELLA TORRE DEI GAMBULINI

Anche nel caso specifico della Torre in oggetto si è dunque proceduto con l'analisi costruttiva e strutturale degli elementi.

Fondazioni

L'analisi della vulnerabilità sismica non può prescindere dalla conoscenza delle fondazioni e del terreno su cui esse insistono. Tipologia e geometria delle fondazioni e natura del terreno su cui esse devono scaricare il peso dell'edificio sovrastante costituiscono i fattori principali di condizionamento della risposta sismica.

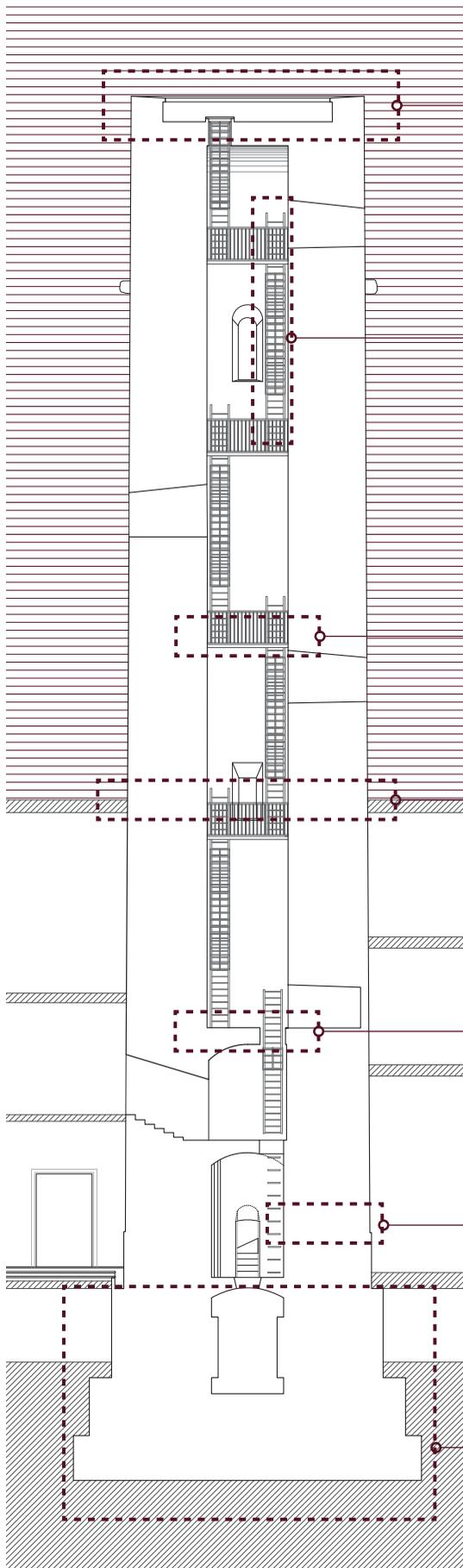
Walls, floors and roofs, if considered in their own right, constitute a rather fragile simple static scheme. The connection of flat elements such as these, connected to each other by one-dimensional elements (such as floors and arches) or spatial elements (such as the vault) instead gives rise to a box-like system characterized by considerable rigidity. The box-like behavior assumed depends not only on the quality of the individual elements that make up the structure (which is still essential) but above all on their collaboration: the connections between vertical and horizontal elements play a fundamental role in the response of the building to stress.

CONSTRUCTIVE AND STRUCTURAL ANALYSIS OF THE GAMBULINI'S TOWER

Even in the specific case of the tower in question, the constructive and structural analysis of the elements was therefore carried out.

Foundations

The analysis of seismic vulnerability cannot ignore the knowledge of the foundations and the ground on which they stand. The type and geometry of the foundations and the nature of the ground on which they must unload the weight of the building above are the main conditioning factors of the seismic response.



7. COVER



6. STAIRS



5. FLOOR SLABS



4. CONNECTION BETWEEN STRUCTURAL ELEMENTS



3. VAULTED STRUCTURES



2. MASONRY STRUCTURES



1. FOUNDATIONS

La Torre presenta presumibilmente (come si può dedurre dai disegni storici di rilievo recuperati e dai dati raccolti durante le indagini geognostiche degli anni '90) delle fondazioni a gradoni in pietra che si estendono al di sotto del piano di calpestio per circa 6m e si allargano rispetto all'ingombro della torre fuori terra di circa 1,6m. Il terreno su cui tali fondazioni insistono è stato attentamente valutato con indagini geognostiche negli anni '90, arrivando a concludere come gli unici due livelli poco consistenti siano stati rilevati nel terreno di riporto fino alla profondità di 2m, seguito da un livello argilloso sottostante, e in quello rilevato alla profondità compresa tra 9.9m e 10.2m. Si può dire senza troppi rischi che il primo non abbia quasi alcuna influenza sulla staticità della torre, in quanto il piano di posa delle fondazioni è stato rilevato alla profondità di circa 3.5m. Per quanto riguarda il secondo, la modesta entità in spessore di tale livello e il suo sviluppo pressochè uniforme non hanno mai creato evidentemente problemi alla statica della struttura in elevazione, come dimostrano l'assenza di evidenti fuori piombo e l'omogenea distribuzione dei carichi. In generale si possono riconoscere dunque discrete capacità portanti ai terreni esaminati, compatibili con i carichi e le esigenze della struttura sovrastante.

Strutture murarie

A prescindere dalla tipologia muraria,

The Tower presumably presents (as can be deduced from the historical relief drawings recovered and from the data collected during the geognostic investigations of the 90s) of stone stepped foundations that extend below the floor for about 6m and widen compared to the footprint of the tower above ground of approximately 1.6m. The soil on which these foundations stand was carefully evaluated with geognostic surveys in the 1990s, coming to the conclusion that the only two not very consistent levels were found in the backfill to a depth of 2m, followed by a clayey level below, and in that detected at a depth between 9.9m and 10.2m. It can be said without too much risk that the former has almost no influence on the static nature of the tower, as the foundation surface was measured at a depth of about 3.5m. As for the second, the modest thickness of this level and its almost uniform development have evidently never created problems with the statics of the elevated structure, as evidenced by the absence of obvious out of plumb and the homogeneous distribution of loads. In general, therefore, it is possible to recognize fair load-bearing capacities to the soils examined, compatible with the loads and needs of the overlying structure.

Wall structures

Regardless of the type of masonry, what really needs to be assessed is the quality of the masonry and its ability to respond to

ciò che occorre realmente valutare e la qualità della muratura e la sua capacità di rispondere alle sollecitazioni di vario genere cui essa è costantemente o eccezionalmente sottoposta. A seconda della tipologia (materiali e stratificazione) e qualità della muratura e della direzione dell'azione sollecitante che su di essa grava (verticale, orizzontale nel piano ed orizzontale fuori dal piano), si possono individuare tre diversi tipi di comportamento per la parete:

-Categoria A: muratura di ottima qualità, realizzata secondo le indicazioni suggerite dalla *regola dell'arte*, caratterizzata da un comportamento monolitico durante l'eventuale meccanismo di danno;

-Categoria B: muratura di media qualità, realizzata secondo alcune indicazioni suggerite dalla *regola dell'arte*. Durante il meccanismo di danno si suddivide in più elementi ancora caratterizzati da un comportamento assimilabile ad un corpo rigido;

-Categoria C: muratura di qualità scadente, non realizzata nel rispetto della *regola dell'arte*, per la quale è prevedibile una decoesione e frantumazione dell'opera muraria, senza formazione di un cinematismo di collasso.¹⁴

La Torre in oggetto è costituita, similmente

the various kinds of stress it is constantly or exceptionally subjected to. Depending on the type (materials and stratification) and quality of the masonry and the direction of the stressing action that weighs on it (vertical, horizontal in the plane and horizontal out of the plane), three different types of behavior can be identified for the wall:

-Category A: high quality masonry, built according to the indications suggested by the *regola dell'arte* characterized by a monolithic behavior during any damage mechanism;

-Category B: medium quality masonry, built according to some indications suggested by the rule of the art. During the damage mechanism it is divided into several elements still characterized by a behavior similar to a rigid body;

-Category C: poor quality masonry, not built in compliance with the rules of the art, for which a decohesion and crushing of the masonry is foreseeable, without the formation of a collapsing kinematics.¹⁴

The tower in question is made up, similar to all buildings of the same period of this type, full brick walls fixed with lime mortar 2.5m thick at the base and then gradually thinner as you go up towards the high, with a loss of about 20cm on each side evenly

14. C. Donà, *Il rilievo degli edifici in muratura*, in AA.VV, *Manuale delle murature storiche. Volume I: Analisi e valutazione del comportamento strutturale*, 2011

a tutte le costruzioni dello stesso periodo di questa tipologia, pareti piene in mattoni fissati con malta di calce dello spessore di 2,5m alla base e poi via via più sottili man mano che si sale verso l'alto, con una perdita di circa 20cm su ogni lato distribuita omogeneamente sull'intera altezza (37m) e dunque poco percepibile. La muratura presenta ancora i fori passanti da utilizzare per infilare i pali di sostegno dei ponteggi esterni durante la costruzione (detti fori di ponte o buche pontai) e, una volta terminata, i futuri ballatoi e camminamenti. Con una leggera e continua inclinazione delle pareti, la torre crescendo prende una forma leggermente affusolata fino a raggiungere l'altezza stabilita di 37m. Le murature sono esternamente ed internamente costituite da blocchi di laterizio pressochè regolari di dimensioni 6x16x28 cm caratterizzati da impasti e granulosità sostanzialmente disomogenei, alternati a giunti di malta al contrario per lo più omogenea costituita essenzialmente da calce ed inerti a varie granulometrie e colorazioni tipiche delle sabbie provenienti dal lago. Per la risposta che la muratura in oggetto ha avuto alle sollecitazioni subite nel tempo si può senza troppe esitazioni sottoscrivere alla categoria A, quale muratura di ottima qualità.

Strutture voltate

Si tratta di una struttura particolarmente resistente perché basata sulle spinte

distributed over the entire height (37m) and therefore hardly perceptible. The masonry still has the through holes to be used to insert the supporting poles of the external scaffolding during construction (called bridge holes or pontoon holes) and, once completed, the future galleries and walkways. With a slight and continuous inclination of the walls, the tower as it grows takes a slightly tapered shape until it reaches the established height of 37m. The walls are externally and internally made up of almost regular brick blocks of 6x16x28 cm dimensions characterized by substantially inhomogeneous mixtures and granularity, alternating with mortar joints on the contrary mostly homogeneous essentially consisting of lime and aggregates with various granulometry and typical colors of the sands coming from the lake. For the response that the masonry in question has had to the stresses suffered over time, it is possible without too much hesitation to subscribe to category A, as excellent quality masonry.

Vaulted structures

It is a particularly resistant structure because it is based on the reciprocal thrusts of the

reciproche degli elementi costituenti tra loro fino a contrastarsi a tal punto da ottenere una particolare stabilità e risposta alle sollecitazioni esterne. Durante il Medioevo erano due le tecniche principalmente utilizzate per la realizzazione di strutture voltate: pietrame sbozzato e laterizio. La tecnica di voltare con i mattoni, tuttavia, consentiva di ottenere geometrie più complesse grazie alla forma regolare dei suoi blocchi ed alla loro facile lavorabilità e, soprattutto, necessitava di spessori minori e dunque fonte di minor peso gravante sulle murature d'imposta laterali.¹⁵

La Torre nello specifico presenta 4 solai voltati a botte, a dividere tra loro gli spazi dell'interrato, del piano terra, del piano primo e del vano rimanente libero. A questi si aggiunge anche la copertura, anch'essa realizzata con una volta a botte. Dal rilievo del solaio del primo livello, sezionato dalla botola da cui si può accedere al vano libero sovrastante, si può dedurre si tratti di volte in mattoni di laterizio alternato a travetti in legno, sormontato da un piano di calpestio in acciaio, dello spessore complessivo variabile medio di circa 50cm.

Solai piani

La norma sulle costruzioni, D.M.17/01/2018,

constituent elements to such an extent as to obtain a particular stability and response to external stresses. During the Middle Ages there were two techniques mainly used for the construction of vaulted structures: rough stone and brick. The technique of turning with bricks, however, made it possible to obtain more complex geometries thanks to the regular shape of its blocks and their easy workability and, above all, required smaller thicknesses and therefore a source of less weight weighing on the lateral shutter walls.¹⁵

Specifically, the Tower has 4 barrel vaulted ceilings, dividing the spaces of the basement, the ground floor, the first floor and the remaining free space between them. Added to these is the roof, also built with a barrel vault. From the relief of the floor of the first level, sectioned by the trap door from which you can access the free space above, it can be deduced that these are brick vaults alternating with wooden beams, surmounted by a steel walking surface, of the overall thickness average variable of about 50cm.

Floors

The current construction law, Ministerial

15. C. Donà, *Il rilievo degli edifici in muratura*, in AA.VV, *Manuale delle murature storiche. Volume I: Analisi e valutazione del comportamento strutturale*, 2011

NTC (Norme Tecniche per le Costruzioni) enuncia che *“S’intendono come solai le strutture bidimensionali piane caricate ortogonalmente al proprio piano, con prevalente comportamento resistente monodirezionale”*¹⁶. A tale definizione la Circolare esplicativa delle NTC del 21/01/2019 aggiunge: *“Ai solai oltre a garantire la resistenza per carichi verticali, è richiesta anche rigidità nel proprio piano al fine di distribuire correttamente le azioni orizzontali tra le strutture verticali”*¹⁷. Un solaio è dunque una struttura resistente bidimensionale piana a carico strutturale prevalentemente ortogonale che concorre tuttavia anche alla sicurezza statica dell’insieme di cui fa parte, ripartendo i carichi gravitazionali e orizzontali sulle travi perimetrali della struttura di elevazione di un edificio. La valutazione della presenza e della tipologia di solai, del loro ammassamento con le pareti verticali e del loro posizionamento rispetto allo sviluppo verticale dell’edificio assumono un ruolo fondamentale nella valutazione dei vincoli e dunque dello stato di sicurezza statica dell’immobile considerato. Nell’analisi strutturale che interessa l’intera struttura dei solai (come anche avviene per le coperture) è necessario procedere alla:

-Determinazione del regime dei carichi

Decree 17/01/2018, NTC (Technical Standards for Construction) states that *“Flat two-dimensional structures loaded orthogonally to their floor, with predominantly one-way resistant behavior, are meant as floors”*¹⁶. To this definition, the explanatory Circular of NTC of 21/01/2019 adds: *“In addition to guaranteeing resistance to vertical loads, the floors also require stiffness in their own plane in order to correctly distribute the horizontal actions between the vertical structures”*¹⁷. A floor is therefore a flat two-dimensional resistant structure with predominantly orthogonal structural load which however also contributes to the static safety of the whole to which it is part, distributing the gravitational and horizontal loads on the perimeter beams of the elevation structure of a building. The assessment of the presence and type of floors, their clamping with the vertical walls and their positioning with respect to the vertical development of the building play a fundamental role in the evaluation of the constraints and therefore of the static safety status of the building in question. In the structural analysis that affects the entire structure of the floors (as well as the roofs) it is necessary to proceed with:

-Determination of the load regime
-Evaluation of the functioning of the individual connections

16. NTC Norme Tecniche per le Costruzioni , 17/01/2018

17. Circolare NTC, 21/01/2019

*-Valutazione del funzionamento delle singole connessioni
-Individuazione del comportamento dei vincoli esterni e della loro efficienza.* ¹⁸

-Identification of the behavior of external constraints and their efficiency. ¹⁸

In origine la Torre era dotata di sole scale a pioli in legno, intervallate da pianerottoli anch'essi in legno, di cui ancora si vedono li appoggi. Attualmente essa presenta 4 solai piani realizzati a posteriori, intorno alla fine degli anni '60/ inizio anni '70, in occasione della costruzione della scala in metallo. Si tratta di strutture in acciaio dello spessore di circa 15cm che assumono la sola funzione di pianerottoli di sosta. Sono agibili e accessibili ma ad oggi utilizzati per le sole operazioni di monitoraggio e manutenzione, dunque molto di rado sottoposte a sollecitazioni. In questo caso specifico, il ruolo strutturale dei solai risulta per conformazione ridotto, poiché non originariamente integrati nella struttura in muratura, sebbene contribuisca a fungere da ulteriore elemento di collegamento tra le murature della Torre e dunque vincolo nel comportamento scatolare assunto dall'insieme in caso di sollecitazioni.

Originally the Tower was only equipped with wooden ladders, interspersed with wooden landings. Currently it has 4 floors built afterwards, around the end of the 60s / early 70s, on the occasion of the construction of the metal staircase. These are steel structures with a thickness of about 15cm which assume the sole function of parking landings. They are practicable and accessible but are currently used only for monitoring and maintenance operations, therefore very rarely subjected to stress. In this specific case, the structural role of attics is reduced by conformation, since not originally integrated into the masonry structure, although it helps to act as an additional connecting element between the walls of the Tower and therefore a constraint in the box-like behavior assumed by the whole in case of stress.

Copertura

La copertura è l'elemento di massima

Coverage

The roof is the element of utmost importance

18. C. Donà, Il rilievo degli edifici in muratura, in AA.VV, Manuale delle murature storiche. Volume I: Analisi e valutazione del comportamento strutturale, 2011

importanza nella garanzia di buona conservazione di tutto l'edificio. E' senza dubbio la parte più soggetta alle possibili cause di degrado e alla mancanza di un'adeguata manutenzione, rischiando di intaccare l'integrità dell'intero manufatto. La connessione tra la copertura e le pareti sommitali è fondamentale in tutti gli edifici, a prescindere dalla tipologia, in quanto il tipo di ammortamento produce spinte localizzate sulle murature che tendono a ribaltare verso l'esterno, con conseguente perdita di appoggio ed eventuale crollo delle strutture sommitali.¹⁹ Molti danni alle strutture murarie, soprattutto nelle parti sommitali, sono spesso imputabili proprio per queste ragioni alla copertura e alle porzioni di essa maggiormente suscettibili. Nel caso di torri e campanili, un ruolo fondamentale nella perdita di stabilità del manufatto è svolto dalla presenza di eventuali celle campanarie, altre ampie bucatore o elementi snelli posti sulla sommità, che con la propria vulnerabilità dovuta alla scarsa superficie d'appoggio e all'esiguo carico verticale (associato solo al peso proprio della porzione), acquisiscono un limitato effetto stabilizzante rispetto all'eventuale ribaltamento.

Nel caso specifico della torre, non sono presenti elementi di indebolimento della tipologia sopra menzionata, il che ha senza

in ensuring the good conservation of the entire building. It is undoubtedly the part most subject to possible causes of degradation and the lack of adequate maintenance, risking to affect the integrity of the entire building. The connection between the roof and the top walls is fundamental in all buildings, regardless of the type, as the type of clamping produces localized thrusts on the walls which tend to tip outwards, with consequent loss of support and possible collapse of the summit structures.¹⁹ Many damages to the masonry structures, especially in the upper parts, are often attributable precisely to these reasons to the coverage and to the most susceptible portions of it. In the case of towers and bell towers, a fundamental role in the loss of stability of the building is played by the presence of any bell cells, other large openings or slender elements placed on the top, which with its own vulnerability due to the scarce support surface and low vertical load (associated only with the weight of the portion), acquire a limited stabilizing effect with respect to any overturning.

In the specific case of the tower, there are no weakening elements of the aforementioned typology, which undoubtedly contributed to preserving a good structural stability also of the top portion. As previously mentioned, the roof was made with a brick barrel vaulted

19. C. Donà, *Il rilievo degli edifici in muratura*, in AA.VV, *Manuale delle murature storiche. Volume I: Analisi e valutazione del comportamento strutturale*, 2011

dubbio contribuito a preservare una discreta stabilità strutturale anche della porzione sommitale. Come precedentemente menzionato, la copertura è stata realizzata con una struttura a volta a botte in mattoni. La sommità risulta attualmente accessibile dalla scala in metallo tramite una botola di circa 80x90cm ricavata all'angolo Sud-Est. Negli anni '70 sono state eseguite opere di manutenzione sulla copertura per aumentarne il consolidamento e la protezione da eventuali processi di degrado ed arrestarne la caduta di porzioni sulla via sottostante, che hanno visto la realizzazione di una copertina armata in C.A. dello spessore di circa 15cm posta sul muro perimetrale dell'attico. Non sono presenti tracce visibili di un'antica copertura a quadrupla falda che, dalle rappresentazioni storiche reperite, doveva originariamente coprire la Torre.

Scale

A questo elemento strutturale sono tradizionalmente affidati i collegamenti verticali. A prescindere dalla funzione pratica con cui sono concepite, esse assumono un ruolo fondamentale nel comportamento complessivo della scatola muraria in caso di sollecitazioni quale potrebbe ad esempio essere un fenomeno sismico. Scale ed edifici possono trovare mutuo aiuto nel resistere ai carichi cui la struttura verrà sottoposta. Fondamentale alla valutazione di tale interazione è dunque l'analisi accurata

structure. The top is currently accessible from the metal staircase through a hatch of about 80x90cm obtained in the South-East corner. In the 1970s, maintenance works were carried out on the roof to increase its consolidation and protection from any deterioration processes and to stop portions from falling onto the street below, which saw the construction of a reinforced concrete cover about 15cm thick placed on the perimeter wall of the attic. There are no visible traces of an ancient quadruple pitched roof which, from the historical representations found, was originally intended to cover the Tower.

Stairs

Vertical connections are traditionally entrusted to this structural element. Regardless of the practical function with which they are conceived, they play a fundamental role in the overall behavior of the wall box in the event of stresses such as could be a seismic phenomenon, for example. Stairs and buildings can find mutual help in resisting the loads to which the structure will be subjected. Crucial to the evaluation of this interaction is therefore the accurate analysis

dell'elemento architettonico in oggetto, del quale andranno valutati i materiali di costruzione, le tipologie costruttive (a sbalzo, a collo, a pozzo, a volo, ad anima,...), la tipologia e il grado di ammorsamento con le pareti. Il tema del consolidamento strutturale di scale esistenti e dell'inserimento di nuove scale in edifici storici risulta sempre molto delicato e complesso in quanto frequentemente vincolato dalle condizioni al contorno del bene in cui si deve operare. Il progetto di nuovi percorsi o la messa in sicurezza di quelli esistenti assume dunque un ruolo primario che deve confrontarsi con esigenze funzionali e con normative cogenti, oltre a richiedere qualità esteticamente condivisibili. Ogni scelta deve essere attentamente pensata allo scopo di restituire fruibilità e nuovi usi al bene storico.²⁰

La Torre non presenta scale in muratura facenti parte della struttura originaria e per la tipologia e funzione stessa dell'edificio si presuppone che esse non siano neanche mai esistite. Ad oggi i collegamenti verticali sono assicurati soltanto da una struttura di scale alla marinara in metallo aggiunte a posteriori intorno agli anni '70 in sostituzione di un sistema di vecchie scale a pioli e pianerottoli di sosta in legno. Sono agibili e accessibili ma ad oggi utilizzate per le sole operazioni di manutenzione, dunque

of the architectural element in question, of which the construction materials, construction types (cantilever, neck, well, fly, core, ...) will be evaluated, the type and degree of clamping with the walls. The issue of structural consolidation of existing stairs and the insertion of new stairs in historic buildings is always very delicate and complex as it is frequently constrained by the surrounding conditions of the asset in which it must operate. The design of new paths or the safety of existing ones therefore assumes a primary role that must deal with functional needs and binding regulations, as well as requiring aesthetically acceptable qualities. Each choice must be carefully thought out in order to restore usability and new uses to the historical asset.²⁰

The Tower has no masonry stairs that are part of the original structure and due to the type and function of the building itself it is assumed that they never even existed. To date, the vertical connections are ensured only by a structure of metal marinara stairs added later in the 1970s to replace a system of old ladders and wooden rest landings. They are practicable and accessible but are currently used only for maintenance operations, therefore very rarely subjected to stress. It is a structure that by design and construction techniques was not built to contribute to the

20. L. Jurina, E.O. Radaelli, A. A. Bassoli, V. E. Mogicato "Le scale negli edifici storici: criteri e tecniche di consolidamento" atti da convegno Centro Internazionale di Aggiornamento Sperimentale – Scientifico, 2016

molto di rado sottoposte a sollecitazioni. Si tratta di una struttura che per concezione e tecniche costruttive non è stata realizzata per contribuire alla coesione tra gli elementi murari, ma soltanto ancorata ad essi allo scopo di ottenerne la funzione pratica di collegamento verticale.

Connessioni tra elementi strutturali

Per connessione si intende il collegamento esistente tra più paramenti murari o tra orizzontamenti e pareti. L'aspetto principale da indagare nel rilievo delle connessioni è l'effettiva efficacia della qualità del collegamento. Il primo tipo di collegamento è l'ammorsamento tra le pareti: fondamentale è, a questo proposito, l'individuazione di eventuali discontinuità costruttive, conseguenza di processi di costruzione differenti. Fasi successive di costruzione non permettono infatti di ottenere il grado di ammorsamento raggiungibile quando la costruzione avviene in un'unica fase, se non grazie a particolari accorgimenti che tendono di migliorarne il grado di coesione: si tratta tuttavia di operazioni molto delicate, che prevedono la parziale demolizione dell'esistente e richiedono esperienza specifica in materia per essere realizzate senza creare irreparabili danni al manufatto. Proprio per questa ragione non sono rari gli interventi di ampliamento dell'organismo edilizio originario tramite riprese murarie inefficaci o addirittura del tutto assenti, così

coesione between the masonry elements, but only anchored to them in order to obtain the practical function of vertical connection.

Connections between structural elements

By connection we mean the connection existing between several wall faces or between horizontals and walls. The main aspect to investigate when surveying the connections is the effectiveness of the connection quality. The first type of connection is the clamping between the walls: the identification of any construction discontinuities, a consequence of different construction processes, is fundamental in this regard. In fact, subsequent construction phases do not allow to obtain the degree of clamping that can be reached when construction takes place in a single phase, if not thanks to particular measures that try to improve the degree of cohesion: however, these are very delicate operations, which require the partial demolition of the existing and require specific experience in the field to be carried out without creating irreparable damage to the building. Precisely for this reason, interventions to enlarge the original building structure through ineffective or even completely absent masonry are not uncommon, as well

come le trasformazioni edilizie concepite come semplice accostamento di pareti murarie. Allo stesso modo andranno indagati i collegamenti tra orizzontamenti (solai, volte, coperture) e pareti murarie, che spesso possono essere stati implementati nel tempo tramite l'aggiunta di presidi quali tiranti e cordolature di vario tipo.²¹

Nel caso della Torre, che è stata realizzata così come la vediamo ancora oggi in un'unica fase costruttiva e non ha subito sostanziali modifiche o aggiunte nel tempo alla sua struttura originaria, sarà interessante indagare le connessioni tra le sue murature e gli edifici dell'archivio che negli anni sono stati ad essa addossati. Si tratta infatti dei punti di maggiore sollecitazione ai movimenti cui i singoli manufatti, per conformazione e classe di utilizzo, sono differenzialmente soggetti. In particolare, saranno da verificare la presenza effettiva e l'eventuale grado di ammassamento con le strutture adiacenti posteriori all'edificazione della Torre e le sollecitazioni impresse le une sulle altre, sia di tipo ordinario, allo stato di quiete, sia di tipo straordinario, in caso di fenomeni sismici o sollecitazioni legate ad eventi puntuali.

as building transformations conceived as a simple juxtaposition of wall walls. In the same way, the connections between horizontal structures (floors, vaults, roofs) and masonry walls will be investigated, which often may have been implemented over time by adding devices such as tie rods and various types of ribbing.²¹

In the case of the Tower, which was built as we still see it today in a single construction phase and has not undergone substantial changes or additions to its original structure over time, it will be interesting to investigate the connections between its walls and the buildings of the archive that over the years have been attached to it. In fact, these are the points of greatest stress to the movements to which the individual artifacts, by conformation and class of use, are subjected differently. In particular, it will be necessary to verify the actual presence and the possible degree of clamping with the adjacent structures after the construction of the Tower and the stresses placed on each other, both of an ordinary type, in a state of rest, and of an extraordinary type, in case of seismic phenomena or stresses linked to specific events.

21. C. Donà, *Il rilievo degli edifici in muratura*, in AA.VV, *Manuale delle murature storiche. Volume I: Analisi e valutazione del comportamento strutturale*, 2011

4.3_ INDIVIDUAZIONE DELLE CRITICITA'

Il manufatto in oggetto rientra nella tipologia architettonica di *"Torri, campanili ed altre strutture a prevalente sviluppo verticale"* descritta all'interno delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC, di cui al decreto ministeriale del 17 gennaio 2018). Il comportamento sismico e la risposta a sollecitazioni di questa categoria di edifici dipendono prevalentemente da alcuni fattori significativi che ne caratterizzano la geometria:

- *Snellezza della struttura*

La geometria di questa tipologia architettonica è caratterizzata, per conformazione, da un importante divario tra l'elevazione in verticale e l'effettiva superficie di appoggio. Quest'ultima, che funge da unico elemento di ancoraggio dell'intera struttura (a meno che essa non sia circondata da altri edifici che le conferiscano un ulteriore grado di vincolo orizzontale) è la porzione maggiormente soggetta alle sollecitazioni, sia provenienti dal peso proprio del manufatto che da eventuali azioni esterne. I meccanismi di danneggiamento e collasso di questa tipologia di strutture sono molteplici ma facilmente comparabili tra un caso e l'altro, in quanto dipendono strettamente dalle caratteristiche geometriche e costruttive difficilmente differenziabili di questa

4.3_ IDENTIFICATION OF CRITICALITIES

The artifact in question falls within the architectural typology of *"Towers, bell towers and other predominantly vertical structures"* described in the Technical Standards for Construction (NTC, referred to in the ministerial decree of January 17, 2018). The seismic behavior and the response to stresses of this category of buildings mainly depend on some significant factors that characterize their geometry:

- *Slenderness of the structure*

The geometry of this architectural typology is characterized, by conformation, by an important gap between the vertical elevation and the actual support surface. The latter, which acts as a single anchoring element of the entire structure (unless it is surrounded by other buildings that give it an additional degree of horizontal constraint) is the portion most subject to stresses, both coming from the weight of the artifact that from any external actions. The mechanisms of damage and collapse of this type of structure are many but easily comparable between one case and another, as they strictly depend on the geometric and constructive characteristics of this category that are difficult to differentiate. In the case of rather squat towers, for example, it is easy for shear breaks to occur and for cracks to develop horizontally; in the case

categoria. Nel caso di torri piuttosto tozze, ad esempio, è facile che si verifichino rotture a taglio e che le lesioni si sviluppino in senso orizzontale; in caso di strutture dalla scarsa qualità muraria, al contrario, le lesioni si svilupperanno prevalentemente in verticale, dividendo materialmente la struttura in porzioni distinte.

Nel caso della torre è evidente la differenza geometrica tra lo sviluppo in pianta (7.7x7.7m) e in elevato (37m). L'altezza si sviluppa per circa 5 volte la lunghezza del lato di base, creando un forte divario nella distribuzione dei carichi. Nonostante questo tuttavia, non si riscontrano fenomeni fessurativi verticali diffusi, a riprova dell'evidente qualità muraria del manufatto.

- Presenza nella parte sommitale di elementi architettonici snelli (guglie, vele campanarie, merlature, ecc.) o comunque maggiormente vulnerabili (celle campanarie)

Un ruolo fondamentale nella perdita di stabilità del manufatto è dato dalla presenza di eventuali celle campanarie, altre ampie bucaure o elementi snelli posti sulla sommità, che con la propria vulnerabilità dovuta alla scarsa superficie d'appoggio e all'esiguo carico verticale (associato solo al peso proprio della porzione), acquisiscono un limitato effetto stabilizzante rispetto all'eventuale ribaltamento della struttura. In particolare, in presenza di azione sismica, le porzioni più alte della costruzione sono

of structures with poor masonry quality, on the contrary, the cracks will develop mainly vertically, materially dividing the structure into distinct portions.

In the case of the tower, the geometric difference between the plan development (7.7x7.7m) and the elevation (37m) is evident. The height develops about 5 times the length of the base side, creating a strong gap in the distribution of loads. Despite this, however, there are no diffused vertical cracking phenomena, proof of the evident masonry quality of the building.

- Presence in the upper part of slender architectural elements (spiers, bell sails, battlements, etc.) or in any case more vulnerable (bell cells);

A fundamental role in the loss of stability of the building is given by the presence of any bell cells, other large openings or slender elements placed on the top, which with its vulnerability due to the scarce support surface and the low vertical load (associated only with the weight of the portion), acquire a limited stabilizing effect with respect to the possible overturning of the structure. In particular, in the presence of seismic action, the highest portions of the building are more subject to seismic motion which manifests itself much more weakly at the base, thanks to

maggiormente soggette al moto sismico che si manifesta molto più debolmente alla base, grazie alle interazioni che si creano tra terreno di fondazione, struttura e sovrastruttura ed eventualmente anche grazie al grado di vincolo orizzontale offerto dagli edifici posti molto spesso in adiacenza. A questo proposito, per quanto attiene il caso specifico delle torri, i danni riportati sono spesso concentrati nella parte sommitale, con il crollo parziale o il danneggiamento delle merlature ed eventuali corpi sovrapposti, in genere castelli per le campane, in analogia a quanto sistematicamente rilevato per campanili sottoposti ad azioni sismiche.²²

Nel caso della Torre, sebbene come si è detto la muratura tenda a rastremarsi leggermente verso l'alto, non sono presenti elementi di maggiore vulnerabilità che rendano questa porzione particolarmente a rischio. Anche per quanto riguarda le bucatore, considerando l'ingente spessore della muratura (2.5m) e la percentuale di vuoti, si può concludere che esse non influiscano in maniera rilevante sulla stabilità della struttura.

- Eventuale presenza di strutture adiacenti più basse, in grado di fornire un vincolo orizzontale;

the interactions that are created between the foundation soil, structure and superstructure and possibly also thanks to the degree of horizontal constraint offered by the buildings placed very often adjacent. In this regard, as regards the specific case of the towers, the damage reported is often concentrated in the top part, with the partial collapse or damage of the battlements and any superimposed bodies, generally castles for bells, in analogy to what was systematically detected for bell towers subjected to seismic actions.²²

In the case of the Tower, although, as mentioned, the masonry tends to taper slightly towards the top, there are no elements of greater vulnerability that make this portion particularly at risk. Also with regard to the openings, considering the enormous thickness of the masonry (2.5m) and the percentage of voids, it can be concluded that they do not significantly affect the stability of the structure.

- Possible presence of lower adjacent structures, capable of providing a horizontal constraint;

22. A. Saisi, S. Terenzoni, "Architetture fortificate nel mantovano: gli effetti del terremoto del 2012" in *Castellum*, Roma-Castel Sant'Angelo, 2014

La presenza di eventuali edifici posti in adiacenza può, come si è detto, fornire all'edificio un ulteriore grado di vincolo orizzontale che ne preservi almeno le porzioni "in scatolate" da eventuali collassi ma, allo stesso tempo, rappresentare un ulteriore elemento di indebolimento in caso di sollecitazioni differenziate associate ad un basso livello di ammortamento.

Nel caso della Torre, gli edifici dell'Archivio che le sono progressivamente sorti attorno, non risultano essere stati ammortati alla sua muratura bensì solamente appoggiati (come si può facilmente notare nei punti di contatto tra i due manufatti). Questo ha evitato eventuali indebolimenti della struttura della torre, ma al contrario ha causato la trasmissione dei moti differenziati della torre alle murature dell'Archivio, che in occasione degli eventi sismici del 2012 hanno infatti manifestato alcuni episodi fessurativi nei punti di contatto con essa. Al contrario non si riscontrano fenomeni fessurativi nella muratura della torre, ad eccezione dello spigolo Sud-Ovest, punto di contatto con la copertura della porzione sinistra dell'Archivio.

- Grado di ammortamento delle pareti.

Il collegamento delle pareti in una struttura muraria a prevalente sviluppo verticale è fondamentale a garantire che questa assuma un comportamento d'insieme scatolare, paragonabile a quello assunto da una

The presence of any adjacent buildings can, as mentioned, provide the building with a further degree of horizontal constraint that preserves at least the "boxed" portions from possible collapses but, at the same time, represents a further weakening element in case of differentiated stresses associated with a low level of gripping.

In the case of the Tower, the buildings of the Archive that have gradually risen around it do not appear to have been clamped to its masonry but only supported (as can be easily seen in the points of contact between the two artifacts). This avoided any weakening of the tower structure, but on the contrary caused the transmission of the differentiated movements of the tower to the walls of the Archive, which during the earthquakes of 2012 in fact showed some cracks in the points of contact with it. On the contrary, there are no cracking phenomena in the masonry of the tower, with the exception of the South-West corner, the point of contact with the roof of the left portion of the Archive.

- Degree of connection of the walls.

The connection of the walls in a predominantly vertical wall structure is essential to ensure that this assumes an overall box-like behavior, comparable to that assumed by an interlocking shelf at the base and not as a set of distinct walls.

mensola ad incastro alla base e non come un insieme di pareti distinte.

Nel caso di murature con cantonali correttamente eseguiti, i possibili cinematismi di collasso fuori dal piano possono svilupparsi con il coinvolgimento di porzioni più o meno ampie di muratura. Si tratta di un meccanismo di rotazione di porzioni di muratura attorno a cerniere di tipo orizzontale o verticale, che solitamente deriva da cedimenti differenziali nel terreno di fondazione in conseguenza, ad esempio, di fenomeni sismici. La lettura del quadro fessurativo in questo caso può fornire importanti indicazioni sul tipo di meccanismo attivato, sulla risposta della muratura e sui possibili interventi di consolidamento

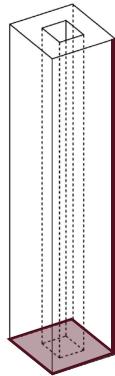
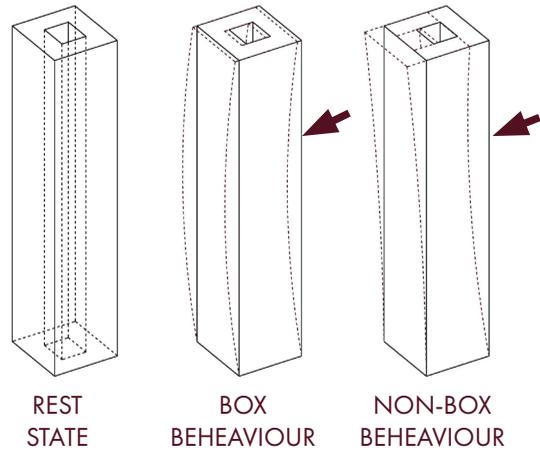
A questo proposito la Torre, costituita da murature piene in mattoni e malta di calce dello spessore di 2.5m, presenta un apparente scarso grado di ammorsamento tra le pareti, che tuttavia non manifestano un quadro fessurativo particolarmente rilevante, nonostante il manufatto sia già stato sottoposto ad episodi di sollecitazione straordinaria, ad eccezione di quello già menzionato dello spigolo Sud-Ovest, che richiederà ulteriori approfondimenti.

In the case of masonry with correctly executed cantonals, the possible kinematic mechanisms of collapse outside the plane can develop with the involvement of more or less large portions of masonry. It is a mechanism of rotation of portions of masonry around horizontal or vertical hinges, which usually derives from differential subsidence in the foundation soil as a consequence, for example, of seismic phenomena. Reading the crack pattern in this case can provide important information on the type of mechanism activated, on the response of the masonry and on possible consolidation interventions.

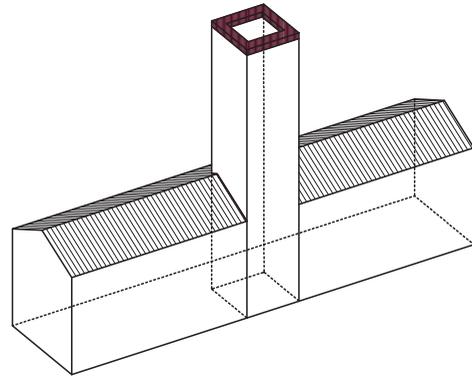
In this regard, the Tower, made up of solid walls in brick and lime mortar with a thickness of 2.5m, has an apparent low degree of clamping between the walls, which however do not show a particularly significant crack pattern, despite the fact that the building has already been subjected to episodes of extraordinary solicitation, with the exception of the one already mentioned of the South-West corner, which will require further investigation.

THE BOX BEHAVIOUR

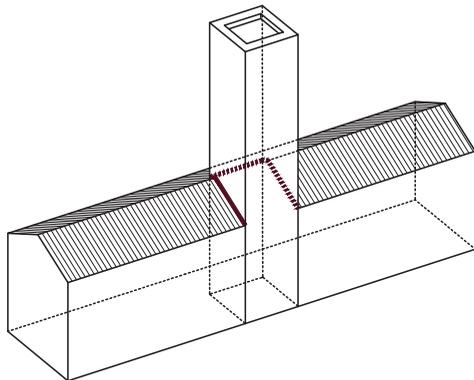
Masonry, slabs and roofing, if considered stand alone, constitute a simple static scheme rather fragile. The connection of flat elements such as these, joined together by one-dimensional elements (such as slabs and arches) or spatial (such as the vault) instead to a box system characterized by a remarkable stiffness. The box behaviour of the building therefore depends not only on the quality of the individual elements that make up the structure (which is however essential) but above all on their collaboration: connections between vertical and horizontal elements play a key role in the building's response to stress.



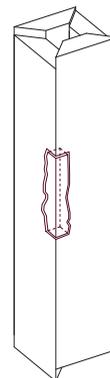
1. Slenderness of the structure



2. Presence in the upper part of architectural streamlined or more vulnerable elements



3. Presence of lower adjacent structures



4. Degree of clamping of the walls.

ANALISI DI VULNERABILITA' SISMICA_LV1

La *Direttiva* del 9 Febbraio 2011 fornisce indicazioni per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale tutelato, con riferimento alle *Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC)*, di cui al D.M. 17 Gennaio 2018 e relativa *Circolare* contenente Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 Gennaio 2018 (*Circolare* del 21 Gennaio 2019). In particolare, essa fornisce alcuni semplici modelli meccanici, esemplificativi delle più diffuse tipologie di manufatto storico, la cui adozione, sebbene i modelli siano affetti da incertezze, consente di ottenere una valutazione omogenea e comparabile a scala territoriale dei manufatti e dunque significativa ai fini di una eventuale pianificazione diffusa degli interventi conservativi sul territorio.

Per il caso in oggetto, considerando la tipologia di studio e il livello di precisione richiesto, si è proceduto alla realizzazione di una verifica sismica di primo livello: "*Analisi qualitativa e valutazione con modelli meccanici semplificati (LV1)*" (descritta al paragrafo 5.3.1 della suddetta *Direttiva*). Si tratta di una verifica che consente di ottenere la valutazione dell'azione sismica allo SLV attraverso metodi semplificati, basati su un numero limitato di parametri geometrici e meccanici o che utilizzano dati qualitativi personalmente raccolti e valutati

SEISMIC VULNERABILITY ANALYSIS_LV1

The *Directive* of 9 February 2011 provides indications for the assessment and reduction of the seismic risk of the protected cultural heritage, with reference to the *Technical Standards for Constructions (NTC)*, referred to in the D.M. January 17, 2018 and related *Circular* containing Instructions for the application of the technical standards for constructions referred to in Ministerial Decree 17 January 2018 (*Circular* of 21 January 2019). In particular, it provides some simple mechanical models, exemplifying the most common types of historical artifacts, the adoption of which, although the models are affected by uncertainties, allows for a homogeneous and comparable evaluation of the artifacts on a territorial scale and therefore significant for the purposes of a possible widespread planning of conservation interventions in the area.

For the case in question, considering the type of study and the level of precision required, a first level seismic verification was carried out: "*Qualitative analysis and evaluation with simplified mechanical models (LV1)*" (described in paragraph 5.3.1 of the aforementioned *Directive*). This is a verification that allows to obtain the evaluation of the seismic action at the SLV through simplified methods, based on a limited number of geometric and mechanical parameters or which use qualitative data

da chi effettua l'analisi (interrogazione visiva, lettura dei caratteri costruttivi, rilievo critico e stratigrafico). Si tratta di un modello di piuttosto semplice applicazione, che può rendersi utile alla valutazione della sicurezza sismica da effettuarsi a scala territoriale su tutti i beni culturali tutelati.

Nel caso fossero necessarie valutazioni più accurate sui singoli manufatti, gli strumenti da adottare sono quelli definiti per la progettazione degli interventi di riparazione e miglioramento, secondo i livelli di verifica denominati **LV2** (*Riparazione ed intervento locale*) e **LV3** (*Intervento di miglioramento*). Nel nostro caso, in cui l'obiettivo è quello di ottenere un quadro generale della risposta ad eventuali sollecitazioni, ci si è limitati alla verifica di tipo 1. Resta comunque aperta la possibilità di approfondire tale studio nel tempo sviluppando anche le altre due tipologie, nel caso si ritenesse necessario.

In questo caso specifico, l'analisi **LV1** è stata sviluppata sia secondo **linee guida** che con **verifica a pressoflessione**.

personally collected and evaluated by the person carrying out the analysis (visual query, reading of constructive characters, critical and stratigraphic survey). It is a model of rather simple application, which can be useful for the evaluation of seismic safety to be carried out on a territorial scale on all protected cultural assets.

If more accurate assessments of individual artifacts are required, the tools to be adopted are those defined for the design of repair and improvement interventions, according to the levels of verification called **LV2** (*Repair and local intervention*) and **LV3** (*Improvement intervention*). In our case, in which the objective is to obtain a general picture of the response to any solicitations, we have limited ourselves to the type 1 verification. However, the possibility of deepening this study over time remains open, also developing the other two types, should it be deemed necessary.

In this specific case, the LV1 analysis was developed both **according to guidelines** and with **pressure-bending verification**.

VERIFICA SECONDO LINEE GUIDA NORMATIVA

1. Determinazione della pericolosità sismica del sito

L'azione sismica in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definisce a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, definita in termini di: accelerazione orizzontale massima attesa **ag** su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A) e di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente **Se(T)**, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza **PVR** nel periodo di riferimento **Vr**.

In particolare, secondo *NTC2018*, l'azione sismica di riferimento rispetto ad un determinato stato limite **SL** (**SL** = **SLV**, **SLD**, **SLA**) è caratterizzata dal tempo di ritorno del sisma **TR,SL**, ovvero dalla tripletta di valori (**ag**, **F0**, **TC***) che caratterizzano lo spettro elastico su suolo rigido (**tipologia A**), rispettivamente definiti come:

- **ag** : l'accelerazione orizzontale massima al sito;
- **F0** : fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;
- **TC*** : periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro;

VERIFICATION ACCORDING TO REGULATORY GUIDELINES

1. Determination of the seismic hazard of the site

The seismic action on the basis of which to assess compliance with the various limit states considered, is defined starting from the "basic seismic hazard" of the construction site, defined in terms of: maximum horizontal acceleration **ag** on a rigid reference site with surface horizontal topographic (category A) and ordinates of the elastic acceleration response spectrum corresponding to it **Se(T)**, with reference to predetermined probability of excess **PVR** in the reference period **Vr**.

In particular, according to *NTC2018*, the reference seismic action with respect to a certain limit state **SL** (**SL** = **SLV**, **SLD**, **SLA**) is characterized by the return time of the earthquake **TR, SL**, or by the triplet of values (**ag**, **F0**, **TC***) that characterize the elastic spectrum on rigid soil (**type A**), respectively defined as:

- **ag**: the maximum horizontal acceleration at the site;
- **F0**: factor that quantifies the maximum spectral amplification, on a rigid horizontal reference site, and has a minimum value of 2.2;
- **TC***: period corresponding to the beginning of the constant speed stretch of the spectrum;

Il periodo di riferimento V_r è valutato come prodotto del coefficiente d'uso C_U (dipendente dalla Classe d'Uso) e della Vita Nominale V_N .

The reference period V_r is evaluated as the product of the coefficient of use C_U (depending on the Class of Use) and the Nominal Life V_N .

Nel caso specifico della Torre dei Gambulini i parametri descrittivi del sito di costruzione da considerare sono i seguenti:

In the specific case of the Gambulini Tower, the descriptive parameters of the construction site to be considered are the following:

COORDINATE GEOGRAFICHE: Lat. 45.158 - Lon. 10,799

GEOGRAPHICAL COORDINATES: Lat. 45.158 - Lon. 10,799

CLASSE D'USO C_u : Edificio di classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti_ $C_u=1$

CLASS OF USE C_u : Class II building: Buildings whose use involves normal crowding_ $C_u = 1$

VITA NOMINALE V_n : Per edificio di categoria 2: Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale_ $V_n=50$ anni

NOMINAL LIFE V_n : For category 2 building: Ordinary works, bridges, infrastructural works and dams of limited size or of normal importance_ $V_n = 50$ years

PERIODO DI RITORNO T_r : SLD_50 anni | SLV_475 anni

RETURN PERIOD T_r : SLD_50 years | SLV_475 years

Dall'Allegato B alle Norme Tecniche delle Costruzioni si ottengono i valori associati alle coordinate geografiche più vicine a quelle del sito in oggetto: Lat. 45.155 - Lon. 10.798

From Annex B to the Technical Construction Standards, the values associated with the geographic coordinates closest to those of the site in question are obtained: Lat. 45.155 - Lon. 10.798

ID	LON	LAT	$T_R=30$			$T_R=50$			$T_R=72$			$T_R=101$		
			a_g	F_o	T_c^*	a_g	F_o	T_c^*	a_g	F_o	T_c^*	a_g	F_o	T_c^*
13837	10.798	45.155	0.332	2.53	0.22	0.392	2.58	0.26	0.446	2.55	0.28	0.512	2.54	0.28

$T_R=140$			$T_R=201$			$T_R=475$			$T_R=975$			$T_R=2475$		
a_g	F_o	T_c^*	a_g	F_o	T_c^*									
0.584	2.54	0.29	0.666	2.56	0.29	0.905	2.55	0.31	1.150	2.57	0.31	1.561	2.53	0.32

Dai dati sopra elencati si possono ricavare i valori utili sopra descritti di A_g, F_o, T_c , sia nel caso di SLD che di SLV e di V_r :

From the data listed above it is possible to obtain the useful values described above for A_g, F_o, T_c , both in the case of SLD, SLV and V_r :

	T_r	A_g	F_o	T_c^*
SLD	50 anni	0.039	2.58	0.26
SLV	275 anni	0.0905	2.55	0.31
$V_r=V_n \times C_u$		V_n	C_u	V_r
		50	1	50

2. Definizione delle proprietà meccaniche dei materiali

In accordo con la normativa NTC2018 § 4.5.6.1, le resistenze di progetto da impiegare per le verifiche a compressione, pressoflessione e carichi concentrati (f_d) sono pari a:

$$f_d = f_k / \gamma_M$$

Dove:

f_k = resistenza caratteristica a compressione della muratura (per le nuove costruzioni)

γ_M = coefficiente parziale di sicurezza sulla resistenza a compressione della muratura, comprensivo delle incertezze di modello e di geometria.

Nel caso di murature storiche, i valori di partenza delle caratteristiche meccaniche sono definiti secondo la *Circolare applicativa (CIRC2019)*, utilizzando gli intervalli riportati nelle Tabelle C8A.2.1 e C8A.2.2 della Appendice al capitolo C8 e applicando un **Fattore di Confidenza** definito dalle *LG2011 (Linee Guida per i Beni Culturali, 2011)* al capitolo 4.

Il coefficiente parziale di sicurezza γ_M da utilizzare per il progetto sismico di strutture in muratura è posto pari a 2 in accordo con le *NTC2018 § 7.8.1.1*.

2. Definition of the mechanical properties of materials

In accordance with the NTC2018 § 4.5.6.1 standard, the design resistances to be used for compression, pressure bending and concentrated loads (f_d) checks are equal to:

$$f_d = f_k / \gamma_M$$

Where is it:

f_k = characteristic compressive strength of the masonry (for new buildings)

γ_M = partial safety factor on the compressive strength of the masonry, including model and geometry uncertainties.

In the case of historical masonry, the starting values of the mechanical characteristics are defined according to the *Application Circular (CIRC2019)*, using the intervals reported in Tables C8A.2.1 and C8A.2.2 of the Appendix to chapter C8 and applying a **Confidence Factor** defined by *LG2011 (Guidelines for Cultural Heritage, 2011)* in chapter 4.

The partial safety factor γ_M to be used for the seismic design of masonry structures is set equal to 2 in accordance with *NTC2018 § 7.8.1.1*.

Nel caso in esame verrà eseguita un'analisi dinamica modale con coefficiente di struttura e dunque, in accordo con la *CIRC2019* § C8.7.1.5, le resistenze di progetto sono espresse come:

$$fd = fm / FC \cdot \gamma M$$

$$\tau d = \tau 0 / FC \cdot \gamma M$$

Dove:

fm = resistenza media a compressione della muratura

FC = fattore di confidenza derivante da numero ed estensione delle indagini e verifiche in situ

γM = coefficiente parziale di sicurezza sulla resistenza a compressione della muratura.

In accordo con la *CIRC2019* § C8A.1.A, trattandosi di una verifica di tipo empirico, la conoscenza della costruzione in muratura oggetto di indagine è di fondamentale importanza ai fini del raggiungimento di un'analisi il più possibile verosimile. Essa può infatti essere conseguita con diversi livelli di approfondimento, in funzione dell'accuratezza delle operazioni di rilievo, dell'analisi storica e delle indagini sperimentali eseguite.

In the case in question, a modal dynamic analysis with structure coefficient will be performed and therefore, in accordance with *CIRC2019* § C8.7.1.5, the design resistances are expressed as:

$$fd = fm / FC \cdot \gamma M$$

$$\tau d = \tau 0 / FC \cdot \gamma M$$

Where is it:

fm = average compressive strength of the masonry

FC = confidence factor deriving from the number and extent of investigations and on-site checks

γM = partial safety factor on the compressive strength of the masonry.

In accordance with *CIRC2019* § C8A.1.A, since this is an empirical verification, knowledge of the masonry construction under investigation is of fundamental importance in order to achieve an analysis that is as likely as possible. It can in fact be achieved with different levels of in-depth analysis, depending on the accuracy of the survey operations, historical analysis and experimental investigations performed.

I parametri meccanici minimi e massimi suggeriti dalla CIRC2019 § Tabella C8A.2.1 sono i seguenti:

f_m [MPa]	τ_0 [MPa]	E [GPa]	G [Gpa]	ν [kN/m ³]
2.4	0.06	1.2	0.4	18
4	0.092	1.8	0.6	18

Nel caso delle murature storiche, i valori indicati nella Tabella C8A.2.1 sono da riferirsi a condizioni di muratura con malta di scadenti caratteristiche e giunti non particolarmente sottili. Inoltre, si assume che, per le murature storiche, queste siano a paramenti scollegati, ovvero manchino sistematici elementi di connessione trasversale (o di ammorsamento per ingranamento tra i paramenti murari).

Vengono dunque definiti i parametri meccanici, adottando le resistenze medie e il modulo elastico individuato sperimentalmente attraverso identificazione dinamica.

$$fd = fm / FC \cdot \gamma M = (2.4 + 4.0) / 2 / FC \cdot 2 = 3.2 / FC \cdot 2$$

$$\tau d = \tau_0 / FC \cdot \gamma M = (0.06 + 0.092) / 2 / FC \cdot 2 = 0.076 / FC \cdot 2$$

In accordo con le LG2011 § 4.2, in relazione all'approfondimento del rilievo geometrico e delle indagini materico-costruttiva, meccanica e sul terreno e le fondazioni, viene assunto dal progettista un fattore di confidenza F_c , compreso tra 1 e 1.35, che consente di graduare l'attendibilità del

The minimum and maximum mechanical parameters suggested by CIRC2019 § Table C8A.2.1 are the following:

In the case of historical masonry, the values indicated in Table C8A.2.1 are to be referred to masonry conditions with poorly-performing mortar and joints that are not particularly thin. Furthermore, it is assumed that, for historic walls, these are with disconnected faces, or systematic elements of transversal connection (or clamping by meshing between the wall faces) are missing.

The mechanical parameters are therefore defined, adopting the average resistances and the elastic modulus identified experimentally through dynamic identification.

$$fd = fm / FC \cdot \gamma M = (2.4 + 4.0) / 2 / FC \cdot 2 = 3.2 / FC \cdot 2$$

$$\tau d = \tau_0 / FC \cdot \gamma M = (0.06 + 0.092) / 2 / FC \cdot 2 = 0.076 / FC \cdot 2$$

In accordance with LG 2011 § 4.2, in relation to the deepening of the geometric survey and the material-constructive, mechanical and ground and foundations investigations, the designer assumes a confidence factor F_c , between 1 and 1.35, which allows to grading the reliability of the structural

modello di analisi strutturale e tenere conto nella valutazione dell'indice di sicurezza sismica (o della vita nominale).

analysis model and taking it into account in the evaluation of the seismic safety index (or nominal life).

Il valore F_c deve essere come di seguito calcolato:

The F_c value must be calculated as follows:

Rilievo geometrico	rilievo geometrico completo	$F_{C1} = 0.05$
	rilievo geometrico completo, con restituzione grafica dei quadri fessurativi e deformativi	$F_{C1} = 0$
Identificazione delle specificità storiche e costruttive della fabbrica	restituzione ipotetica delle fasi costruttive basata su un limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche)	$F_{C2} = 0.12$
	restituzione parziale delle fasi costruttive e interpretazione del comportamento strutturale fondate su: a) limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione e alla verifica delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche, verifica diagnostica delle ipotesi storiografiche); b) esteso rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche)	$F_{C2} = 0.06$
	restituzione completa delle fasi costruttive e interpretazione del comportamento strutturale fondate su un esaustivo rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche, eventuali indagini diagnostiche)	$F_{C2} = 0$
Proprietà meccaniche dei materiali	parametri meccanici desunti da dati già disponibili	$F_{C3} = 0.12$
	limitate indagini sui parametri meccanici dei materiali	$F_{C3} = 0.06$
	estese indagini sui parametri meccanici dei materiali	$F_{C3} = 0$
Terreno e fondazioni	limitate indagini sul terreno e le fondazioni, in assenza di dati geotecnici e disponibilità d'informazioni sulle fondazioni	$F_{C4} = 0.06$
	disponibilità di dati geotecnici e sulle strutture fondazionali; limitate indagini sul terreno e le fondazioni	$F_{C4} = 0.03$
	estese o esaustive indagini sul terreno e le fondazioni	$F_{C4} = 0$

$$F_c = 1 + \sum F_{ck}$$

$$F_c = 1 + \sum F_{ck}$$

Andando a scegliere dalla tabella di riferimento i valori che meglio descrivono il grado di approfondimento delle indagini eseguite:

Selecting from the reference table the values that best describe the degree of depth of the investigations carried out:

Nel nostro caso specifico il fattore di confidenza è stato così calcolato:

In our specific case, the confidence factor was calculated as follows:

Considerando:

Considering:

$$F_{c1} = 0$$

$$F_{c1} = 0$$

$$F_{c2} = 0$$

$$F_{c2} = 0$$

$$F_{c3} = 0.06$$

$$F_{c3} = 0.06$$

$$F_{c4} = 0$$

$$F_{c4} = 0$$

Si ricava:

$$F_c = 1 + (0 + 0 + 0.06 + 0) = 1.06$$

Determinando una resistenza di progetto pari a:

$$fd = fm / F_c \cdot \gamma M = 3.2 / 1.06 \cdot 2 = 1.51$$

$$\tau d = \tau_0 / F_c \cdot \gamma M = 0.076 / 1.06 \cdot 2 = 0.036$$

3. Calcolo del momento ultimo resistente

In accordo con le *LG2011* § 5.4.4, nel caso di una torre rettangolare a sezione cava il momento ultimo resistente alla base può essere calcolato come:

$$Mu = \sigma_0 \cdot Ab / 2 \cdot (bb - \sigma_0 \cdot Ab / 0.85 \cdot ab \cdot fd)$$

Dove:

ab è il lato perpendicolare alla direzione dell'azione assiale sismica considerata della sezione di base, depurato delle eventuali aperture;

bb è il lato parallelo alla direzione dell'azione sismica considerata della sezione di base;

We get:

$$F_c = 1 + (0 + 0 + 0.06 + 0) = 1.06$$

By determining a design resistance equal to:

$$fd = fm / F_c \cdot \gamma M = 3.2 / 1.06 \cdot 2 = 1.51$$

$$\tau d = \tau_0 / F_c \cdot \gamma M = 0.076 / 1.06 \cdot 2 = 0.036$$

3. Calculation of the last resisting moment

In accordance with *LG 2011* § 5.4.4, in the case of a rectangular tower with a hollow section, the ultimate resisting moment at the base can be calculated as:

$$Mu = \sigma_0 \cdot Ab / 2 \cdot (bb - \sigma_0 \cdot Ab / 0.85 \cdot ab \cdot fd)$$

Where is it:

ab is the side perpendicular to the direction of the seismic axial action considered of the base section, without any openings;

bb is the side parallel to the direction of the seismic action considered of the base section;

Ab is the total area of the base section

A_b è l'area totale della sezione di base depurata delle aperture presenti;

σ_0 è la tensione normale media nella sezione di base;

f_d è la resistenza a compressione di calcolo della muratura.

Nella verifica del calcolo deve essere rispettato il limite sulla tensione normale:

$$0.85 f_d = 1.21 \text{ MPa} > \sigma_{base} = 0.71 \text{ MPa}$$

I valori dai quali dipende il momento ultimo resistente vengono sintetizzati di seguito:

σ_0 [Mpa]	628.6
W [kN]	32314
A_b [m ²]	51.41
lato a [m]	7.5
lato b [m]	7.5
f_d [Mpa]	1.51
$M_{u,i}$ [kNm]	66920

Da cui:

$$M_u = 628.6 \cdot 51.41 / 2 \cdot (7.5 - 628.6 \cdot 51.41 / 0.85 \cdot 7.5 \cdot 1509.4) = 66920 \text{ kNm}$$

4. Stima delle azioni sismiche

Per strutture di questa tipologia le *NTC2018* consentono di fare riferimento al collasso per pressoflessione, considerando la torre come una mensola sollecitata da un sistema

purified of the openings present;

σ_0 is the average normal stress in the base section;

f_d is the calculated compressive strength of the masonry.

When checking the calculation, the limit on normal voltage must be respected:

$$0.85 f_d = 1.21 \text{ MPa} > \sigma_{base} = 0.71 \text{ MPa}$$

The values on which the last resisting moment depends are summarized below:

σ_0 [Mpa]	628.6
W [kN]	32314
A_b [m ²]	51.41
lato a [m]	7.5
lato b [m]	7.5
f_d [Mpa]	1.51
$M_{u,i}$ [kNm]	66920

From which:

$$M_u = 628.6 \cdot 51.41 / 2 \cdot (7.5 - 628.6 \cdot 51.41 / 0.85 \cdot 7.5 \cdot 1509.4) = 66920 \text{ kNm}$$

4. Estimation of seismic actions

For structures of this type, the *NTC2018* allow reference to collapse by pressure bending, considering the tower as a shelf stressed by a system of horizontal forces generated by

di forze orizzontali generate dal sisma, oltre che dal proprio peso, che può andare in crisi in una generica sezione per schiacciamento nella zona compressa, a seguito della parzializzazione dovuta alla non resistenza a trazione.

La verifica a pressoflessione viene, quindi, eseguita confrontando il momento agente di calcolo con il momento ultimo resistente calcolato assumendo la muratura non resistente a trazione ed una distribuzione delle compressioni secondo uno schema stress-block calcolato a diverse altezze. Per fare questo è necessario suddividere la struttura in porzioni il più possibile geometricamente omogenee tra loro e di ognuna calcolare le azioni sismiche interne.

Al fine di determinare lo schema di carico per il calcolo allo Stato Limite di Danno (**SLD**) e allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (**SLV**), delle sollecitazioni nelle direzioni x e y (che nel nostro caso, considerando un edificio a base quadrata, saranno uguali), l'azione sismica viene modellata al pari di una forza sismica equivalente **F_h**.

Secondo quanto riportato della Normativa Italiana, il valore di **F_h** è definito come:

$$F_h = S_d(T) \cdot W \cdot \lambda / g$$

In **SLD**: $F_h = 0.094 \cdot 32314 \cdot 1 / 9.81 = 3034 \text{ kN}$

In **SLV**: $F_h = 0.087 \cdot 32314 \cdot 1 / 9.81 = 2796 \text{ kN}$

the earthquake, as well as by its own weight, which can fail in a generic section due to crushing. in the compressed area, following the partialization due to the non-tensile strength.

The bending test is then performed by comparing the calculation agent moment with the ultimate resisting moment calculated assuming the non-tensile strength masonry and a distribution of compressions according to a stress-block scheme calculated at different heights. To do this it is necessary to divide the structure into portions as geometrically homogeneous as possible and calculate the internal seismic actions of each.

In order to determine the load scheme for calculating the Damage Limit State (**SLD**) and the Life Safeguarding Limit State (**SLV**), the stresses in the x and y directions (which in our case, considering a square-based building, will be equal), the seismic action is modeled as an equivalent seismic force **F_h**.

According to the Italian legislation, the value of **F_h** is defined as:

$$F_h = S_d(T) \cdot W \cdot \lambda / g$$

In **SLD**: $F_h = 0.094 \cdot 32314 \cdot 1 / 9.81 = 3034 \text{ kN}$

In **SLV**: $F_h = 0.087 \cdot 32314 \cdot 1 / 9.81 = 2796 \text{ kN}$

In cui:

$S_d(T)$ = ordinata dello Spettro di Risposta di Progetto

W = peso totale dell'edificio

λ = coefficiente che dipende dal numero di orizzontamenti e al Periodo Fondamentale

g = accelerazione di gravità.

	$S_d(T)$	W
SLD	0.094	32314
SLV	0.087	32314

Sulla base delle caratteristiche geometriche e materiche della Torre è stato possibile calcolare i valori approssimati delle masse W_i relative a ciascun livello i considerato, risultato della somma delle masse delle murature perimetrali immediatamente superiori ed inferiori al livello stesso considerate per metà delle loro altezze tra un livello e l'altro. Avendo appurato che la torre presenta una buona omogeneità geometrica e materica si è stabilito di suddividerne l'altezza in 5 porzioni pressochè identiche.

H	36.6	V tot	1830
B medio	7.5	M tot	3294000
b	2.5	W tot	32314140
Ps	1800	V aperture	0
N° solai	0	A muro	50
hS	0.3	V solai	0
g	9.81	Vm1	365
λ	1	Vm2	365
		Vm3	365
		Vm4	365
		Vm5	370
h0	0		1830
h1	7.3		
h2	14.6		
h3	21.9		
h4	29.2		
h5	36.6		

In which:

$S_d(T)$ = ordinate of the Design Response Spectrum

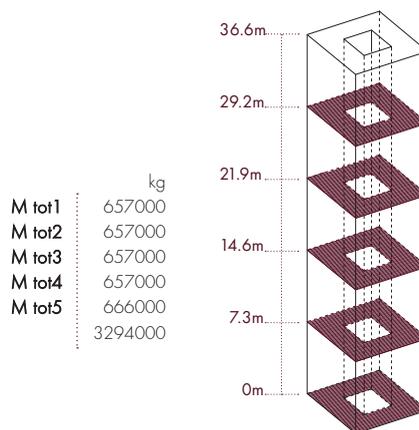
W = total weight of the building

λ = coefficient that depends on the number of horizontals and on the Fundamental Period

g = acceleration of gravity.

	λ	g	Fh
	1	9.81	3034
	1	9.81	2796

On the basis of the geometric and material characteristics of the Tower, it was possible to calculate the approximate values of the masses W_i relating to each level i considered, resulting from the sum of the masses of the perimeter walls immediately above and below the level itself considered for half of their heights between one level and the other. Having ascertained that the tower has good geometric and material homogeneity, it was decided to divide its height into 5 almost identical portions.



NB: Si tratta di calcoli basati sull'approssimazione critica del rilevatore. Ad esempio, in questo caso:

-Non è stata considerata la presenza di bucatore, perché percentuale esigua rispetto alla totalità della struttura

-Non sono stati considerati i solai, perché percentuale esigua della massa totale della struttura (si è verificato non trattarsi di solai di muratura piena)

-Il lato della sezione si è considerato pari a 7.5, media del lato alla base (7.7) e di quello alla sommità (7.3).

-Non sono stati considerati gli edifici posti in adiacenza nel calcolo dell'altezza effettivamente vulnerabile.

-In conseguenza alle ragioni esposte sopra, non avendo particolari differenziazioni da tenere in considerazione, le sezioni considerate sono state scelte in modo da risultare geometricamente simili tra loro.

La Forza Sismica Equivalente, per lo Stato Limite considerato e nelle due direzioni x e y, è ripartita linearmente lungo tutta l'altezza dell'edificio in tante forze **F_i**. Più precisamente, per ciascuna massa della costruzione collocata al piano **i-esimo**, la forza sismica applicata è pari a:

$$F_i = F_h \cdot Z_i \cdot W_i / \sum Z_j \cdot W_j$$

Dove:

F_h = forza sismica equivalente precedentemente definita;

Z_i = quota al piano i-esimo

W_i = carico corrispondente al medesimo piano.

NB: These are calculations based on the critical approximation of the detector. For example, in this case:

- The presence of openings was not considered, because a small percentage compared to the totality of the structure

- The floors were not considered, because a small percentage of the total mass of the structure (it was verified that they are not full masonry floors)

-The side of the section was considered equal to 7.5, the average of the side at the base (7.7) and that at the top (7.3).

-The adjacent buildings were not considered in the calculation of the actually vulnerable height.

-As a consequence of the reasons explained above, not having particular differentiations to take into consideration, the sections considered have been chosen in such a way as to be geometrically similar to each other.

The Equivalent Seismic Force, for the Limit State considered and in the two x and y directions, is distributed linearly along the entire height of the building in many forces **F_i**. More precisely, for each mass of the building located on the **i-th** floor, the seismic force applied is equal to:

$$F_i = F_h \cdot Z_i \cdot W_i / \sum Z_j \cdot W_j$$

Where is it:

F_h = equivalent seismic force previously defined;

Z_i = share on the i-th floor

W_i = load corresponding to the same floor.

Al fine di definire le forze da applicare a ciascuna massa della costruzione è opportuno definire i coefficienti di ripartizione P_i che stabiliscono le frazioni della forza F_h agenti sulle masse della costruzione alle diverse quote.

$$P_i = Z_i \cdot W_i / \sum Z_j \cdot W_j$$

Livello i	Zi (m)	Wi (kN)	ZiWi	Pi
1	7.3	6445	47050	0.08
2	14.6	6445	94099	0.16
3	21.9	6445	141149	0.24
4	29.2	6533	190777	0.32
5	36.6	3267	119562	0.20
$\sum W_i \times Z_i$			592638	1.00

Grazie ai valori P_i trovati è stato possibile calcolare i valori di F_i ai vari livelli considerati, rispettivamente allo **SLD** e allo **SLV**.

$$F_i = F_h \times P_i$$

	Fi 1	Fi2	Fi3	Fi4	Fi5
SLD	241	482	723	977	612
SLV	222	444	666	900	564

5. Valutazione dell'indice di sicurezza sismica $I_{s,SLV}$ e del fattore di accelerazione $f_{a,SLV}$

A partire dal valore dell'ordinata dello spettro elastico $S_{e,SLV}$ che porta al raggiungimento dello stato limite il campanile (ovvero il valore minimo tra quelli determinati in tutte le sezioni del campanile $S_{e,SLV,i}$) si utilizza una procedura iterativa per determinare il tempo di ritorno $T_{,SLV}$ del sisma il cui spettro assume tale valore in corrispondenza del periodo

In order to define the forces to be applied to each mass of the construction, it is appropriate to define the partition coefficients P_i which establish the fractions of the force F_h acting on the masses of the construction at different heights.

$$P_i = Z_i \cdot W_i / \sum Z_j \cdot W_j$$

Thanks to the P_i values found, it was possible to calculate the F_i values at the various levels considered, respectively at the **SLD** and **SLV**.

$$F_i = F_h \times P_i$$

5. Evaluation of the seismic safety index $I_{s,SLV}$ and the acceleration factor $f_{a,SLV}$

An iterative procedure is used to determine the return time $T_{,SLV}$ of the earthquake whose spectrum assumes this value in correspondence with the period T_1 of the structure. Once the return time corresponding to the value of $S_{e,SLV}$ and the relative parameters a_g , F_0 and TC^* have been identified, all the elements are available to

T_1 della struttura. Individuato il tempo di ritorno corrispondente al valore di Se,SLV ed i relativi parametri ag, F_0 e TC^* , si hanno tutti gli elementi per calcolare il valore dell'indice di sicurezza sismica **IS,SLV** e del fattore di accelerazione **fa,SLV**, rispettivamente come:

$$I_{s, SLV} = T_{r, SLV} / T_{R, SLV}$$

Rapporto tra il tempo di ritorno TSLV appena calcolato e quello corrispondente allo stato limite di salvaguardia della vita ($T_{R,SLV} = 475$ anni nell'ipotesi di assumere $VR = 50$ anni)

$$F_{a, SLV} = a_{, SLV} / A_{g, SLV}$$

Rapporto fra aSLV appena calcolata e quella caratteristica del sito, corrispondente allo stato limite di salvaguardia della vita ($A_g=0.89$ nell'ipotesi di assumere $VR = 50$ anni)

Considerando:

$$Se,SLV = (q \cdot g \cdot M_u \cdot \sum W_j \cdot Z_j) / (0.85 \cdot W \cdot (\sum (W_j \cdot Z_j)^2 - (z \cdot \sum W_j \cdot Z_j)) \cdot F_c)$$

$$a_{,SLV} = Se,SLV \cdot T_1 / (S \cdot F_0 \cdot T_c)$$

Dallo sviluppo del calcolo otteniamo il valore $Se, SLV= 2.54$, sulla base del quale andare a cercare uno spettro Se pari a quello calcolato, facendo variare i valori di T_r . Tramite questo processo iterativo si è individuato il valore cercato di $T_{r,SLV}= 2475$

calculate the value of the seismic safety index **IS, SLV** and the acceleration factor **fa, SLV**, respectively as:

$$I_{s, SLV} = T_{r, SLV} / T_{R, SLV}$$

Ratio between the TSLV return time just calculated and that corresponding to the life-saving limit state ($T_{R, SLV} = 475$ years in the hypothesis of assuming $VR = 50$ years)

$$F_{a, SLV} = a_{, SLV} / A_{g, SLV}$$

Ratio between aSLV just calculated and that characteristic of the site, corresponding to the life-saving limit state ($A_g = 0.89$ in the hypothesis of assuming $VR = 50$ years)

Considering:

$$I_{f, SLV} = (q \cdot g \cdot M_u \cdot \sum W_j \cdot Z_j) / (0.85 \cdot W \cdot (\sum (W_j \cdot Z_j)^2 - (z \cdot \sum W_j \cdot Z_j)) \cdot F_c)$$

$$a_{, SLV} = Se, SLV \cdot T_1 / (S \cdot F_0 \cdot T_c)$$

From the development of the calculation we obtain the value $Se, SLV = 2.54$, on the basis of which to search for a spectrum Se equal to the one calculated, by varying the values of T_r . Through this iterative process, the sought value of $T_{r, SLV} = 2475$ years was identified.

anni.

Da cui:

$$I_{s,SLV} = 2475 / 475 = 5.22$$

$$A_{g,SLV} = 2.2 / 0.89 = 2.47$$

q	2.8		
g	9.81		
Mu	66920		
$\Sigma W_j Z_j$	592638		
W	32314	T1	0.6844
$\Sigma (W_j Z_j)^2$	14755154	S	1
z	0	F0	2.55
Fc	1.06	Tc	0.31
Se,SLV	2.54	aSLV	2.20
Tr,SLV	2475	ag,SLV	0.89
I_s,SLV	5.22	fa,SLV	2.47

Un valore dell'indice di sicurezza sismica maggiore di 1 indica che il manufatto è idoneo a sopportare l'azione sismica di riferimento del sito rispetto ai valori assunti come riferimento per la vita nominale e per quel particolare uso.

Il valore $I_{s,SLV}$ calcolato è pari a $5.22 > 1$, dunque la struttura risulta verificata.

Per quanto riguarda il fattore di accelerazione, esso fornisce un'indicazione quantitativa del deficit in termini di "resistenza" (tenendo eventualmente conto anche della duttilità). La valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici richiede il calcolo del fattore di accelerazione fa_{SLV} e distingue 3 fasce di vulnerabilità in base al valore di tale fattore: bassa se $fa_{SLV} > 0.5$, media se $0.3 < fa_{SLV} < 0.5$, alta se $fa_{SLV} < 0.3$.

From which:

$$I_{s,SLV} = 2475 / 475 = 5.22$$

$$A_{g,SLV} = 2.2 / 0.89 = 2.47$$

A seismic safety index value greater than 1 indicates that the building is suitable for withstanding the reference seismic action of the site with respect to the values assumed as a reference for the nominal life and for that particular use.

The calculated value $I_{s,SLV}$ is equal to $5.22 > 1$, therefore the structure is verified.

As for the acceleration factor, it provides a quantitative indication of the deficit in terms of "resistance" (possibly also taking into account the ductility). The assessment of the seismic vulnerability of buildings requires the calculation of the acceleration factor fa_{SLV} and distinguishes 3 vulnerability bands based on the value of this factor: low if $fa_{SLV} > 0.5$, medium if $0.3 < fa_{SLV} < 0.5$, high if $fa_{SLV} < 0.3$.

Il valore f_a , SLV calcolato è pari a $2.47 > 0.5$, dunque anche per questo parametro la struttura risulta verificata.

The value f_a , calculated SLV is equal to $2.47 > 0.5$, therefore also for this parameter the structure is verified.

VERIFICA A PRESSO-FLESSIONE

Descrizione generale del processo

Operazioni preliminari alla realizzazione dell'analisi di vulnerabilità sismica tramite valutazione di livello I sono state lo studio esaustivo del manufatto, sia tramite rilievo diretto che tramite indagine storica, che hanno permesso di individuare già preventivamente eventuali vulnerabilità della struttura, sia la definizione delle caratteristiche del sito, indispensabili a determinare gli effettivi fattori di rischio per l'edificio.

Lo studio della Torre è stato esaustivamente esposto ai capitoli precedenti. Qui di seguito si riportano dunque i passaggi successivi, a partire dall'analisi delle caratteristiche del sito che hanno permesso di identificare il valore dell'accelerazione attesa (**ag**) e conseguentemente, una volta identificati gli stati limite definiti dalla normativa (**SLO, SLD, SLV, SLC**), di definire uno spettro di rischio sismico per il territorio in oggetto, con la definizione di diversi valori di accelerazione al suolo corrispondenti a diversi periodi di ritorno.

Al fine di determinare la risposta dell'edificio alle eventuali azioni sismiche, si è definito un modello geometrico semplificato

CHECK BY PRESS-FLEXION

General description of the process

Preliminary operations for carrying out the seismic vulnerability analysis through level I assessment were the exhaustive study of the building, both through direct survey and through historical investigation, which made it possible to identify in advance any vulnerabilities of the structure, and the definition of the characteristics of the site, essential to determine the actual risk factors for the building.

The study of the Tower has been exhaustively exposed in the previous chapters. Therefore, the following steps are reported below, starting from the analysis of the characteristics of the site that made it possible to identify the value of the expected acceleration (**ag**) and consequently, once the limit states defined by the legislation (**SLO, SLD, SLV, SLC**), to define a spectrum of seismic risk for the territory in question, with the definition of different ground acceleration values corresponding to different return periods.

In order to determine the response of the building to any seismic actions, a simplified geometric model was defined that is representative of the structure, attributable in

rappresentativo della struttura, riconducibile per geometria e risposta meccanica a quello di un'asta incastrata nel terreno (il cosiddetto "modello a mensola").

La caratterizzazione del sito ha richiesto la ricerca della classe del suolo, indispensabile alla determinazione dello spettro di risposta elastico e, per l'edificio, la stima del periodo fondamentale T_n , mediante i quali è stato possibile valutare i massimi valori in termini di spostamento, velocità e accelerazione che il modello, previo dato smorzamento, subirebbe in seguito ad un evento sismico definito dagli stati limite.

Proprio in riferimento a questi ultimi sono stati determinati due diversi spettri di risposta: il primo di tipo elastico, per lo stato limite di danno (SLD, TR=50 anni); il secondo di tipo anelastico, per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV, TR=475 anni). Noto il periodo fondamentale T_n dagli spettri di risposta si è ricavato il valore dell'ordinata spettrale $S_e(T)$ e, conseguentemente, le forze inerziali agenti sull'edificio.

Riprendendo il modello geometrico semplificato definito precedentemente (asta incastrata ad un'estremità), sono state calcolate le azioni interne (N , T , M) e conseguentemente, una volta note le caratteristiche meccaniche della muratura (valore di tensione di snervamento per muratura in mattoni e malta di calce indicata nella *Circolare NTC 2019*), si è proceduto con la verifica delle sezioni sollecitate

terms of geometry and mechanical response to that of a rod embedded in the ground (the so-called "shelf model").

The characterization of the site required the research of the soil class, essential for the determination of the elastic response spectrum and, for the building, the estimate of the fundamental period T_n , through which it was possible to evaluate the maximum values in terms of displacement, speed and acceleration that the model, after given damping, would undergo following a seismic event defined by the limit states.

Two different response spectra have been determined precisely with reference to the latter: the first of the elastic type, for the limit state of damage (SLD, TR = 50 years); the second of the inelastic type, for the life-saving limit state (SLV, TR = 475 years). Once the fundamental period T_n is known, from the response spectra, the value of the spectral ordinate $S_e(T)$ and, consequently, the inertial forces acting on the building have been obtained.

Using the simplified geometric model defined previously (rod wedged at one end), the internal actions (N , T , M) were calculated and consequently, once the mechanical characteristics of the masonry were known (yield stress value for brick masonry and lime mortar indicated in the *Circular NTC 2019*), we proceeded with the verification of the solicited sections through the interaction domain M-N through simulation with

mediante dominio di interazione M-N tramite simulazione con software *VCASLU*. Il programma consente di effettuare una simulazione a regime statico degli effetti di eventuali azioni sismiche sulla struttura in esame, tenendo conto della geometria della sezione, delle caratteristiche del materiale e delle azioni interne risultanti.

1. Determinazione della pericolosità sismica del sito

2. Definizione dello spettro di risposta elastico

Nel caso della Torre dei Gambulini, il valore del periodo di vibrazione della Torre è assunto pari a 0,68 secondi, calcolato tramite la formula empirica del periodo fondamentale $T=0,0187 \cdot H$ riservata alle torri storiche in muratura, in cui si è considerata un'altezza pari a 36.6m (pari all'altezza dell'ultimo solaio).

La Torre è collocata nel centro storico della città di Mantova, territorio che ricade nella categoria di sottosuolo C: "*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti*". Da questo dipenderanno le formule utilizzate per calcolare i valori di **S_s** (Coefficiente di amplificazione Stratigrafica) e **C_c** (Coefficiente che modifica il periodo T_c) che si assumono pari a :

VCASLU software. The program allows to carry out a static regime simulation of the effects of any seismic actions on the structure under examination, taking into account the geometry of the section, the characteristics of the material and the resulting internal actions.

1. Determination of the seismic site danger

2. Definition of the elastic response spectrum

In the case of the Gambulini Tower, the value of the vibration period of the Tower is assumed to be 0.68 seconds, calculated using the empirical formula of the fundamental period $T = 0.0187 \cdot H$ reserved for historic masonry towers, in which considered a height of 36.6m (equal to the height of the last floor).

The Tower, as mentioned, is located in the historic center of the city of Mantua, an area that falls into the subsoil category C: "*Deposits of medium-thickened coarse-grained soils or medium-consistent fine-grained soils*". The formulas used to calculate the values of **S_s** (Stratigraphic amplification coefficient) and **C_c** (Coefficient that modifies the period T_c) will depend on this, which are assumed to be equal to:

In SLD:

$$S_s = 1.7 - (0.6 \cdot F_o \cdot (A_g / g)) = 1.7 - (0.6 \cdot 2.58 \cdot 0.39) = 1.64 \leq 1.5$$

$$C_c = 1.05 \cdot (T_c)^{-0.33} = 1.05 \cdot (0.26)^{-0.33} = 1.64$$

In SLV:

$$S_s = 1.7 - (0.6 \cdot F_o \cdot (A_g / g)) = 1.7 - (0.6 \cdot 2.55 \cdot 0.905) = 1.56 \leq 1.5$$

$$C_c = 1.05 \cdot (T_c)^{-0.33} = 1.05 \cdot (0.31)^{-0.33} = 1.55$$

Assumendo una superficie topografica di categoria T1: "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$ ", il valore del coefficiente **St** (Coefficiente di amplificazione Topografica) è pari a 1.

Una volta raccolti i seguenti dati è possibile calcolare tutti i coefficienti necessari a proseguire con la verifica.

In SLD:

$$T_c = C_c \cdot T_c = 1.64 \cdot 0.31 = 0.43$$

$$T_b = 1/3 \cdot T_c = 1/3 \cdot 0.43 = 0.14$$

$$T_d = 4 \cdot A_g / g + 1.6 = 4 \cdot 0.39 + 1.6 = 1.76$$

$$\eta = 1$$

In SLV:

In SLD:

$$S_s = 1.7 - (0.6 \cdot F_o \cdot (A_g / g)) = 1.7 - (0.6 \cdot 2.58 \cdot 0.39) = 1.64 \leq 1.5$$

$$C_c = 1.05 \cdot (T_c)^{-0.33} = 1.05 \cdot (0.26)^{-0.33} = 1.64$$

In SLV:

$$S_s = 1.7 - (0.6 \cdot F_o \cdot (A_g / g)) = 1.7 - (0.6 \cdot 2.55 \cdot 0.905) = 1.56 \leq 1.5$$

$$C_c = 1.05 \cdot (T_c)^{-0.33} = 1.05 \cdot (0.31)^{-0.33} = 1.55$$

Assuming a topographical surface of category T1: "Flat surface, slopes and isolated reliefs with average inclination $\leq 15^\circ$ ", the value of the **St** coefficient (Topographic amplification coefficient) is equal to 1.

Once the following data has been collected, it is possible to calculate all the coefficients necessary to continue with the verification.

In SLD:

$$T_c = C_c \cdot T_c = 1.64 \cdot 0.31 = 0.43$$

$$T_b = 1/3 \cdot T_c = 1/3 \cdot 0.43 = 0.14$$

$$T_d = 4 \cdot A_g / g + 1.6 = 4 \cdot 0.39 + 1.6 = 1.76$$

$$\eta = 1$$

In SLV:

$$T_c = C_c \cdot T_c = 1.64 \cdot 0.26 = 0.48$$

$$T_b = 1/3 \cdot T_c = 1/3 \cdot 0.43 = 0.16$$

$$T_d = 4 \cdot A_g / g + 1.6 = 4 \cdot 0.39 + 1.6 = 1.96$$

$$\eta = 1/q \text{ con } q = 2.8 _ \eta = 0.36$$

$$T_c = C_c \cdot T_c = 1.64 \cdot 0.26 = 0.48$$

$$T_b = 1/3 \cdot T_c = 1/3 \cdot 0.43 = 0.16$$

$$T_d = 4 \cdot A_g / g + 1.6 = 4 \cdot 0.39 + 1.6 = 1.96$$

$$\eta = 1/q \text{ with } q = 2.8 _ \eta = 0.36$$

(NB: **Valutazione del fattore di struttura:**

Il fattore di struttura q consente di operare un'analisi lineare che tenga forfettariamente conto della riduzione dell'azione sismica per effetto della plasticizzazione e delle capacità dissipative della struttura. Tale fattore dipende, in linea generale, dalla tipologia strutturale e dal suo grado di iperstaticità e tiene conto delle non linearità di materiale (NTC2008 §7.3.1). Le LG 2011 §5.4.4 suggeriscono per valutazioni semplificate (LV1) di torri e altre strutture a prevalente sviluppo verticale un fattore di struttura (q) pari a 3.6 o ridotto fino a 2.8 in presenza di strutture adiacenti a contatto, a meno di più accurate valutazioni.)

(NB: **Evaluation of the structure factor:**

The structure factor q allows to perform a linear analysis that takes into account the reduction of the seismic action due to the plasticization and dissipative capacity of the structure. This factor generally depends on the structural typology and its degree of hyperstaticity and takes into account the non-linearity of the material (NTC2008 §7.3.1). LG 2011 §5.4.4 suggest for simplified evaluations (LV1) of towers and other predominantly vertical structures a factor of structure (q) equal to 3.6 or reduced to 2.8 in the presence of adjacent structures in contact, unless more accurate evaluations.)

SLD	Ss	1.64
	Cc	1.64
	St	1.00
	Tc	0.43
	Tb	0.14
	Td	1.756
	η	1

SLV	Ss	1.56
	Cc	1.55
	St	1.00
	Tc	0.48
	Tb	0.16
	Td	1.96
	η	0.36

	To	Tb	Tc
SLD	0	0.14	0.43
SLV	0	0.16	0.48

	Td	S	Ag	Fo	η
	1.76	1.5	0.039	2.58	1
	1.96	1.5	0.0905	2.55	0.36

Secondo quanto definito dalla Normativa

As defined by the Italian legislation, the

Italiana, lo Spettro di Risposta Elastico della componente orizzontale è definito in funzione della probabilità di eccedenza P_{Vr} considerata e dei parametri a_g , F_o e T^* precedentemente definiti, attraverso specifiche equazioni:

$$0 < T < T_b \quad S_e(T) = A_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot (T/T_b + (1/\eta \cdot F_o) \cdot (1-T/T_b))$$

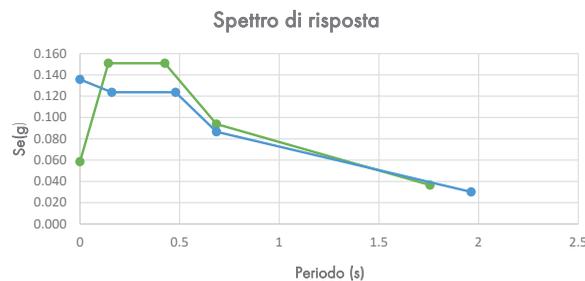
$$T_b < T < T_c \quad S_e(T) = A_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_c < T < T_d \quad S_e(T) = A_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot (T_c/T)$$

$$T_d < T \quad S_e(T) = A_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot (T_c \cdot T_d / T^2)$$

Che nel caso in oggetto danno i risultati seguenti:

	$0 < T < T_b$	$T_b < T < T_c$	$T_c < T < T_d$	$T_d < T$
SLD	0.059	0.151	0.094	0.037
SLV	0.136	0.124	0.087	0.030



3. Stima del periodo fondamentale

La stima del periodo fondamentale è stata realizzata seguendo il modello lineare empirico per "torri storiche in muratura".

Secondo quanto riportato dalle Normative

Elastic Response Spectrum of the horizontal component is defined as a function of the probability of excess P_{Vr} considered and the parameters a_g , F_o and T^* previously defined, through specific equations:

$$0 < T < T_b \quad S_e(T) = A_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot (T/T_b + (1/\eta \cdot F_o) \cdot (1-T/T_b))$$

$$T_b < T < T_c \quad S_e(T) = A_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_c < T < T_d \quad S_e(T) = A_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot (T_c/T)$$

$$T_d < T \quad S_e(T) = A_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot (T_c \cdot T_d / T^2)$$

Which in the present case give the following results:

3. Estimate of the fundamental period

The estimate of the fundamental period was made following the empirical linear model for "historic masonry towers".

According to the Italian regulations, in fact, for civil or industrial masonry constructions with a

Italiane, infatti, per costruzioni civili o industriali in muratura con un'altezza ≤ 40 metri e con una massa considerabile come uniformemente distribuita lungo tutta l'altezza, il Periodo Fondamentale **T** può essere stimato attraverso la seguente relazione:

$$T = C \cdot H^{3/4} = 0.0187 \cdot H$$

Dunque, considerando un'altezza $H=36.6$, si ottiene $T = 0.0187 \cdot 37.7 = 0.6844s$

Una volta ottenuto il periodo è possibile calcolare la frequenza naturale **F**

$$F = 1/T = 1/0.6844s = 1.461Hz$$

4. Stima delle azioni sismiche

5. Risoluzione della struttura isostatica e analisi delle sollecitazioni M,N,T

I valori di N sono stati ricalcolati tenendo conto del peso dei piani considerati singolarmente gravante su ogni sezione considerata (nel nostro caso 5: P0,P1,P2,P3,P4):

	N	kN
N0	6445170	6445
N1	6445170	6445
N2	6445170	6445
N3	6445170	6445
N4	6533460	6533
Nr		32314

height of ≤ 40 meters and with a mass that can be considered as uniformly distributed along the entire height, the Fundamental Period **T** can be estimated through the following relationship:

$$T = C \cdot H^{3/4} = 0.0187 \cdot H$$

Therefore, considering a height $H = 36.6$, we obtain $T = 0.0187 \cdot 37.7 = 0.6844s$

Once the period is obtained, the natural frequency **F** can be calculated

$$F = 1/T = 1/0.6844s = 1.461Hz$$

4. Stima delle azioni sismiche

5. Resolution of the isostatic structure and analysis of the M, N, T stresses

The values of N were recalculated taking into account the weight of the floors considered individually weighing on each section considered (in our case 5: P0, P1, P2, P3, P4):

Imponendo le condizioni di equilibrio alla traslazione e alla rotazione, sono stati trovati i valori delle reazioni vincolari con cui calcolare le azioni interne per tutta la lunghezza della mensola.

In **SLD**:

TRASLAZIONE VERTICALE:

$$\Sigma N=0 \quad N_r - \Sigma N = 0 \quad N_r = 32314 \text{ kN}$$

TRASLAZIONE ORIZZONTALE:

$$\Sigma T=0 \quad T_r + \Sigma F_i = 0 \quad T_r = 3034 \text{ kN}$$

ROTAZIONE:

$$\Sigma M=0 \quad M_r - \Sigma F_i \cdot Z_i = 0 \quad M_r = 75548 \text{ kNm}$$

SLD					Sezione	N(kN)
0_1		N(z)	25869	Z=0	0	32314
		T(z)	3034		0_1	25869
		M(z)	75548		Z=7.3	1_2
1_2	N(z)	19424	2_3	12979		
	T(z)	2793	3_4	6533		
	M(z)	53397	4_5	0		
2_3		N(z)	33005	Z=14.6		
		T(z)	12979	Z=21.9		
		M(z)	2312			
3_4	N(z)	33005	Z=21.9			
	T(z)	16130	Z=29.2			
	M(z)	6533				
4_5	N(z)	1589		Z=36.6		
	T(z)	16130				
	M(z)	4530				
			0			
			612			
			4530			
			0			

In **SLV**:

TRASLAZIONE VERTICALE:

$$\Sigma N=0 \quad N_r - \Sigma N = 0 \quad N_r = 32314 \text{ kN}$$

TRASLAZIONE ORIZZONTALE:

$$\Sigma T=0 \quad T_r + \Sigma F_i = 0 \quad T_r = 2796 \text{ kN}$$

ROTAZIONE:

By imposing the equilibrium conditions on translation and rotation, the values of the constraint reactions were found with which to calculate the internal actions for the entire length of the cantilever.

In **SLD**:

VERTICAL TRANSLATION:

$$\Sigma N = 0 \quad N_r - \Sigma N = 0 \quad N_r = 32314 \text{ kN}$$

HORIZONTAL TRANSLATION:

$$\Sigma T = 0 \quad T_r + \Sigma F_i = 0 \quad T_r = 3034 \text{ kN}$$

ROTATION:

$$\Sigma M = 0 \quad M_r - \Sigma F_i \cdot Z_i = 0 \quad M_r = 75548 \text{ kNm}$$

In **SLV**:

VERTICAL TRANSLATION:

$$\Sigma N = 0 \quad N_r - \Sigma N = 0 \quad N_r = 32314 \text{ kN}$$

HORIZONTAL TRANSLATION:

$$\Sigma T = 0 \quad T_r + \Sigma F_i = 0 \quad T_r = 2796 \text{ kN}$$

ROTATION:

$$\Sigma M=0 \quad M_r - \Sigma F_i \cdot Z_i = 0 \quad M_r = 69622 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M = 0 \quad M_r - \Sigma F_i \cdot Z_i = 0 \quad M_r = 69622 \text{ kNm}$$

SLV				
0_1	N(z)	25869		
	T(z)	2796		
	M(z)	69622	Z=0	
1_2	N(z)	19424	Z=7.3	
	T(z)	2574		
	M(z)	49209	Z=7.3	
2_3	N(z)	30416	Z=14.6	
	T(z)	12979		
	M(z)	2130	Z=14.6	
3_4	N(z)	30416	Z=21.9	
	T(z)	14864		
	M(z)	6533	Z=21.9	
4_5	N(z)	1464	Z=29.2	
	T(z)	4175		
	M(z)	4175	Z=29.2	
		0	Z=36.6	

Sezione	N(kN)
0	32314
1	25869
2	19424
3	12979
4	6533
5	0

I valori N e M delle forze interne N e M calcolati per ogni sezione considerata sono stati inseriti nel software VCASLU, in cui precedentemente era stata modellata la geometria considerata della sezione della Torre ed erano stati inseriti i valori di tensione di snervamento per muratura in mattoni e malta di calce indicati nella *Circolare NTC 2018*.

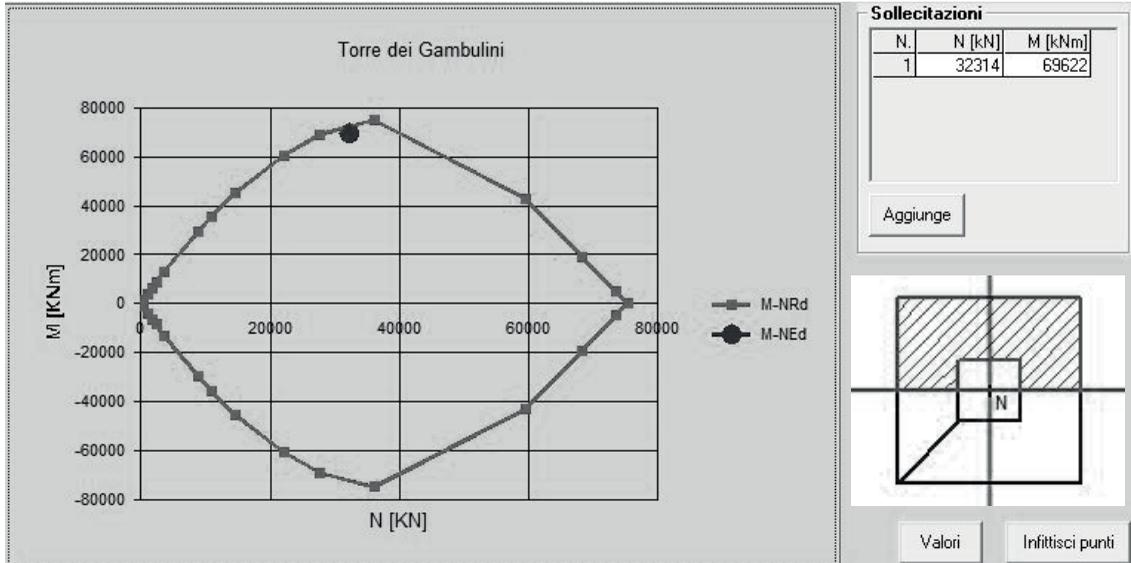
The N and M values of the internal forces N and M calculated for each section considered were entered in the VCASLU software, in which the considered geometry of the tower section was previously modeled and the yield stress values for brick and lime mortar masonry indicated in the *Circular NTC 2018* were entered.

In questo modo è stato possibile realizzare una simulazione a regime statico degli effetti di eventuali azioni sismiche sulla struttura in esame, che tenesse conto della geometria della sezione, delle caratteristiche del materiale e delle azioni interne risultanti effettive.

In this way it was possible to create a static-regime simulation of the effects of any seismic actions on the structure under examination, which took into account the geometry of the section, the characteristics of the material and the actual resulting internal actions.

Considerando un valore $f_d=1.51$ come calcolato tramite procedimento da normativa, la sezione maggiormente sollecitata, ovvero quella alla base, risulta verificata allo SLV:

Considering a value $f_d = 1.51$ as calculated by a regulatory procedure, the most stressed section, i.e. the one at the base, is verified at the SLV:



VCASLU software graphic that demonstrate the resistance of the critical section to the internal actions.

With this software it is possible to create a static-regime simulation of the effects of any seismic actions on the structure under examination, which took into account the geometry of the section, the characteristics of the material and the actual resulting internal actions.



the preservation and consolidation design

5.1_IL PROGETTO DI CONSERVAZIONE E CONSOLIDAMENTO

I risultati ottenuti in seguito alle indagini esposte ai capitoli precedenti consentono di rilevare i difetti di costruzione e i fenomeni di degrado e dissesto che possono interessare i singoli materiali o intere porzioni del manufatto durante il suo ciclo di vita, prevedendo anche le possibili conseguenze future e dunque permettendo di proporre soluzioni adeguate ai problemi individuati. Si tratta, come si è visto, di analisi molto specifiche, che richiedono un certo grado di preparazione e conoscenza in materia, e che devono dunque essere effettuate solo da personale specializzato, in grado di fornire un'interpretazione corretta dei dati raccolti e proporre un intervento che risulti il più possibile funzionale.

Un qualunque progetto di conservazione applicato all'edilizia storica deve essere in grado di rispondere contemporaneamente ed in maniera parimenti soddisfacente a due tipologie di questioni: questioni teorico/culturali e questioni tecniche. Tra le prime rientrano, ad esempio, le strategie programmate di valorizzazione del contesto urbano, fondamentali alla salvaguardia del valore storico artistico dei centri storici; tra le seconde si annoverano esigenze di sicurezza, manutenzione, controllo/monitoraggio e adeguamento normativo, che assicurano la fruibilità nel tempo del singolo manufatto. La diagnosi strutturale, a

5.1_ THE PRESERVATION AND CONSOLIDATION PROJECT

The results obtained following the investigations set out in the previous chapters make it possible to detect construction defects and the phenomena of deterioration and instability that may affect individual materials or entire portions of the building during its life cycle, also foreseeing possible future consequences and therefore allowing to propose adequate solutions to the identified problems. As we have seen, these are very specific analyzes, which require a certain degree of preparation and knowledge on the subject, and which must therefore be carried out only by specialized personnel, able to provide a correct interpretation of the data collected and propose a intervention that is as functional as possible.

Any conservation project applied to historic buildings must be able to respond simultaneously and equally satisfactorily to two types of issues: theoretical / cultural issues and technical issues. The former include, for example, the planned strategies for enhancing the urban context, which are fundamental for safeguarding the historical and artistic value of historic centers; the latter include needs for safety, maintenance, control / monitoring and regulatory compliance, which ensure the usability of the individual product over time. In this regard, the structural diagnosis is an essential requirement in defining an adequate planning strategy

questo proposito, è un requisito essenziale nella definizione di un'adeguata strategia progettuale di conservazione dell'edilizia storica in quanto permette di indirizzare le possibili opzioni (culturali e tecniche) per la riparazione e conservazione del manufatto, valutando lo stato di fatto della compagine materica e strutturale ed evidenziando le sue potenziali vulnerabilità e possibilità d'uso future.¹

E' fondamentale infatti, che il progetto di conservazione non si limiti a risolvere puntualmente le problematiche riscontrate, bensì si ponga quale soluzione alle possibili situazioni di degrado future, evitando un ulteriore peggioramento della qualità muraria. Per fare questo è necessario che le tecniche ed i materiali adottati si pongano in perfetta continuità con quelli originali del manufatto, in modo da non crearvi scompensi di alcun tipo, che rischierebbero di alterarne il delicatissimo equilibrio danneggiandone irreparabilmente le strutture storiche. Sarà dunque compito del rilevatore redigere un progetto di conservazione mirato a risolvere le problematiche riscontrate, anche in vista di un'ipotesi di riuso. Ad oggi, una delle prime cause di degrado è infatti proprio la carenza di manutenzione. Soltanto l'utilizzo attivo del bene, l'acquisizione di un ruolo attivo all'interno della vita della società, sarà una garanzia di monitoraggio costante del suo

for the conservation of historic buildings as it allows to address the possible options (cultural and technical) for the repair and conservation of the building, evaluating the state de facto of the material and structural structure and highlighting its potential vulnerabilities and future possibilities of use.¹

In fact, it is essential that the conservation project is not limited to solving the problems encountered on time, but rather as a solution to possible future degradation situations, avoiding a further deterioration of the masonry quality. To do this it is necessary that the techniques and materials adopted are placed in perfect continuity with the original ones of the artifact, so as not to create imbalances of any kind, which would risk altering its delicate balance, irreparably damaging its historical structures. It will therefore be the task of the surveyor to draw up a conservation project aimed at solving the problems encountered, also in view of a hypothesis of reuse. To date, one of the first causes of deterioration is in fact the lack of maintenance. Only the active use of the asset, the acquisition of an active role within the life of the company, will be a guarantee of constant monitoring of its status and will guarantee its future life. It is precisely for this reason that the more often every conservation project is associated with a consequent reuse project.

1. AA.VV, *Manuale delle murature storiche. Volume I: Analisi e valutazione del comportamento strutturale*, 2011

stato e ne garantirà una vita futura. E' proprio per questa ragione che quanto più spesso ad ogni progetto conservativo si associa un conseguente progetto di riuso.

Gli interventi sulle strutture storiche, che coinvolgono consolidamento, riparazione e rafforzamento (o più precisamente adeguamento sismico), devono rispondere ad una serie di requisiti volti ad accertare l'efficienza della soluzione adottata rispetto al manufatto sul quale si prevede di realizzare tale intervento, insieme alla sua conformità ai principi di conservazione.

Tali linee guida sono esposte in documenti internazionali quali la Carta di Venezia del 1964 e, in maniera più dettagliata, nelle raccomandazioni ICOMOS/ISCARSAH per quanto riguarda l'analisi e il restauro del patrimonio architettonico (ICOMOS/ISCARSAH, 2005) e nell'allegato ISO/FDIS 13822 (ISO/TC96/SC2, 2010) per quanto riguarda il trattamento delle strutture del patrimonio architettonico.

Nello specifico, i principi di intervento enunciati da seguire sono ²:

- Rispetto dell'autenticità strutturale
- Requisiti di affidabilità strutturale
- Minimo intervento
- Compatibilità
- Durabilità
- Non invasività

The interventions on historical structures, which involve consolidation, repair and strengthening (or more precisely seismic adaptation), must respond to a series of requirements aimed at ascertaining the efficiency of the solution adopted with respect to the building on which it is planned to carry out this intervention, together its compliance with conservation principles.

These guidelines are set out in international documents such as the Venice Charter of 1964 and, in more detail, in the ICOMOS / ISCARSAH recommendations regarding the analysis and restoration of architectural heritage (ICOMOS / ISCARSAH, 2005) and in the annex ISO / FDIS 13822 (ISO / TC96 / SC2, 2010) regarding the treatment of architectural heritage structures.

Specifically, the principles of intervention set out to be followed are ²:

- *Respect for structural authenticity*
- *Structural reliability requirements*
- *Minimum intervention*
- *Compatibility*
- *Durability*
- *Non invasiveness*
- *Not intrusiveness*
- *Removability*
- *Monitoring and control*

2. ICOMOS/ISCARSAH, 2005

- Non invadenza
- Rimovibilità
- Monitoraggio e controllo

Qualora il progetto non soddisfacesse le caratteristiche dell'edificio e le sue eventuali vulnerabilità, o non rispettasse le raccomandazioni in materia di restauro del patrimonio storico, il progetto sarebbe da considerarsi scorretto in quanto potenzialmente dannoso per la salvaguardia del bene e dunque non accettabile.

Nella scelta degli interventi da eseguire, è fondamentale inoltre attuare attente considerazioni riguardo il rapporto costi-benefici, che tenga in considerazione le caratteristiche prestazionali, le aspettative di vita e i costi di manutenzione dei materiali e delle tipologie di strutture che si decidono di utilizzare

L'intervento di conservazione e miglioramento antisismico

Una volta che sono stati rilevati i materiali impiegati e la tipologia dei fenomeni (chimici o fisici) che hanno provocato il degrado e il dissesto delle strutture, occorre prima di tutto accertare la causa di questi processi, stabilirne il grado di pericolosità per la stabilità dell'insieme e prevederne gli eventuali sviluppi, ed in secondo luogo trovare soluzioni appropriate che arrestino e possibilmente eliminino questi fenomeni. Se per le alterazioni ed il degrado dei materiali

If the project does not meet the characteristics of the building and its possible vulnerabilities, or does not comply with the recommendations regarding the restoration of the historical heritage, the project would be considered incorrect as it is potentially harmful to the preservation of the property and therefore not acceptable.

In choosing the interventions to be performed, it is also essential to implement careful considerations regarding the cost-benefit ratio, which takes into account the performance characteristics, life expectancy and maintenance costs of the materials and types of structures that you decide to use.

Preservation intervention and antisismic improvement

Once the materials used and the type of phenomena (chemical or physical) that have caused the degradation and instability of the structures have been detected, it is first of all necessary to ascertain the cause of these processes, establish the degree of danger for the stability of the structure. 'together and foresee their eventual developments, and secondly find appropriate solutions that stop and possibly eliminate these phenomena. If for the alterations and degradation of stone

lapidei/litoidi si può fare riferimento al lessico delle Raccomandazioni *NorMal* 1/88, la valutazione dei dissesti delle strutture e dei loro singoli componenti vanno approfonditi nel massimo dettaglio, valutando con attenzione il caso specifico e distinguendo quelli che sono difetti di costruzione ormai congeniti e privi di rischio da quelli che rappresentano effettivamente fonti di disturbo alla sicurezza statica del manufatto.

Secondo le raccomandazioni *NorMal*, per "alterazione" si intende una "modificazione del materiale che non implica necessariamente un peggioramento delle sue caratteristiche sotto il profilo conservativo", mentre con il termine "degradazione" si intende una modificazione che "implica un peggioramento delle sue caratteristiche sotto il profilo conservativo".³

I fenomeni di degrado che possono influire sul sistema resistente delle murature e dunque ricadere sotto la categoria delle degradazioni sono sostanzialmente connessi a: *alterazione del piano di posa degli elementi lapidei e/o in laterizio per movimenti relativi della struttura che fanno perdere l'assetto originario di giacitura dell'elemento, alveolizzazione, cracking/microfratturazione, crosta nera, deformazione/inflessione, degrado degli elementi (lignei o metallici) inseriti*

/ lithoid materials reference can be made to the lexicon of NorMal Recommendations 1/88, the assessment of the instability of the structures and their individual components must be studied in greater detail, carefully evaluating the specific case and distinguishing those that are construction defects by now congenital and risk-free from those that actually represent sources of disturbance to the static safety of the artifact.

According to *NorMal* recommendations, "alteration" means a "modification of the material that does not necessarily imply a worsening of its characteristics from a conservative point of view", while the term "degradation" means a modification that "implies a worsening of its characteristics from a conservative point of view".³

The phenomena of degradation that can affect the resistant system of the masonry and therefore fall under the category of degradations are substantially connected to: *alteration of the laying surface of the stone and / or brick elements due to relative movements of the structure that make it lose the original structure position of the element, alveolization, cracking / microfracturing, black crust, deformation / inflection, degradation of the elements (wooden or metal) inserted in the masonry, differential degradation, disintegration, detachment*

3. CNR-ICR, *NorMal-1/88. Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico*, Comas Grafica Srl, Roma 1990

nella muratura, degrado differenziale, disgregazione, distacco dell'intonaco con perdita di materiale dei supporti, efflorescenza, erosione dei giunti di malta e degli elementi resistenti (mattoni/pietra), esfoliazione, fessurazione o fratturazione, macchia di umidità, mancanza, patina biologica, pitting, vegetazione infestante, scagliatura.⁴ Si tratta di fenomeni che possono essere provocati da cause intrinseche quali difetti di costruzione o caratteristiche del sito, od estrinseche, dovute ad azioni naturali o antropiche prolungate nel tempo quali umidità, fattori meteorologici, inquinamento naturale, azione biologica, fattori geologici ad andamento progressivo, inquinamento antropico o interventi umani alterativi sull'ambiente. In tutti questi casi eliminare alla radice le cause fonte di degrado risulta quasi impossibile, occorre dunque elaborare un progetto conservativo, possibilmente programmato nel tempo, che permetta al manufatto di sopravvivere il più a lungo e nelle migliori condizioni possibili.

L'intervento di conservazione va elaborato con attenzione sulla base dei dati raccolti durante le indagini in modo da risultare il più possibile adeguato alle caratteristiche e alle condizioni delle murature alle quali ci si appropria. La scelta delle tecniche, dei materiali e delle sostanze utilizzate

of the plaster with loss of material of the supports, efflorescence, erosion of mortar joints and resistant elements (brick / stone), exfoliation, cracking or fracturing, moisture stain, lack, biological patina, pitting, weed vegetation, flaking.⁴ These are phenomena that can be caused by intrinsic causes such as construction defects or characteristics of the site, or extrinsic, due to natural or anthropic actions prolonged over time such as humidity, meteorological factors, natural pollution, biological action, progressive geological factors, anthropogenic pollution or human interventions altering the environment. In all these cases, eliminating the root causes of degradation is almost impossible, it is therefore necessary to develop a conservative project, possibly planned over time, which allows the building to survive for as long as possible and in the best possible conditions.

The conservation intervention must be carefully processed on the basis of the data collected during the investigations in order to be as appropriate as possible to the characteristics and conditions of the masonry being approached. The choice of techniques, materials and substances used

4. CNR-ICR, *NorMal-1/88. Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico*, Comas Grafica Srl, Roma 1990

sarà fondamentale a garantire la buona riuscita dell'intervento e la salvaguardia del manufatto storico. I principali interventi da effettuare per ripristinarne lo stato conservativo sono:

-Eliminazione della vegetazione infestante: l'infiltrazione della vegetazione tra gli elementi che costituiscono la muratura è una delle principali cause di dissesto e caduta di porzioni di materiale. Fondamentale al ripristino dell'integrità muraria risulta dunque l'eliminazione di questa tipologia di fonte di alterazione dello stato di coesione.

-Pulitura da depositi e concrezioni: a seconda della tipologia di deposito superficiale e allo stato di degrado riscontrati sarà da prediligere una o l'altra tecnica di rimozione, che potrà avvenire meccanicamente tramite spazzole o altri strumenti adeguati, ad acqua pura, a secco tramite aria compressa o sabbia, ad impacco assorbente, tramite sostanze chimiche. Occorre sottolineare come la scelta vada attentamente ponderata in modo da evitare irreparabili danneggiamenti alla muratura storica.

-Fissaggio di elementi cedevoli: per evitare eventuali cadute di materiale e per ripristinare la continuità visiva della muratura.

-Ristilatura dei giunti: questo intervento assume un ruolo sia dal punto conservativo estetico che da quello strutturale. Si tratta infatti di una tecnica che permette sì di ripristinare

will be essential to ensure the success of the intervention and the preservation of the historic artefact. The main interventions to be carried out to restore its conservation status are:

- Elimination of weed vegetation: the infiltration of vegetation between the elements that make up the masonry is one of the main causes of instability and fall of portions of material. The elimination of this type of source of alteration of the state of cohesion is therefore fundamental to the restoration of wall integrity.

-Cleaning from deposits and concretions: depending on the type of surface deposit and the state of degradation found, one or the other removal technique will be preferred, which can be done mechanically using brushes or other suitable tools, with pure water, dry through compressed air or sand, with absorbent pack, using chemicals. It should be emphasized that the choice must be carefully considered in order to avoid irreparable damage to the historic masonry.

-Fixing of flexible elements: to avoid any falling material and to restore visual continuity of the masonry.

-Ristilatura of the joints: this intervention assumes a role both from an aesthetic and structural conservative point of view. It is in fact a technique that allows to visually restore the wall continuity but above all to recover the cohesion between the elements

visivamente la continuità muraria ma soprattutto di recuperarne la coesione tra gli elementi e dunque la stabilità. Fondamentale alla buona riuscita dell'intervento sarà la scelta dei materiali con cui realizzare la ristilatura, che dovranno porsi in continuità con quelli originali per evitare differenziazioni di comportamento in risposta alle sollecitazioni che provocherebbero irreparabili scompensi.

A questi primi interventi di eliminazione delle alterazioni e di ripristino della continuità muraria del manufatto storico seguono tutte quelle operazioni volte a ripristinarne la sicurezza statica degli elementi e dell'insieme.

Il miglioramento antisismico di un edificio storico trova i suoi fondamenti sul comportamento acquisito dalla fabbrica nel tempo, allo scopo di non modificarlo radicalmente ma di reindirizzarlo in modo da non risultare più in alcun modo dannoso per la sicurezza statica delle strutture. E' la fabbrica stessa a definire la misura delle modificazioni possibili ed opportune, in modo tale da rendere il miglioramento specifico per il caso studio in oggetto, integrato funzionalmente ad esso e posto in continuità della fabbrica esistente quale potenziamento di essa. L'approccio migliore da seguire è tuttavia in generale quello che porta al *"miglioramento sistematico della duttilità e della capacità dissipativa del sistema strutturale, anche contemplando parziali deformazioni e lesionamenti. Per fare questo e per coinvolgere ogni parte*

and therefore the stability. Fundamental to the success of the intervention will be the choice of materials with which to carry out the restyling, which must be in continuity with those now original to avoid differentiation of behavior in response to stresses that would cause irreparable imbalances.

These first interventions to eliminate the alterations and restore the continuity of the walls of the historic building are followed by all those operations aimed at restoring the static safety of the elements and of the whole.

The anti-seismic improvement of a historic building is based on the behavior acquired by the factory over time, in order not to radically change it but to redirect it so as to no longer be harmful in any way for the static safety of the structures. It is the factory itself that defines the extent of possible and appropriate modifications, in such a way as to make the improvement specific to the case study in question, functionally integrated with it and placed in continuity with the existing factory as an enhancement of it. However, the best approach to follow is in general the one that leads to the "systematic improvement of the ductility and dissipative capacity of the structural system, even contemplating partial deformations and lesions. To do this and to involve each part in the response to the earthquake, after having built the lost resistance resources through the repair of the damage, the tensile-resistant connections must above all be increased,

nella risposta al sisma, dopo avere costruito attraverso la riparazione dei danni le risorse di resistenza perdute, vanno soprattutto aumentati i collegamenti resistenti a trazione, evitando di introdurre rigidità rilevanti e concentrate, alle quali si associa in genere un mutamento di comportamento".⁵ Ciò sarà possibile inserendo presidi mirati a collaborare con le strutture esistenti e a far collaborare opportunamente tra loro le diverse parti dell'edificio che, come suggeriva l'Alberti, "saranno da riunire alle ossature, ed esse tutte da rafforzare nel modo più opportuno con nervi e legamenti; sicché la successione delle ossature, collegate tra loro, risulti tale da resistere da sola, quand'anche ogni altro elemento venisse a mancare, perfettamente conchiusa nella solidità della sua membratura".⁶

La tendenza Settecentesca a "fortificare senza alterare", fatta propria dall'intervento di miglioramento antisismico sull'edilizia storica, vola a rispettare l'autenticità strutturale del manufatto, porta a dare valore al linguaggio architettonico e al suo significato, attraverso la conservazione di tutti i segni di saperi e regole dell'arte che la materia conserva. Nel porre attenzione alle caratteristiche dell'edificio non ci si dovrà limitare a conoscerne la geometria

avoiding the introduction of significant and concentrated stiffnesses, to which it is generally associated a change in behavior".⁵ This will be possible by inserting targeted safeguards to collaborate with the existing structures and to make the different parts of the building cooperate appropriately with each other which, as Alberti suggested, "will be joined to the frameworks, and all of them to be strengthened in the most appropriate way with nerves and ligaments; so that the succession of the frames, connected to each other, is such as to stand alone, even if every other element is missing, perfectly enclosed in the solidity of its member".⁶

The eighteenth-century tendency to "fortify without altering", endorsed by the anti-seismic improvement intervention on historic buildings, flies to respect the structural authenticity of the building, leads to give value to the architectural language and its meaning, through the conservation of all the signs of knowledge and rules of art that the material preserves. In paying attention to the characteristics of the building, we must not limit ourselves to knowing its intentional geometry, the original one with which the building was conceived, but also on the so-called accidental one, the result of the events that have changed it over time. Starting from

5. F. Doglioni, P. Mazzotti, *Codice di pratica per gli interventi di miglioramento sismico nel restauro del patrimonio architettonico. Integrazioni alla luce delle esperienze nella regione Marche, Regione Marche, Tipografia Tacconi, Ascoli Piceno, 2007*

6. Leon Battista Alberti, *De re aedificatoria*, 1485

intenzionale, quella originale con la quale l'edificio è stato pensato, ma anche su quella per così dire accidentale, frutto delle vicende che lo hanno modificato nel tempo. Partendo da tutti questi presupposti, i miglioramenti apportati dall'intervento dovranno essere basati sulle competenze della modernità a nostra disposizione, ma essere espressi in un linguaggio antico che risulti quale naturale evoluzione della competenza storica.

La norma sismica attuale definisce alcune linee guida per l'applicazione degli interventi di miglioramento antisismico al patrimonio culturale, fornendo indicazioni esemplificative specifiche per l'analisi e la valutazione della risposta sismica delle principali categorie di manufatti tutelati, dei quali vengono forniti modelli meccanici semplificati da utilizzare per realizzare le opportune verifiche. Le tipologie architettoniche cui si fa riferimento sono distinte sulla base delle rispettive caratteristiche geometriche principali:

-Palazzi, ville ed altre strutture dotate di pareti di spina e orizzontamenti intermedi

-Chiese, oratori ed altre strutture caratterizzate da grandi aule e prive di orizzontamenti intermedi

-Torri, campanili ed altre strutture a prevalente sviluppo verticale

-Ponti in murature, archi trionfali e strutture ad arco in generale.

Trattandosi di edifici di interesse culturale,

all these assumptions, the improvements made by the intervention must be based on the skills of modernity at our disposal, but be expressed in an ancient language that results as a natural evolution of historical expertise.

The current seismic standard defines some guidelines for the application of anti-seismic improvement interventions to cultural heritage, providing specific exemplary indications for the analysis and evaluation of the seismic response of the main categories of protected artifacts, of which simplified mechanical models are provided by use to carry out the appropriate checks. The architectural types referred to are distinguished on the basis of their respective main geometric characteristics:

-Palaces, villas and other structures equipped with spine walls and intermediate horizontals

-Churches, oratories and other structures characterized by large classrooms and without intermediate horizons

-Towers, bell towers and other predominantly vertical structures

- Masonry bridges, triumphal arches and arched structures in general.

Since these are buildings of cultural interest, in the choice of interventions to be carried out, particular attention will also be paid to the principles of conservation. An in-depth knowledge of the original structure and a clear assessment of the current safety status

nella scelta degli interventi da realizzare particolare attenzione andrà posta anche ai principi della conservazione. Alla base di qualunque scelta d'intervento dovranno esservi un'approfondita conoscenza della struttura originale ed valutazione dello stato di sicurezza. L'approccio dovrà garantire infatti il raggiungimento della sicurezza statica richiesta, perseguita tuttavia senza perdere di vista i principi di compatibilità, durabilità, integrazione e rispetto dell'originale, non-invasività, reversibilità e minimo intervento necessari quando ci si avvicina ad un bene di valore storico-artistico.

All'interno delle linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico sul patrimonio culturale sono fornite anche alcune tecniche di intervento generiche di utilizzo frequente. Sarà tuttavia compito del progettista valutare il singolo caso ed utilizzare, ove possibile, eventuali tecniche non citate che risultino più efficaci per il manufatto in oggetto. Le categorie di intervento più frequenti sono:

- Riduzione delle carenze dei collegamenti
- Riduzione delle spinte di archi e volte e loro consolidamento
- Riduzione dell'eccessiva deformabilità dei solai
- Miglioramenti sulle coperture
- Incremento della resistenza degli elementi murari
- Rinforzo di pilastri e colonne
- Rinforzo di elementi non strutturali
- Miglioramento delle fondazioni.

must be at the basis of any intervention choice. The approach must in fact guarantee the achievement of the required static safety, pursued however without losing sight of the principles of compatibility, durability, integration and respect for the original, non-invasiveness, reversibility and minimum intervention necessary when approaching a property of historical-artistic value.

Within the guidelines for the assessment and reduction of seismic risk on cultural heritage, some generic intervention techniques of frequent use are also provided. However, it will be up to the designer to evaluate the individual case and use, where possible, any techniques not mentioned that are more effective for the product in question. The most frequent categories of intervention are:

- Reduction of link deficiencies
- Reduction of the thrust of arches and vaults and their consolidation
- Reduction of the excessive deformability of the floors
- Improvements on roofing
- Increase the strength of the masonry elements
- Reinforcement of pillars and columns
- Reinforcement of non-structural elements
- Improvement of foundations.

Si riportano di seguito alcune possibilità di intervento specifiche efficaci da realizzarsi per ciascuna delle categorie di miglioramento strutturale sopra citate in qualche modo presenti anche nella Torre oggetto di indagine.

Riduzione delle carenze dei collegamenti

-Realizzazione di interventi di collegamento locali tramite ammorsamento tra pareti ottenuto con opere di scuci-cuci o collegamenti puntuali. La tecnica consiste nel sostituire parte della muratura esistente danneggiata (per esempio in presenza di lesioni) con una di nuova costruzione avente pressoché le stesse caratteristiche di quella esistente e attentamente realizzata per ammorsarsi perfettamente alle porzioni originali non danneggiate.

-Inserimento di tiranti: disposti nelle due direzioni principali del fabbricato, in corrispondenza dei punti di ammorsamento tra solai e pareti portanti, vengono ancorati alle murature tramite capochiave a paletto o a piastra (ne esistono di svariate tipologie) allo scopo di favorire il comportamento d'insieme del fabbricato. Nei punti di ancoraggio è opportuno attuare un consolidamento locale della muratura, in modo che possa meglio reagire alle sollecitazioni cui verrà inevitabilmente sottoposta.

-Inserimento di cerchiature: realizzate con elementi metallici o materiali compositi,

Below are some specific effective intervention possibilities to be carried out for each of the structural improvement categories mentioned above in some way also present in the Tower under investigation.

Reduction of link deficiencies

-Realization of local connection interventions by clamping between walls obtained with works of scuci-cuci or punctual connections. The technique consists in replacing part of the existing damaged masonry (for example in the presence of lesions) with a new one having almost the same characteristics as the existing one and carefully made to perfectly grip the original undamaged portions.

- Insertion of tie rods: arranged in the two main directions of the building, in correspondence with the clamping points between floors and load-bearing walls, they are anchored to the walls by means of a bolt or plate key (there are various types) in order to favor the behavior of the building as a whole. In the anchoring points it is advisable to implement a local consolidation of the masonry, so that it can react to the stresses to which it will inevitably be subjected.

- Insertion of hoops: made with metal elements or composite materials, they allow to avoid the onset of stress concentrations at the edges of the wall structure. In the case of small elements, they can be enriched by

permettono di evitare l'insorgere di concentrazioni tensionali agli spigoli della struttura muraria. Nel caso di elementi di piccole dimensioni, esse possono essere arricchite dall'inserimento di barre nei giunti.

-Realizzazione di efficaci collegamenti tra solai e pareti ed eliminazione delle spinte non contrastate di volte e tetti tramite l'applicazione di tirantature metalliche: la tecnica permette di ottenere un comportamento monolitico da parte della struttura e ridurre o addirittura eliminare le spinte orizzontali trasmesse alle murature verticali da strutture tipicamente spingenti quali archi, volte e capriate.

Riduzione delle spinte di archi e volte e loro consolidamento

- Inserimento di tiranti ed elementi metallici estradossali

-Eliminazione delle spinte tramite catene

-Ripristino della continuità delle lesioni

-Realizzazione di frenelli a contrasto dei cinematismi: Il consolidamento mediante posa in opera di rinfranchi cellulari (frenelli) è una tecnica solitamente usata quando la volta è abbastanza stabile e presenta sia modeste deformazioni sul suo profilo, sia uno stato di conservazione ordinario dei materiali

inserting bars in the joints.

- Realization of effective connections between floors and walls and elimination of the non-contrasted thrusts of vaults and roofs through the application of metal tie rods: the technique allows to obtain a monolithic behavior by the structure and reduce or even eliminate the horizontal thrusts transmitted to the walls vertical by typically pushing structures such as arches, vaults and trusses.

Reduction of arches and vaults thrusts and their consolidation

- Insertion of tie rods and extradosal metal elements

-Elimination of thrusts by chains

-Restoration of the continuity of the lesions

-Realization of frenelli in contrast to the kinematics: Consolidation by laying cellular abutments (frenelli) is a technique usually used when the vault is fairly stable and has both modest deformations on its profile, and an ordinary state of conservation of the materials

Riduzione dell'eccessiva deformabilità dei solai

-Irrigidimento nel piano e flessionali con tecnica a secco: tramite le tecniche legno-legno è possibile ottenere contemporaneamente l'irrigidimento nel piano e fuori dal piano, posando sul tavolato esistente, longitudinalmente rispetto alle travi di orditura, nuovi tavoloni continui, resi collaboranti alle travi mediante perni ed irrigiditi nel piano del solaio con l'applicazione di un secondo tavolato di finitura. I solai vengono poi ancorati alle pareti per evitarne lo sfilamento e per svolgere un'azione di distribuzione delle forze orizzontali e di contenimento delle pareti.

-Irrigidimenti estradossali con tavolati, applicazione di brandelle,...

-Interventi intradossali e controventature con tiranti metallici

NB: La trasformazione dei solai da flessibili a rigidi comporta una diversa distribuzione delle azioni agenti sulle pareti, che può risultare favorevole o sfavorevole in funzione della geometria della struttura. Di questo occorrerà ottenere conto sulla base delle condizioni specifiche del manufatto sul quale si sta intervenendo.

W

Aumento della resistenza della muratura

Reduction of the excessive deformability of the floors

-Stiffening in the plane and flexural with dry technique: through the wood-wood techniques it is possible to obtain at the same time the stiffening in the plane and outside the plane, by laying on the existing planking, longitudinally with respect to the warping beams, new continuous planks, made collaborating with the beams by means of pins and stiffened in the floor with the application of a second finishing plank. The floors are then anchored to the walls to prevent them from slipping off and to carry out an action of distribution of horizontal forces and containment of the walls.

-Extradossal stiffeners with boards, application of shreds, ...

-Interrados interventions and bracing with metal tie rods

NB: The transformation of floors from flexible to rigid involves a different distribution of the actions acting on the walls, which can be favorable or unfavorable depending on the geometry of the structure. This will need to be taken into account on the basis of the specific conditions of the building on which one is working.

Increase of the resistance of the masonry elements

-*Scuci-cuci*: si tratta di una tecnica molto efficace ma che richiede molta esperienza da parte di chi la realizza in quanto gli elementi lapidei o laterizi ammalorati di ciascuna zona devono essere rimossi avendo cura di non rovinare le teste di quelli delle zone contigue sui quali dovrà essere eseguito il successivo ammorsamento dei nuovi elementi. Con essa è possibile ripristinare la continuità muraria agendo di volta in volta sulle porzioni lesionate, avendo cura di non compromettere la sicurezza statica del manufatto durante la messa in opera.

-*Iniezioni di miscele*: sarà da valutare primariamente la condizione di porosità della muratura e l'effettiva presenza di vuoti, condizione necessaria a rendere questa tecnica efficace. Si tratta di una tecnica utile a risarcire le fessurazioni sebbene non consenta di ripristinare la continuità muraria.

-*Ristilatura dei giunti* tramite scarnitura profonda dei giunti degradati e riempimento con malta di migliori caratteristiche, che andrà attentamente selezionata sulla base delle caratteristiche chimico-fisiche e meccaniche di quella originale. Si tratta di un intervento particolarmente efficace qualora realizzato in profondità su entrambi i lati della muratura.

-*Ristilatura armata*: prevede l'inserimento di piccole barre o piattine, metalliche o in materiali fibrorinforzati, all'interno dei giunti ristilati, migliorandone le prestazioni contrastando le deformazioni della muratura. Risulta particolarmente utile in elementi

-*Scuci-cuci*: this is a very effective technique but it requires a lot of experience on the part of those who make it as the damaged stone or brick elements of each area must be removed taking care not to damage the heads of those in the contiguous areas on the which the subsequent clamping of the new elements will have to be carried out. With it it is possible to restore the wall continuity by acting on the damaged portions from time to time, taking care not to compromise the static safety of the building during installation.

- *Injections of mixtures*: the porosity of the masonry and the actual presence of voids, a necessary condition to make this technique effective, will be evaluated primarily. This is a useful technique to compensate for cracks, although it does not allow the continuity of the walls to be restored.

-*Ristilatura of joints* by deep skiving of the degraded joints and filling with mortar with better characteristics, which must be carefully selected on the basis of the chemical-physical and mechanical characteristics of the original one. It is a particularly effective intervention if carried out in depth on both sides of the masonry.

-*Reinforced ristilatura*: involves the insertion of small bars or strips, metal or fiber-reinforced materials, inside the restyled joints, improving their performance by counteracting the deformations of the masonry. It is particularly useful in masonry elements mainly subject to compression loads (walls, large pillars, bell

murari prevalentemente soggetti a carico di compressione (cinte murarie, grossi pilastri, campanili...)

Rinforzo di pilastri e colonne

Le tecniche di rinforzo e consolidamento sono pressochè le stesse esposte prima, sebbene vengano applicate ad una conformazione geometrica differente, sviluppata in direzione prevalentemente verticale piuttosto che orizzontale:

- Realizzazione di cerchiature
- Ristilatura armata
- Applicazione di fasciature angolari
- Inserimento di catene per eliminare le spinte
- Ripartizione delle azioni spingenti su altri elementi di maggiore rigidezza

NB: Sebbene in questo caso non siano presenti elementi di questo tipo, per conformazione la Torre può essere assimilata nel suo complesso a questa tipologia architettonica, e prevedere dunque un analogo approccio di intervento, rielaborato in scala maggiore.

Rinforzo di elementi non strutturali

Sebbene si tratti di elementi non prettamente strutturali, un mancato adeguato ancoraggio a quelli che sono invece gli elementi strutturali potrebbe causare indebolimenti alla risposta

towers ...)

Reinforcement of pillars and columns

The reinforcement and consolidation techniques are almost the same as described above, although they are applied to a different geometric conformation, developed in a predominantly vertical rather than horizontal direction:

- Realization of hoops
- Armed re-drawing
- Application of angular bandages
- Inserting chains to eliminate thrusts
- Breakdown of the pushing actions on other elements of greater stiffness

NB: Although in this case there are no elements of this type, by conformation the Tower can be assimilated as a whole to this architectural typology, and therefore provide for a similar intervention approach, reworked on a larger scale.

Reinforcement of non-structural elements

Although these are not strictly structural elements, a lack of adequate anchoring to what are instead the structural elements could cause weakening of the overall

complessiva dell'edificio alle sollecitazioni e divenire fonti di pericolo in caso di episodi di sollecitazione straordinaria (ad esempio cedimenti causati dal sisma). Occorre pertanto trattare con attenzione anche questa categoria di elementi, incrementandone, quanto più possibile, la coesione con il resto della fabbrica architettonica.

Miglioramento delle fondazioni

Tecniche di intervento indirette:

- Miglioramento delle caratteristiche meccaniche del terreno tramite iniezioni;
- Realizzazione di opere di sostegno per impedire il rifluimento laterale del terreno;
- Modifica della distribuzione dei carichi sulla struttura.

Tecniche di intervento dirette:

- Realizzazione di sottofondazioni con martinetti idraulici a perdere;
- Allargamento della base della fondazione;
- Realizzazione di fondazioni su pali di grosso e medio diametro;
- Realizzazione di fondazioni su pali di piccolo diametro (micropali)

NB: Occorre sottolineare come in questo caso non siano stati rilevati apparenti problematiche nelle fondazioni esistenti.

response of the building to stresses and become sources of danger in the event of episodes of extraordinary stress (for example, failures caused by earthquake). It is therefore necessary to treat this category of elements with attention, increasing, as much as possible, its cohesion with the rest of the architectural structure.

Improvement of the foundations

Indirect intervention techniques:

- Improvement of the mechanical characteristics of the soil through injections;
- Construction of support works to prevent lateral flow of the ground;
- Modification of the distribution of loads on the structure.

Direct intervention techniques:

- Realization of foundations with disposable hydraulic jacks;
- Enlargement of the foundation base;
- Construction of foundations on large and medium diameter piles;
- Creation of foundations on small diameter piles (micropiles)

NB: It should be emphasized that in this case no apparent problems were found in the existing foundations.

5.2_ IL PROGETTO DI CONSERVZIONE E PROTEZIONE DEGLI ANNI 90': CONSIDERAZIONI A POSTERIORI

L'elaborazione combinata di tutti i dati raccolti e le indagini effettuate direttamente sul monumento in occasione dell'ultimo progetto diagnostico realizzato negli anni 90' esposto al capitolo precedente hanno permesso di concludere che la Torre presentasse un evidente attacco proveniente dall'esterno.

Nello specifico, esso era riscontrabile nell'aumento della porosità dei mattoni (in particolare di quelli costituenti la superficie esterna) ed una totale asportazione della malta di finitura pensata in origine per limitarne le infiltrazioni da acque meteoriche, causa, come si è poi effettivamente dimostrato, di fenomeni di degrado superficiale. Il quadro raccolto rendeva necessario un intervento di consolidamento e protezione dell'apparecchiatura muraria che, secondo le conoscenze dell'architetto e chimico Fabio Pigozzi, responsabile personalmente delle indagini, fosse da ricavarsi prima di tutto sulla base del rapporto esistente tra le differenti porosità degli stati esterni (decisamente superiore) e quelli interni.

In seguito alle necessarie operazioni di pulitura da depositi e concrezioni varie, si è previsto di realizzare un trattamento mirato a ridurre la porosità superficiale del laterizio e ad impedirne la penetrazione d'acqua tramite l'applicazione di un

5.2_ THE 90'S PRESERVATION AND PROTECTION PROJECT: IN THE AFTERMATH CONSIDERATIONS

The combined processing of all the data collected and the investigations carried out directly on the monument during the last diagnostic project carried out in the 90's exposed in the previous chapter made it possible to conclude that the Tower presented an evident attack from the outside.

Specifically, it was found in the increase of the porosity of the bricks (in particular of those constituting the external surface) and a total removal of the finishing mortar originally designed to limit infiltration by rainwater, a cause, as it was then actually demonstrated, of superficial degradation phenomena. The collected picture made it necessary to consolidate and protect the masonry equipment which, according to the knowledge of the architect and chemist Fabio Pigozzi, personally responsible for the investigations, was to be obtained first of all on the basis of the relationship existing between the different porosities of the states. external (much higher) and internal ones.

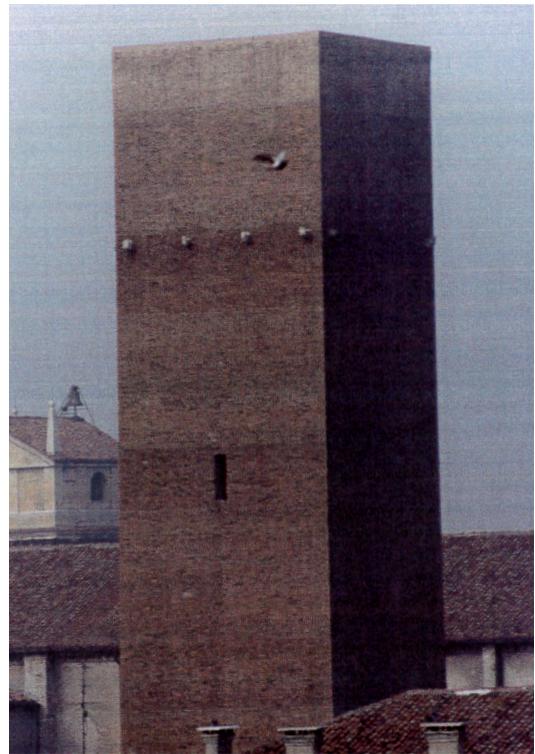
Following the necessary cleaning operations from various deposits and concretions, it was planned to carry out a treatment aimed at reducing the surface porosity of the brick and preventing water penetration through the application of a water repellent. The consolidating product, having to act directly on the brick, composed mainly of silicates



The Tower during the restoration intervention: here the moment of "ristilatura"



The Tower after the restoration intervention



The upper part of the Tower after the restoration intervention

idrorepellente. Il prodotto consolidante, dovendo agire direttamente sul laterizio, composto principalmente da silicati ottenuti dalla cottura dell'argilla, doveva dimostrare buona compatibilità a questa classe di minerali. Partendo da queste premesse e da esperienze pregresse su manufatti di questo tipo, la scelta è ricaduta su consolidanti a base di estere etilico dell'acido silicico e su un prodotto appartenente alla classe dei poli-alchil-silossani.⁷

Sebbene i prodotti ed i metodi di applicazione siano stati determinati in seguito ad opportune analisi chimiche in laboratorio effettuate preliminarmente all'effettivo intervento su tests e prove in situ, l'intervento scelto si ritiene piuttosto arretrato e a tratti dannoso per il manufatto. Nonostante l'applicazione sia stata studiata in modo da garantire il raggiungimento dei livelli di idrorepellenza e traspirabilità al vapore della sostanza protettiva, il risultato ottenuto non può considerarsi totalmente favorevole. Si tratta di interventi probabilmente usuali e comunemente accettati al momento dei lavori, ma che nel corso di questi 30 anni sono stati progressivamente abbandonati perché ritenuti eccessivamente invasivi e incoerenti con la muratura storica sulla quale venivano realizzati.

obtained from the firing of the clay, had to demonstrate good compatibility with this class of minerals. Starting from these premises and from previous experiences on artifacts of this type, the choice fell on consolidants based on the ethyl ester of silicic acid and on a product belonging to the class of poly-alkyl-siloxanes.⁷

Although the products and methods of application were determined following appropriate chemical analyzes in the laboratory carried out prior to the actual intervention on tests and in situ tests, the intervention chosen is considered rather backward and at times harmful for the product. Although the application has been designed in such a way as to ensure the achievement of the levels of water repellency and vapor permeability of the protective substance, the result obtained cannot be considered totally favorable. These are probably usual and commonly accepted interventions at the time of the works, but which over the course of these 30 years have been progressively abandoned because they were considered excessively invasive and inconsistent with the historical masonry on which they were built.

7. F. Pigozzi, *Relazione di restauro conservativo*, 1990

5.3_UNPROGETTODICONSERVAZIONE E CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE PER LA TORRE

Sulla base dei dati raccolti e delle indagini effettuate è possibile ipotizzare un progetto di conservazione e consolidamento per la Torre, che ne risolva le problematiche riscontrate e ne assicuri la trasmissibilità nel tempo in vista anche e soprattutto di un ipotetico riuso.

Il manufatto in oggetto rientra come si è detto, nella tipologia architettonica di *“Torri, campanili ed altre strutture a prevalente sviluppo verticale”*. Nel capitolo precedente si sono esposti i principali fattori dai quali dipendono le prestazioni strutturali di questa categoria, in modo da permettere di elaborare di conseguenza un adeguato progetto mirato al miglioramento delle stesse.

Migliorare il comportamento sismico di questa tipologia di edifici in muratura è infatti possibile, sebbene occorra partire dal presupposto che taluni elementi di vulnerabilità saranno, per concezione originaria, molto difficili da correggere, continuando a rappresentare un fattore di rischio per la sicurezza statica del manufatto: sezione muraria insufficiente, tipologia architettonica che intrinsecamente risulta più vulnerabile, presenza di elementi di indebolimento, utilizzo di materiali scadenti. Ciò avviene in particolare in quei territori che non possiedono, tradizionalmente, una memoria storica sismica che abbia portato

5.3_A PRESERVATION AND STRUCTURAL CONSOLIDATION PROJECT FOR THE TOWER

On the basis of the data collected and the investigations carried out, it is possible to hypothesize a conservation and consolidation project for the Tower, which solves the problems encountered and ensures its transmissibility over time in view also and above all of a hypothetical reuse.

As mentioned above, the artifact in question falls within the architectural typology of *“Towers, bell towers and other predominantly vertical structures”*. In the previous chapter, the main factors on which the structural performances of this category depend, have been explained, in order to consequently elaborate an adequate project aimed at improving them.

Improving the seismic behavior of this type of masonry buildings is in fact possible, although it is necessary to start from the assumption that some elements of vulnerability will be, by original conception, very difficult to correct, continuing to represent a risk factor for the static safety of the building: insufficient wall section, architectural typology that is intrinsically more vulnerable, presence of weakening elements, use of poor quality materials. This occurs in particular in those territories that do not traditionally have a seismic historical memory that has led to the development of construction methods that are effective in responding to seismic stresses. The difficulty

a sviluppare metodi di costruzione efficaci a rispondere a sollecitazioni sismiche. La difficoltà d'intervento aumenta qualora il bene a cui ci si appropria abbia anche un valore storico-artistico tale da presupporre il rispetto dei principi della conservazione, caso che si presenta, per chiare ragioni temporali, ogni qual volta ci si approcci a questa tipologia architettonica. A questo proposito è fondamentale valutare e prevedere l'eventuale risposta delle strutture prima e dopo l'intervento, evitando irreparabili danneggiamenti all'edificio.

Il progetto di conservazione

Grazie al rilievo diretto dei livelli accessibili e, in particolare, alla realizzazione delle ortofoto delle facciate esterne, che hanno permesso di analizzare dettagliatamente anche le porzioni più alte del manufatto altrimenti difficilmente consultabili, è stato possibile redigere un rilievo del degrado delle superfici piuttosto esaustivo. Le tipologie di degrado riscontrate, la cui nomenclatura è stata tratta dalle Norme UNI 11182:2006 e da ICOMOS - ISC Glossary, sono le seguenti:

- *Vegetazione infestante*
- *Patina biologica (licheni)*
- *Deposito superficiale (guano)*
- *Erosione*

of intervention increases if the asset to which one approaches also has a historical-artistic value such as to presuppose compliance with the principles of conservation, a case that arises, for clear temporal reasons, every time one approaches this typology. architectural. In this regard, it is essential to evaluate and predict the possible response of the structures before and after the intervention, avoiding irreparable damage to the building.

The conservation project

Thanks to the direct survey of the accessible levels and, in particular, to the creation of orthophotos of the external facades, which made it possible to analyze in detail even the highest portions of the building otherwise difficult to consult, it was possible to draw up a rather exhaustive survey of the degradation of the surfaces. The types of degradation found, whose nomenclature was taken from Norms UNI 11182: 2006 and from ICOMOS - ISC Glossary, are the following:

- *Infesting vegetation*
- *Biological patina (lichens)*
- *Superficial deposit (guano)*
- *Erosion*

- *Crosta nera*
- *Alterazione cromatica da dilavamento*
- *Lacuna di elementi*
- *Fessurazioni*
- *Erosione dei giunti di malta*

A queste si aggiungono danneggiamenti dovuti ad azione antropica scorretta, quali:

- *Patina artificiale*
- *Ristilatura*

Una volta analizzato lo stato di fatto del manufatto è stato possibile elaborare un adeguato progetto di conservazione. Una spiegazione puntuale degli interventi specifica per ogni tipologia di degrado è stata esposta nell'**elaborato 9**. Qui di seguito si espongono le macrocategorie di intervento previste sulla base del rilievo effettuato, in modo da avere un quadro complessivo dell'intervento conservativo.

Eliminazione della vegetazione infestante:

Immediatamente visibile in particolare sul prospetto principale, che affaccia a Nord, la presenza di vegetazione infestante, oltre a danneggiare visivamente la percezione del manufatto, può costituire una delle principali cause di indebolimento delle connessioni tra gli elementi. L'infiltrazione delle radici delle

- *Black crust*
- *Chromatic alteration due to washout*
- *Lack of elements*
- *Cracks*
- *Erosion of mortar joints*

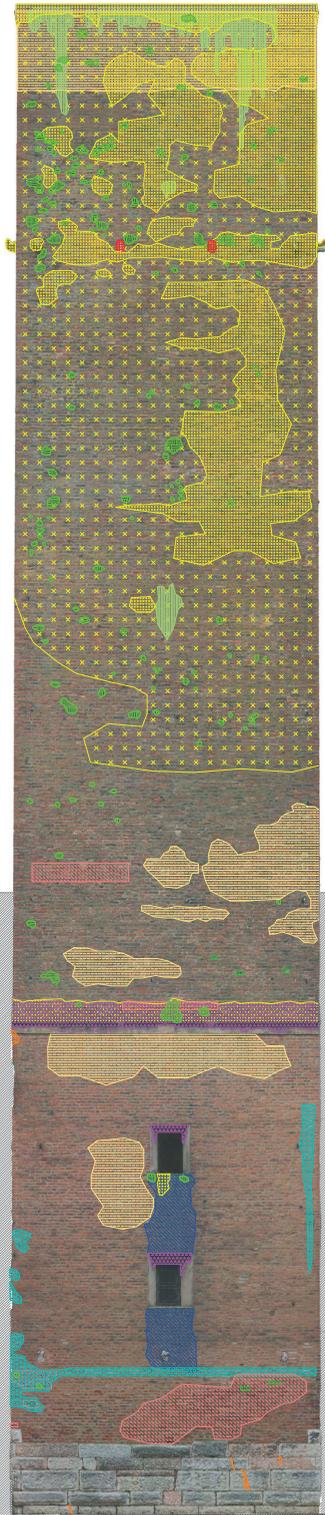
To these are added damage due to incorrect anthropogenic action, such as:

- *Artificial patina*
- *Ristilatura*

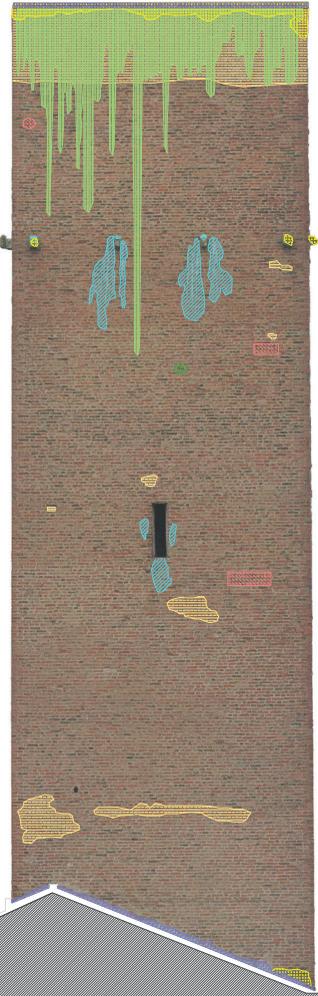
Once the actual state of the building had been analyzed, it was possible to develop an adequate conservation project. A detailed explanation of the specific interventions for each type of deterioration has been set out in the **board 9**. The macro-categories of intervention envisaged on the basis of the survey carried out are set out below, in order to have an overall picture of the conservative intervention.

Elimination of weeds:

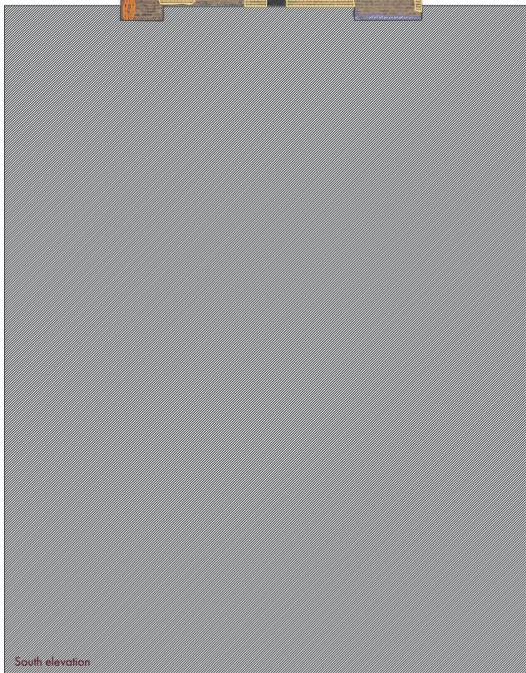
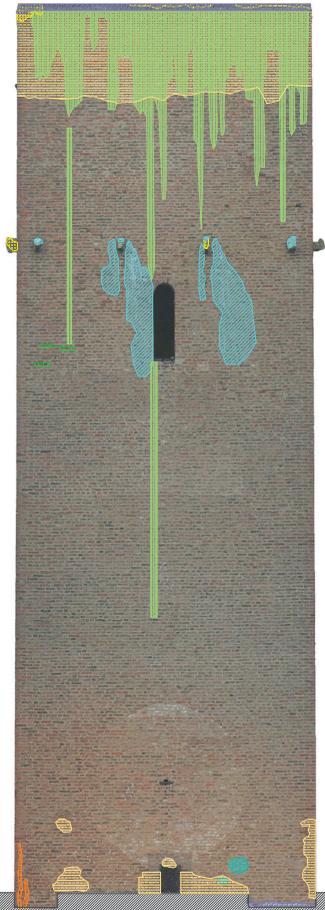
Immediatamente visibile in particolare on the main façade, which faces north, the presence of weed vegetation, in addition to visually damaging the perception of the building, can be one of the main causes of weakening of the connections between the elements. The infiltration of the roots of climbing plants



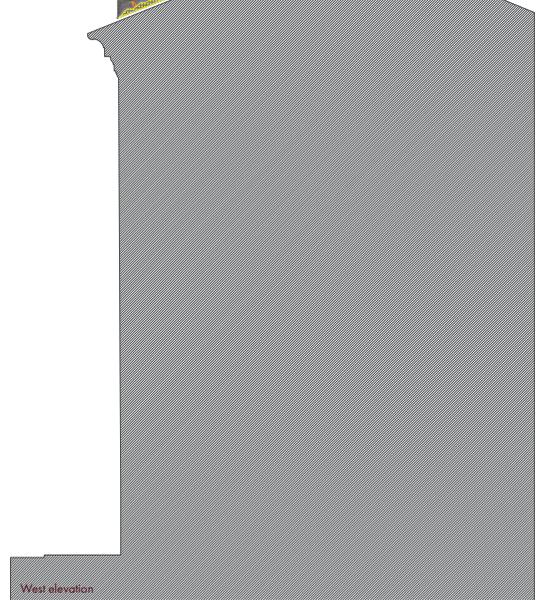
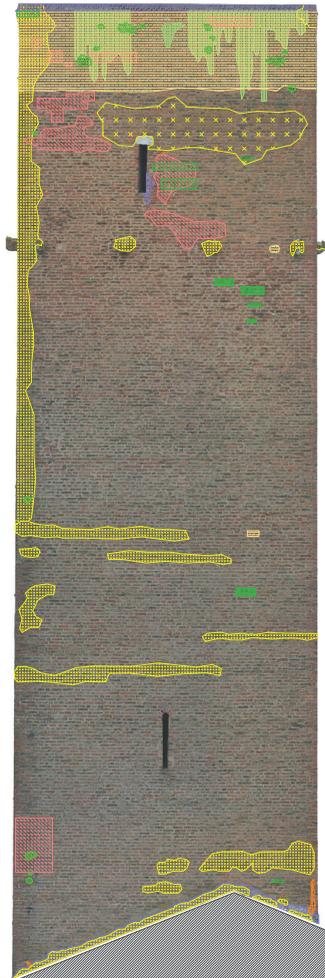
North elevation



East elevation



South elevation



West elevation

DECAY PATHOLOGIES

Normal 1/88 UNI 11182:2006
ICOMOS – ISC Glossary



CHROMATIC ALTERATION | percolation

"Alteration manifested through the variation of one or more parameters that define color: hue, clarity, saturation. It can manifest itself with different morphologies depending on the conditions and can refer to large or localized areas."

VISIBLE EFFECTS: Chromatic alteration of the masonry in the portion below a hole that is darkened, due to the continuous percolation of rainwater

INDIRECT EFFECTS: Accumulation of moisture in the masonry and consequent detachment of material.



POSSIBLE CAUSES: Presence of a discontinuity in the masonry (ex: window hole) in the absence of an adequate flashing that favors the accumulation and percolation of rainwater



FLAKING | brick

"Total or partial detachment of parts (flakes) often in correspondence of solutions of continuity of the original material. The flakes, generally made up of apparently unaltered material, have an irregular shape and a consistent and uneven thickness. Underneath, efflorescence or biological patinas may be present"

VISIBLE EFFECTS: Lack of portions of material in the form of inhomogeneous flakes

INDIRECT EFFECTS: Further detachment and loss of portions due to weakening of the material.



POSSIBLE CAUSES: Exposure to atmospheric agents; Presence of humidity in the masonry



WEED VEGETATION

"Presence of herbaceous, shrubby, or tree-like individuals rooted in the masonry."

VISIBLE EFFECTS: Presence of weed vegetation more or less rooted in the masonry.

INDIRECT EFFECTS: Root development of weed vegetation resulting in possible detachment between inner layers of masonry and loss of material.



POSSIBLE CAUSES: Accumulation of moisture; Attack of autotrophic organisms (unicellular bacteria, algae, lichens, higher plants).



PATINA

"Natural modification of the surface that cannot be linked to degradation phenomena and can be perceived as a change in the original color of the material. In the case of artificially induced alterations, the term artificial patina is preferred"

VISIBLE EFFECTS: Chromatic alteration of some portion of the masonry



INDIRECT EFFECTS: Chemical alteration of materials and possible weakening of the masonry

POSSIBLE CAUSES: Deposit of more or less foreign material in thin layer



SURFACE DEPOSIT | guano

"Accumulation of foreign materials of various kinds such as dust, soil, guano, etc. It has variable thickness, generally poor consistency and poor adhesion to the underlying material."

VISIBLE EFFECTS: Whitish deposit with distribution given by falling and sliding guano.

INDIRECT EFFECTS: Chemical alteration of materials and possible weakening of masonry.



POSSIBLE CAUSES: Presence of projecting elements of support for the birds.



LOCALIZED BIOLOGICAL PATINA | lichens

"Thin layer adhering to the surface and of obvious biological nature, varying in color mostly green. It consists primarily of microorganisms to which dust, soil, etc. may adhere."

VISIBLE EFFECTS: Macroscopically detectable presence of micro and/or macro organisms, visible in the form of more or less regular yellowish spots.

INDIRECT EFFECTS: Development of colonization and eventual detachment of parts of the supporting substrate.



POSSIBLE CAUSES: Action of autotrophic microorganisms; Presence of humidity and water; Morphological characteristics of the substrate (roughness, asperity, indentations, etc.); Orientation



DIFFUSED BIOLOGICAL PATINA | lichens

"Thin layer adhering to the surface and of obvious biological nature, varying in color mostly green. It consists primarily of microorganisms to which dust, soil, etc. may adhere."

VISIBLE EFFECTS: Macroscopically detectable presence of micro and/or macro organisms, visible in the form of more or less regular yellowish spots.

INDIRECT EFFECTS: Development of colonization and eventual detachment of parts of the supporting substrate.



POSSIBLE CAUSES: Action of autotrophic microorganisms; Presence of humidity and water; Morphological characteristics of the substrate (roughness, asperity, indentations, etc.); Orientation



FISSURATION

"Degradation that is manifested by the formation of solutions of continuity in the material and that may involve the mutual displacement of parts."

VISIBLE EFFECTS: Cracking of the brick material, which is discontinuous more or less superficially.

INDIRECT EFFECTS: Worsening of the cracking with possible detachment and loss of part of the material and weakening of the structure.



POSSIBLE CAUSES: Freeze and thaw cycles; Degradation of interface between bricks and mortars; Seismic events / ground movements.



LACUNA | stone

"Fall and loss of parts"

VISIBLE EFFECTS: Detachment and loss of more or less substantial portions of the material, visible as a loss of continuity in the appearance of the masonry.

INDIRECT EFFECTS: Worsening in the detachment of material with consequent loss of continuity and cohesion of the masonry.



POSSIBLE CAUSES: Humidity and freeze-thaw cycles; Infestation vegetation; Injuries due to mechanical traumas; Loss of adhesion between brick and mortar



EROSION | malta

"Removal of material from the surface which in most cases is compact, due to processes of different nature"

VISIBLE EFFECTS: Detachment and loss of more or less substantial portions of the constituent material of the stitatura.

INDIRECT EFFECTS: Worsening in the detachment of material with consequent loss of continuity and cohesion of the masonry.



POSSIBLE CAUSES: Humidity and freeze-thaw cycles; Infestation vegetation; Injuries due to mechanical traumas; Loss of adhesion between brick and mortar



BLACK CRUST

"Modification of the surface layer of stone material. Of variable thickness, generally hard, the crust is distinguishable from the underlying parts by its morphological characteristics and often by its color. It can also detach spontaneously from the substrate which, in general, is disintegrated and/or powdery."

VISIBLE EFFECTS: Surface cementing of particulate pollutants

INDIRECT EFFECTS: Chemical alteration and detachment of material.



POSSIBLE CAUSES: Action of microorganisms and pollutants; Oxidation; Poor air circulation; Residues from the combustion of petroleum-based oils

MODIFICATIONS FROM IMPROPER HUMAN ACTION



RISTILATURA

"Ristilatura of the mortar joints"

NB: All the external surfaces have been subjected to ristilatura, in different period and with different materials, that have altered the original perception of the masonry. In the survey, only the most evident interventions have been enhanced.

VISIBLE EFFECTS: Alteration of the visual continuity of the original color of the masonry, involving both the bedding mortar and, indirectly, the brick.

INDIRECT EFFECTS: Chemical alteration due to the interaction of the materials used for restriping with those constituting the original masonry.



POSSIBLE CAUSES: Human action carried out without the necessary knowledge and attention for the historical masonry.



ARTIFICIAL PATINA | Cementitious mortar

"Modification of the surface unrelated to degradation phenomena and perceivable as a change in the original color of the material. In the case of artificially induced alterations, the term artificial patina is preferred."

VISIBLE EFFECTS: Black deposit with distribution given by falling and slipping of waterproofing material used in roofing.

INDIRECT EFFECTS: Chemical alteration of materials and possible weakening of the masonry.

POSSIBLE CAUSES: Improper human action



ARTIFICIAL PATINA | Bitumen

"Modification of the surface not connectable to degradation phenomena and perceivable as a variation of the original color of the material. In the case of artificially induced alterations, the term artificial patina is preferred."

VISIBLE EFFECTS: Black deposit with distribution given by falling and slipping of waterproofing material used during roofing work.

INDIRECT EFFECTS: Chemical alteration of materials and possible weakening of masonry.

POSSIBLE CAUSES: Dripping of material resulting from improper human action on the artifact.



piante rampicanti all'interno dei giunti può infatti provocare il dissesto ed eventualmente la caduta di porzioni di materiale. Fondamentale al ripristino dell'immagine e dell'integrità muraria risulta dunque l'eliminazione meccanica di questa tipologia di degrado, operata facendo attenzione a non danneggiare ulteriormente la coesione, già debole, del paramento murario. A questa prima pulitura meccanica seguirà un'ulteriore pulitura leggera della muratura tramite spazzole. I giunti danneggiati verranno poi ristilati in modo da ripristinare la continuità muraria perduta che verrà protetta tramite l'applicazione di prodotto biocida che impedisca il proliferare di attacchi microbiologici e algali.

Pulitura da depositi, patine e concrezioni:

Considerata la presenza di numerose tipologie di deposito superficiale (crosta nera, guano, alterazione cromatica dovuta al dilavamento delle acque meteoriche, patine biologiche e artificiali) a seconda della categoria e dello stato di degrado riscontrati sarà da prediligere una o l'altra tecnica di rimozione precedentemente descritte: meccanica tramite spazzole o altri strumenti adeguati, ad acqua pura, a secco tramite aria compressa o sabbia, ad impacco assorbente, tramite sostanze chimiche. Considerando l'invasività di questi processi, la tecnica andrà selezionata con attenzione con l'aiuto di personale adeguatamente specializzato e informato

inside the joints can in fact cause instability and possibly the fall of portions of material. The mechanical elimination of this type of degradation is therefore fundamental to restoring the image and integrity of the walls, taking care not to further damage the already weak cohesion of the wall facing. This first mechanical cleaning will be followed by a further light cleaning of the masonry with brushes. The damaged joints will then be restyled in order to restore the lost wall continuity which will be protected by applying a biocide product that prevents the proliferation of microbiological and algal attacks.

Cleaning of deposits, patinas and concretions:

Considering the presence of numerous types of surface deposits (black crust, guano, chromatic alteration due to the run-off of rainwater, biological and artificial patinas), depending on the category and the state of degradation found, one or the other removal technique should be preferred. previously described: mechanics with brushes or other suitable tools, with pure water, dry with compressed air or sand, with absorbent pack, with chemical substances. Considering the invasiveness of these processes, the technique must be carefully selecte\ compromise the masonry. To prevent the recurrence of the avoidable phenomena of

sul manufatto in oggetto, in modo da evitare di compiere scelte che comprometterebbero irreparabilmente la muratura. Per prevenire il ripresentarsi dei fenomeni evitabili dell'alterazione cromatica causata dal dilavamento e del deposito di guano, previa pulitura della superficie, sarà necessario formulare una soluzione architettonica e dissuasori adeguati in prossimità delle bucatore e degli appoggi in pietra sommitali (zone maggiormente soggette a questi fenomeni) che ne impediscano la ricomparsa.

Fissaggio di elementi cedevoli ed eventuale ripristino degli elementi perduti

Si tratta di un intervento fondamentale ad evitare eventuali ulteriori cadute di materiale e a ripristinare la continuità visiva della muratura. Si procederà all'esportazione degli elementi incoerenti e che non garantiscono l'aderenza al substrato, alla parziale ricostruzione con malta e cocchiopesto della continuità superficiale dei laterizi per contrastare le infiltrazioni d'acqua e all'applicazione di un velo di malta di calce, sabbia fine e polvere di mattone a formare una pellicola di protezione per il laterizio particolarmente poroso. Sarà da prestare particolare attenzione alla porzione sommitale, più sottile rispetto al resto della struttura muraria sottostante (circa 1m di spessore invece di 2.5m) e allo stesso tempo maggiormente soggetta alle oscillazioni cui la Torre è inevitabilmente

chromatic alteration caused by the washout and the deposit of guano, after cleaning the surface, it will be necessary to formulate an architectural solution and suitable bollards near the holes and the stone supports at the top (areas most subject to these phenomena) that prevent its reappearance.

Fixing of yielding elements and eventual restoration of lost elements

This is a fundamental intervention to avoid any further falls of material and to restore the visual continuity of the masonry. We will proceed to export the incoherent elements that do not guarantee adherence to the substrate, the partial reconstruction with mortar and cocchiopesto of the surface continuity of the bricks to counteract water infiltration and the application of a layer of lime mortar, sand fine and brick dust to form a protective film for the particularly porous brick. Particular attention should be paid to the top portion, thinner than the rest of the underlying wall structure (about 1m thick instead of 2.5m) and at the same time more subject to the oscillations to which the Tower is inevitably subject (caused for example by wind and other meteorological phenomena). As regards the elements now lost, we will

sottoposta (provocate ad esempio dal vento e dagli altri fenomeni meteorologici). Per quanto si attiene agli elementi ormai perduti si procederà, ove possibile, alla ricostruzione di essi tramite utilizzo di materiali compatibili con il substrato originale.

Ristilatura dei giunti:

Sul manufatto non si riscontrano episodi preoccupanti e diffusi di mancanza di giunti, quanto più rari e limitati episodi di erosione di essi. Il manufatto è già stato soggetto, come si è detto, ad interventi di ristilatura localizzata in occasione degli interventi subiti nel corso degli anni, che gli hanno permesso di giungere in buono stato fino ad oggi. Si tratta infatti di una tecnica che permette sì di ripristinare visivamente la continuità muraria ma soprattutto di recuperare la coesione tra gli elementi e dunque contribuire alla stabilità della struttura. Fondamentale alla buona riuscita dell'intervento sarà la scelta dei materiali con cui realizzare la ristilatura, che dovranno porsi in continuità con quelli originali per evitare differenziazioni di comportamento in risposta alle sollecitazioni che provocherebbero irreparabili scompensi alla struttura. Come precedentemente descritto, nelle malte di allettamento, si è riscontrata una sostanziale omogeneità nel tipo di impasti utilizzati, costituiti essenzialmente da calce ed inerti a varie granulometrie e colorazioni tipiche delle sabbie provenienti dal lago. La nuova calce

proceed, where possible, to reconstruct them through the use of materials compatible with the original substrate.

Ristilatura of the joints:

There are no worrying and widespread episodes of lack of joints on the building, how much more rare and limited episodes of erosion of them. The building has already been subjected, as mentioned, to localized restyling interventions on the occasion of the interventions undergone over the years, which have allowed it to arrive in good condition until today. It is in fact a technique that allows to visually restore the wall continuity but above all to recover the cohesion between the elements and therefore contribute to the stability of the structure. Fundamental to the success of the intervention will be the choice of materials with which to carry out the restyling, which must be in continuity with the original ones to avoid differentiation of behavior in response to the stresses that would cause irreparable imbalances to the structure. As previously described, in the bedding mortars, a substantial homogeneity was found in the type of mixtures used, essentially consisting of lime and aggregates of various grain sizes and colors typical of the sands coming from the lake. The new lime used, of the hydraulic type, must be chosen so as to be compatible

utilizzata, di tipo idraulico, andrà scelta in modo da risultare compatibile con il substrato originale.

Ripristino delle fessurazioni:

Sebbene, come si è detto, la struttura presenti un buono stato di conservazione, le fessurazioni presenti riscontrate andranno analizzate e catalogate in superficiali, profonde, e passanti, per stabilire il grado di rischio di tali discontinuità e prevederne un eventuale ripristino. La comparsa di una fessurazione potrebbe rappresentare semplicemente la soluzione di continuità adottata dalla muratura per rispondere ad un'eventuale deformazione subita, trovando in questo modo un nuovo stato di equilibrio o, al contrario, rappresentare un segnale di indebolimento che richieda un intervento il più possibile immediato. La stuccatura delle fessure passanti verrà eseguita con una malta elastica compatibile con quella originaria, che ripristini le discontinuità garantendo un adeguato grado di elasticità alla struttura. Qualora invece il quadro fessurativo dovesse risultare preoccupante, si procederà tramite opere di scuci-cuci localizzate volte a ripristinare la coesione del paramento murario. In alcuni casi, il ripristino delle fessurazioni sarà più che altro la soluzione visiva al problema, che andrà risolto dal punto di vista strutturale con l'individuazione di soluzioni che redistribuiscano i carichi cui la struttura è soggetta o la rinforzino in

with the original substrate.

Repair of cracks:

Although, as mentioned, the structure has a good state of conservation, the cracks found present will be analyzed and cataloged in superficial, deep, and passing, to establish the degree of risk of these discontinuities and to foresee a possible restoration. The appearance of a crack could simply represent the solution of continuity adopted by the masonry to respond to any deformation suffered, thus finding a new state of equilibrium or, on the contrary, represent a weakening signal that requires intervention as much as possible. immediate. The grouting of the through cracks will be carried out with an elastic mortar compatible with the original one, which restores the discontinuities ensuring an adequate degree of elasticity to the structure. If, on the other hand, the cracking pattern should be worrying, localized unscrewing works will be carried out in order to restore the cohesion of the wall face. In some cases, the restoration of cracks will be more than anything else the visual solution to the problem, which will be solved from a structural point of view with the identification of solutions that redistribute the loads to which the structure is subject or reinforce it in order to make it capable of withstand the ordinary and exceptional stresses to which it will be

DECAY PATHOLOGIES

Normal 1/88 UNI 11182:2006
ICOMOS – ISC Glossary



CHROMATIC ALTERATION | percolation

"Alteration manifested through the variation of one or more parameters that define color: hue, clarity, saturation. It can manifest itself with different morphologies depending on the conditions and can refer to large or localized areas."

CLEANING: Mechanical cleaning

PRESERVATION: Restoration, if necessary, of damaged or corroded elements

PROTECTION: Execution of protective slides with cocciopesto mortar to remove water



FLAKING | brick

"Total or partial detachment of parts (flakes) often in correspondence of solutions of continuity of the original material. The flakes, generally made up of apparently unaltered material, have an irregular shape and a consistent and uneven thickness. Underneath, efflorescence or biological patinas may be present"

CLEANING: Removal of inconsistent elements which cannot be guaranteed adherence to the substrate and consequent general air cleaning

PRESERVATION: Restoration of wall continuity through partial or total reconstruction of damaged elements

PROTECTION: Realization of "sgramatura", with lime milk and brick powder



WEED VEGETATION

"Presence of herbaceous, shrubby, or tree-like individuals rooted in the masonry."

CLEANING: Mechanical removal of weeds and light mechanical cleaning of the wall surface by brushing

PRESERVATION: Restoration of cavities formed by the removal of vegetation

PROTECTION: Application of biocidal product



PATINA

"Natural modification of the surface that cannot be linked to degradation phenomena and can be perceived as a change in the original color of the material. In the case of artificially induced alterations, the term artificial patina is preferred"

CLEANING: General cleaning by washing with deionized water, brushes, scalpel, low pressure compressed air and neutral detergent.

PRESERVATION: Restoration, if necessary, of any damaged items.

PROTECTION: Periodical scheduled cleaning



SURFACE DEPOSIT | guano

"Accumulation of foreign materials of various kinds such as dust, soil, guano, etc. It has variable thickness, generally poor consistency and poor adhesion to the underlying material."

CLEANING: General cleaning by washing with deionized water, brushes, scalpel, low pressure compressed air and neutral detergent.

PRESERVATION: Restoration, if necessary, of damaged or corroded elements

PROTECTION: Installation of deterrent mechanism for birds



LOCALIZED BIOLOGICAL PATINA | lichens

"Thin layer adhering to the surface and of obvious biological nature, varying in color mostly green. It consists primarily of microorganisms to which dust, soil, etc. may adhere."

CLEANING: Generalized cleaning by washing with deionized water, brushes, scalpel, low pressure compressed air and neutral detergent. Use of compresses, brushing, low pressure microabrasive techniques for the removal of any residues.

PRESERVATION: Timely restoration of the damaged elements, if present with materials as similar as possible to the original

PROTECTION: Spray application of water repellent products with added algicide.



DIFFUSED BIOLOGICAL PATINA | lichens

"Thin layer adhering to the surface and of obvious biological nature, varying in color mostly green. It consists primarily of microorganisms to which dust, soil, etc. may adhere."

CLEANING: General cleaning by washing with deionized water, brushes, scalpel, low pressure compressed air and neutral detergent.

PRESERVATION: Timely restoration of the damaged elements, if present with materials as similar as possible to the original

PROTECTION: Spray application of oligometric water repellent products in alcohol solution with added algicide





FISSURATION

"Degradation that is manifested by the formation of solutions of continuity in the material and that may involve the mutual displacement of parts."

CLEANING: General cleaning with compressed air to remove any dust residues.

PRESERVATION: Execution of "scuci-cuci" where necessary or filling of the cracks with binder (hydraulic lime) chemically and mechanically compatible to the original.

PROTECTION: Execution of containment hoops at the riskier height



LACUNA | stone

"Fall and loss of parts"

CLEANING: General cleaning of the missing portion.

PRESERVATION: Restoring the missing element using materials chemically and mechanically compatible to the original.

PROTECTION: Insertion of coupling pins in the yielding elements



EROSION | malta

"Removal of material from the surface which in most cases is compact, due to processes of different nature"

CLEANING: General cleaning with compressed air to remove any dust residues.

PRESERVATION: Localized restyling with binder (hydraulic lime) chemically and mechanically compatible with the original materials

PROTECTION: Realization of "sgramatura", with lime milk and brick powder



BLACK CRUST

"Modification of the surface layer of stone material. Of variable thickness, generally hard, the crust is distinguishable from the underlying parts by its morphological characteristics and often by its color. It can also detach spontaneously from the substrate which, in general, is disintegrated and/or powdery."

CLEANING: General cleaning by washing with deionized water, brushes, scalpel, low pressure compressed air and neutral detergent.

PRESERVATION: Restore damaged items if necessary

PROTECTION: Periodical scheduled cleaning



MODIFICATIONS FROM IMPROPER HUMAN ACTION



RISTILATURA

"Ristolatura of the mortar joints"

CLEANING: General cleaning with compressed air to remove any dust residues.

PRESERVATION: Correction of chromatic alterations and removal of materials, if chemically and mechanically damaging

PROTECTION: More attention for the next interventions



ARTIFICIAL PATINA_Cementitious mortar

"Modification of the surface unrelated to degradation phenomena and perceivable as a change in the original color of the material. In the case of artificially induced alterations, the term artificial patina is preferred."

CLEANING: Mechanical removal of the material layer

PRESERVATION: Restore, if necessary, the underlying elements removed or damaged during mechanical cleaning.

PROTECTION: More attention for the next interventions



ARTIFICIAL PATINA_Bitumen

"Modification of the surface not connectable to degradation phenomena and perceivable as a variation of the original color of the material. In the case of artificially induced alterations, the term artificial patina is preferred."

CLEANING: Mechanical cleaning with suitable brushes

PRESERVATION: Restore, if necessary, the underlying elements removed or damaged during mechanical cleaning.

PROTECTION: More attention for the next interventions



modo da renderla capace di sopportare le sollecitazioni ordinarie ed eccezionali cui verrà sottoposta. L'unico episodio fessurativo preoccupante al momento risulta essere quello già menzionato dello spigolo Sud-Ovest, che andrà attentamente monitorato ed eventualmente rinforzato anche con sistemi di consolidamento strutturale.

Occorre sottolineare come si tratti di interventi strettamente collegati l'uno all'altro, che risolvendo direttamente una problematica evitano al contempo l'insorgere di un'altra. E' proprio per questo che il progetto di conservazione andrà formulato nel suo complesso fin da subito, tenendo conto del quadro generale dello stato di degrado e dei risultati che ci si aspetta di raggiungere.

subjected. The only worrying crack episode at the moment appears to be the one already mentioned in the South-West corner, which will be carefully monitored and possibly also reinforced with structural consolidation systems.

It should be emphasized that these are interventions that are closely linked to each other, which by directly solving one problem at the same time avoid the emergence of another. It is precisely for this reason that the conservation project will be formulated as a whole immediately, taking into account the general framework of the state of decay and the results that are expected to be achieved.

Il progetto di consolidamento strutturale

Sulla base del rilievo diretto delle strutture e dei risultati ottenuti dall'analisi di vulnerabilità sismica descritti al capitolo precedente (Precisamente *"Analisi qualitativa e valutazione con modelli meccanici semplificati (LV1)"*) è stato possibile realizzare un quadro generale dello stato di sicurezza sismica del manufatto in oggetto. Non si tratta sicuramente di un'analisi esaustiva, che sarebbe indispensabile nel caso in cui si procedesse concretamente ad un ipotetico intervento di riparazione o miglioramento, ma rappresenta comunque uno strumento utile a farsi un'idea generale dell'eventuale stato di sollecitazione e della capacità di risposta della Torre, comparabile a scala territoriale con tutti gli altri edifici storici vincolati su cui questa verifica è stata realizzata.

Il consolidamento degli edifici monumentali a torre presenta molto spesso significative difficoltà, sia di ordine teorico che realizzativo, a causa della specificità geometrica del manufatto e delle sue complesse condizioni statiche. Individuare criteri e metodi di intervento generali, applicabili ai singoli casi, risulta dunque indispensabile per favorirne la salvaguardia, sebbene ogni caso vada poi approfondito singolarmente in modo da individuarne le esigenze specifiche.

Nel caso della Torre, le analisi di vulnerabilità sismica hanno dimostrato come l'edificio sia verificato, per conformazione geometrica e materica in tutte le sue sezioni. Ciò a riprova

The structural consolidation project

Based on the direct survey of the structure and the results obtained from the seismic vulnerability analysis described in the previous chapter (specifically *"Qualitative analysis and evaluation with simplified mechanical models (LV1)"*) it was possible to create a general picture of the state of seismic safety of the building in question. It is certainly not an exhaustive analysis, which would be indispensable in the event that a hypothetical repair or improvement intervention was actually carried out, but it still represents a useful tool to get a general idea of the possible state of stress and capacity response of the Tower, comparable on a territorial scale with all the other listed historic buildings on which this verification was carried out.

The consolidation of monumental tower buildings often presents significant difficulties, both of a theoretical and constructional nature, due to the geometric specificity of the building and its complex static conditions. Identifying general criteria and methods of intervention, applicable to individual cases, is therefore essential to favor their safeguard, although each case must then be investigated individually in order to identify its specific needs.

In the case of the Tower, the seismic vulnerability analyzes have shown how the building is verified, for its geometric and material conformation in all its sections. This

di come effettivamente la Torre abbia resistito fino ad oggi agli episodi sismici cui è stata sottoposta, uscendone pressochè intatta e con dichiarazione di agibilità da parte delle autorità competenti.

Anche a livello visivo, un'attenta analisi dei prospetti esterni ed in particolare del quadro fessurativo che li coinvolge, indispensabile in questi casi ad individuare eventuali vulnerabilità della struttura, ha palesato come la muratura presenti una quasi totale continuità. Un unico punto di vulnerabilità è stato individuato nello spigolo Sud-Ovest, e più precisamente nella porzione di contatto con la copertura dell'edificio Ovest dell'Archivio. Si riscontra la presenza di una **discontinuità** più o meno profonda (ma non passante) in corrispondenza di questo spigolo sia sul prospetto **Sud** che **Ovest**, palesando come in questo punto le sollecitazioni abbiano evidentemente minato la continuità muraria.

A questo proposito, l'unico intervento effettivamente urgente che si suggerisce di realizzare, a seguito del monitoraggio e della verifica della porzione in esame, **è una cerchiatura all'altezza della fessurazione, che garantisca il mantenimento della coesione tra le murature.** Si tratterà di una cerchiatura realizzata con elementi metallici o materiali compositi che eviti l'insorgere di concentrazioni di tensioni in corrispondenza degli spigoli delle murature. La cerchiatura verrà opportunamente progettata in modo

proves how effectively the Tower has resisted until today to the seismic episodes to which it was subjected, leaving it almost intact and with a declaration of viability by the competent authorities.

Also on a visual level, a careful analysis of the external elevations and in particular of the crack pattern that involves them, indispensable in these cases to identify any vulnerabilities of the structure, revealed that the masonry has an almost total continuity. A single point of vulnerability was identified in the South-West corner, and more precisely in the portion of contact with the roof of the West Archives building. There is a more or less deep (but not passing) **discontinuity** at this edge both on the **South and West** elevation, revealing how in this point the stresses have evidently undermined the wall continuity.

In this regard, the only truly urgent intervention that is suggested to be carried out, following the monitoring and verification of the portion in question, is a **ring at the height of the crack, which ensures the maintenance of cohesion between the walls.** It will be a hoop made with metal elements or composite materials that avoids the onset of stress concentrations at the edges of the walls. The hoop will be suitably designed in such a way as to place four metal angles suitably modified at the four corners of the tower to accommodate an adequate number of tie rods for each face of the tower in order to collect the entire wall mass inside it, with the possibility, if necessary

da porre ai quattro angoli della torre quattro angolari metallici opportunamente modificati per accogliere un numero adeguato di tiranti per ogni faccia della torre in modo da raccogliere al suo interno l'intera massa muraria, con la possibilità, se necessario, di mettere in compressione la struttura volumetrica della torre.

Le cerchiature vengono solitamente collocate all'esterno del corpo da rinforzare, ma potrebbero anche essere collocate internamente, così da renderle meno appariscenti. In questo caso è necessario realizzare un collegamento tra la muratura e gli anelli in acciaio mediante connettori metallici radiali, diffusi. Si tratta in ogni caso di una tecnica che può essere applicata a elementi snelli, di differente forma planimetrica, e garantisce sempre un benefico effetto contenitivo della muratura in direzione perimetrale.

, to put the volumetric structure of the tower in compression.

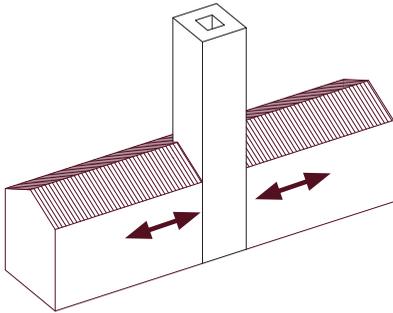
The hoops are usually placed outside the body to be reinforced, but they could also be placed internally, so as to make them less conspicuous. In this case it is necessary to make a connection between the masonry and the steel rings by means of radial, diffused metal connectors. In any case, it is a technique that can be applied to slender elements, of different planimetric shape, and always guarantees a beneficial containment effect of the masonry in the perimeter direction.

1. THE THRUST OF THE ADJACENT BUILDINGS

Injuries of disconnections due to the not perfect clamping of the two buildings walls

The presence of any adjacent buildings may provide the building with an additional degree of horizontal constraint that preserves at least the portions "canned" from possible collapses but, at the same time, represent an additional weakening element in case of differentiated stresses associated with a low level of clamping.

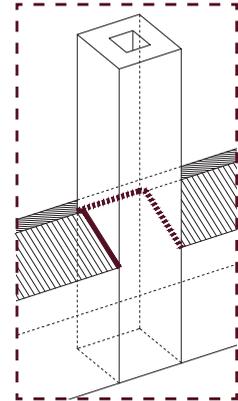
CURRENT STATE



CONSOLIDATION PROJECT

Physical cut through structural joints

Considering the reciprocal differential thrusts transmitted by the two bodies due to the different construction typology and the spatial configuration, an effective strategy to adopt could be to foresee the physical transverse cut between the two bodies realizing a separation joint to eliminate the compression current which transfers part of the load from one building to another

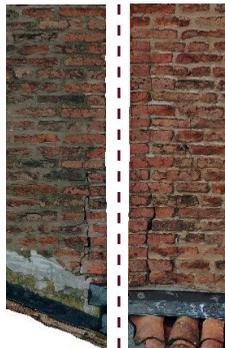
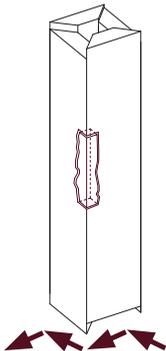


2. THE DEGREE OF CLAMPING OF THE WALLS

The edges vertical cracking

In the case of properly executed cantonal masonry, the possible collapse out of the plane can develop with the involvement of more or less large portions of masonry. It is a mechanism of rotation of portions of masonry around horizontal or vertical hinges, which usually results from differential subsidence in the foundation soil as a result, for example, of seismic phenomena. The reading of the cracking framework in this case can provide important indications on the type of activated mechanism, the response of the masonry and the possible consolidation interventions.

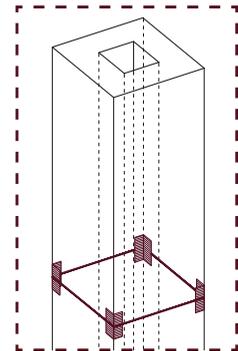
CURRENT STATE



CONSOLIDATION PROJECT

External reinforcing rings

Made with metal elements or composite materials, they must be designed to avoid the onset of stress concentrations at the edges of the walls. They must be planned to be applied in different horizontal sections of the tower, properly designed depending on the particular local conditions detected on the structure.



VI

the reuse proposal

6_1 IL PROGETTO DI RESTAURO E RIUSO SUL PATRIMONIO ARCHITETTONICO

La trasformazione degli edifici esistenti è da sempre parte integrante del concetto stesso di architettura, che si evolve inevitabilmente nel tempo per effetto dell'usura e delle esigenze d'uso. Mai come oggi, tuttavia, fare architettura può prescindere dal confrontarsi con la preesistenza, allo scopo di incrementarne la qualità architettonica e le capacità prestazionali richieste dalla modernità, per poi effettuare un riuso che ne assicuri la trasmissibilità nei secoli. Per evitare che questo processo di riqualificazione porti ad irreparabili perdite, tuttavia, è indispensabile acquisire consapevolezza del valore storico dell'opera su cui si interviene, rapportandosi in maniera il più possibile dialettica e ponendosi in continuità tra ciò che è stato, ciò che è e ciò che sarà. Un qualunque approccio con la preesistenza non può prescindere dunque da una conoscenza approfondita del manufatto con il quale ci si sta rapportando, della sua storia, dal ruolo e dalle trasformazioni subite nel corso dei secoli. Un intervento consapevole, tuttavia, non può non partire anche dall'acquisizione di solide basi teoriche e modelli di riferimento che permettano di affrontare più consapevolmente l'intervento ed evitare irreparabili perdite sul patrimonio storico artistico che il manufatto rappresenta.

Il dibattito tra conservazione e restauro, sulle differenze intrinseche di questi concetti

6_1 THE RESTORATION AND REUSE PROJECT ON ARCHITECTURAL HERITAGE

The transformation of existing buildings has always been an integral part of the concept of architecture, which inevitably evolves over time due to wear and use. Never as today, however, architecture can do without confronting the pre-existing, in order to increase the architectural quality and performance capabilities required by modernity, and then carry out a reuse that ensures its transmissibility over the centuries. To avoid this redevelopment process leading to irreparable losses, however, it is essential to become aware of the historical value of the work on which one intervenes, relating to it in the most possible dialectical way and placing oneself in continuity between what it has been, what it is and what it will be. Any approach to pre-existence cannot therefore be separated from an in-depth knowledge of the artefact with which one is relating, of its history, its role and the transformations it has undergone over the centuries. A conscious intervention, however, cannot fail to start from the acquisition of solid theoretical foundations and reference models that allow to face the intervention more consciously and avoid irreparable losses on the historical and artistic heritage that the artefact represents.

The debate between conservation and restoration, on the intrinsic differences of these concepts that influence a different approach of the disciplines committed to

che influenzano un diverso approccio delle discipline impegnate a dare un futuro alle testimonianze materiali del nostro passato alle quali si riconosce un valore di civiltà e dunque un valore culturale meritevole di essere trasmesso ¹, ha da sempre diviso chi ha scelto di fare di questo compito la propria missione.

Nato tra le ceneri dell'Ottocentesca crisi dello stile, tra la seconda metà del XIX e la prima del XX secolo ha vissuto un periodo di ricchi intenti formativi, radicandosi principalmente in Inghilterra, Francia e Italia, ma con sporadiche presenze altrettanto forti in altri paesi come l'Austria. Ad oggi, la riflessione sul restauro si può ritenere circoscritta sostanzialmente alla sola Italia. Il dibattito europeo, infatti, ha spostato via via la propria attenzione sulla praticità dell'operazione tecnica di restauro, interrogandosi su "come" si restauri, piuttosto che sul "perché" lo si faccia. Appare chiaro, tuttavia, come nessun tipo di azione pratica, per essere fatta correttamente, possa prescindere da un fine ben definito. ²

L'approccio

Il progetto di restauro ha uno sviluppo complesso nel quale i confini non possono essere mai tracciati con esattezza, ma vanno ricercati in relazione a numerose

giving a future to the material testimonies of our past to which a value of civilization is recognized and therefore a cultural value worthy of being transmitted ¹, has always divided those who have chosen to make this task their mission.

Born among the ashes of the nineteenth-century crisis of style, between the second half of the nineteenth and the first of the twentieth century he experienced a period of rich educational intent, taking root mainly in England, France and Italy, but with sporadic presence equally strong in other countries like Austria. To date, the reflection on restoration can be considered substantially limited to Italy alone. The European debate, in fact, has gradually shifted its attention to the practicality of the technical restoration operation, questioning "how" it is restored, rather than "why" it is done. It is clear, however, that no type of practical action, in order to be done correctly, can ignore a well-defined goal. ²

The approach

The restoration project has a complex development in which the boundaries can never be traced exactly, but must be sought in relation to numerous variables, such as the

1. T. Alibrandi, P. Ferri, 1985

2. P. Torsello, *Che cos'è il restauro? Nove studiosi a confronto*, Venezia, 2005

variabili, come la tipologia dell'opera, le caratteristiche costruttive, gli stati di alterazione strutturale e le nuove destinazioni d'uso. In un'ottica restaurativa, che si applica ai progetti di consolidamento statico, conservazione e nuova progettazione, si deve operare per recuperare le componenti storiche, architettoniche ed estetiche, con criteri capaci di connettere l'antico con le preesistenze ma anche, e soprattutto, con le strutture contemporanee, trovando per loro una nuova funzione. Il rispetto dell'autenticità storica è l'unico principio fisso che deve essere perseguito. In tal senso, restauro e riuso, quindi creazione di nuove funzioni ben calibrate e compatibili, devono attingere al rigore della ricerca storica e all'apporto progettuale, indispensabili per assicurare la qualità dell'intervento e la vita futura del monumento.

Nell'ambito del restauro e riuso del patrimonio architettonico ogni intervento ha delle connotazioni ben precise che pongono dei limiti nelle scelte di chi progetta e nella correttezza dell'intervento finale. Nel cercare le soluzioni più adatte ed individuare le metodologie di approccio, si può fare riferimento alle teorie degli attuali teorici e dei grandi maestri del restauro che, tramite riflessione teorica e pratica operativa, hanno affrontato i più svariati temi della disciplina³. Oggi i modi di approcciarsi al restauro

type of work, the construction characteristics, the states of structural alteration and the new destinations of the 'use. From a restorative point of view, which is applied to static consolidation, conservation and new design projects, it is necessary to work to recover the historical, architectural and aesthetic components, with criteria capable of connecting the ancient with the pre-existing but also, and above all, with contemporary structures, finding a new function for them. Respect for historical authenticity is the only fixed principle that must be pursued. In this sense, restoration and reuse, therefore the creation of new, well-calibrated and compatible functions, must draw on the rigor of historical research and design input, which are essential to ensure the quality of the intervention and the future life of the monument.

In the context of the restoration and reuse of the architectural heritage, each intervention has very specific connotations that place limits in the choices of those who design and in the correctness of the final intervention. In seeking the most suitable solutions and identifying the methodologies of approach, one can refer to the theories of current theorists and the great masters of restoration who, through theoretical reflection and operational practice, have addressed the most varied themes of the discipline³. Today

3. S. Casiello, 1990; M. Dezzi Bardeschi, 2014

tendono a convergere su poli contrapposti: da una parte l'approccio che respinge l'intervento umano ⁴, dall'altra l'approccio interventista volto a cancellare il degrado mediante operazioni di conservazione e reintegrazione ⁵, e dall'altra ancora quello di consolidamento, restauro e riuso che propongono nuovi apporti di progetto per una fruizione e un'integrale trasmissione al futuro ⁶. In questa pluralità di posizioni teoriche, la dimensione operativa si concretizza sempre al confine tra uno e l'altro approccio possibile. Per queste ragioni, il progetto di restauro e riuso consente di sperimentare metodi caratterizzati da azioni d'intervento sempre al limite tra conservazione e valorizzazione, tra integrazione e completamento, tra messa in sicurezza e miglioramento strutturale e, infine, tra "musealizzazione" e trasformazione del bene.

the ways of approaching restoration tend to converge on opposing poles: on the one hand the approach that rejects human intervention ⁴, on the other the interventionist approach aimed at erasing the degradation through operations of conservation and reintegration ⁵, and on the other still that of consolidation, restoration and reuse that propose new project contributions for use and integral transmission to the future⁶. In this plurality of theoretical positions, the operational dimension always materializes on the border between one and the other possible approach. For these reasons, the restoration and reuse project allows you to experiment with methods characterized by intervention actions that are always on the borderline between conservation and enhancement.

4. M. Dezzi Bardeschi, 2005

5. B.P Torsello, 2006

6. P. Marconi, 1993

6_2 ESEMPI DI RIUSO DI TORRI MEDIEVALI IN ITALIA

Nell'ottica di elaborazione di un progetto di restauro e conservazione che possa definirsi completo, la fase di proposta di riuso assume un ruolo fondamentale. La principale causa di "abbandono" di edifici storici, a prescindere dal valore storico-artistico-architettonico che essi possano assumere all'interno del patrimonio del Paese, è proprio quella del disuso. La mancanza di un ruolo per l'edificio all'interno del contesto urbano porta, nella maggioranza dei casi, le autorità a procrastinarne la salvaguardia, post-ponendola a quella di edifici che, al contrario, concretamente svolgono una funzione per la cittadinanza o rappresentano, talvolta, addirittura una fonte di guadagno per il Paese. La chiave per assicurare ad un manufatto storico l'attenzione dell'opinione pubblica e delle autorità competenti è dunque trovare a quest'ultimo una nuova funzione, un ruolo all'interno della vita della cittadinanza, che ne renda necessaria una manutenzione/conservazione programmata e che ne assicuri la trasmissibilità nel tempo.

All'obiettivo di individuare ed elaborare una corretta proposta di riuso per il manufatto in oggetto, si è provveduto ad effettuare una ricerca riguardo gli esempi di restauro e riuso realizzati su edifici appartenenti alla stessa tipologia: torri medievali diffuse sul territorio italiano adibite a terrazza panoramica. Si tratta di esperienze sicuramente

6_2 EXAMPLES OF REUSE OF MEDIEVAL TOWERS IN ITALY

With a view to developing a restoration and conservation project that can be defined as complete, the phase of proposal for reuse plays a fundamental role. The main cause of "abandonment" of historic buildings, regardless of the historical-artistic-architectural value that they may have within the country's heritage, is precisely that of disuse. The lack of a role for the building within the urban context leads, in most cases, the authorities to postpone its preservation, post-placing it to that of buildings which, on the contrary, concretely perform a function for citizenship or represent sometimes even a source of income for the country. The key to ensuring the attention of public opinion and the competent authorities to a historical artifact is therefore to find a new function for it, a role within the life of the citizenry, which makes it necessary for planned maintenance/conservation and which ensures its transmissibility over time.

With the aim of identifying and elaborating a correct proposal for reuse for the artefact in question, a research was carried out on the examples of restoration and reuse carried out on buildings belonging to the same typology: medieval towers spread throughout the Italian territory used as a panoramic point on the city. These are certainly unique experiences, strongly linked to the existing conditions and the specific needs of the building and the

uniche, fortemente legate alle condizioni sussistenti ed alle necessità specifiche del manufatto e dell'ambiente che lo ospita, e da considerarsi in quanto tali. Si è ritenuto tuttavia fondamentale approfondirne alcuni esempi ritenuti utili all'elaborazione nel nostro progetto di riuso sulla Torre dei Gambulini, in quanto simili nelle premesse e ritenuti ben riusciti nei risultati. Avvicinandosi ad un monumento di tale unicità si rende infatti indispensabile avere un bagaglio di esperienze dalle quali attingere per evitare irreparabili danni.

Partendo da quelle che sono le condizioni del manufatto in oggetto e dalle possibili esigenze del contesto nel quale esso è inserito (che verranno meglio esposte al sotto capitolo successivo), si è ritenuto che la scelta della funzione da inserirvi potesse ricadere quasi senza perplessità su quella di punto panoramico sulla città. Partendo da questa premessa, l'attenzione si è concentrata sugli esempi di restauro e riuso di torri e campanili medievali italiani adeguati alla funzione di terrazze panoramiche.

Alcuni esempi:

1. *Torre della Gabbia (MN)*
2. *Mastio del castello di Monzanbano(MN)*
3. *Torre degli Asinelli e Torre Prendiparte di Bologna (BO)*
4. *Torre San Dalmazio di Pavia (MI)*

environment that hosts it, and to be considered as such. However, it was considered essential to deepen some examples considered useful for the elaboration in our reuse project on the Gambulini Tower, as they are similar in the premises and considered successful in the results. Approaching a monument of such uniqueness it is in fact essential to have a wealth of experiences from which to draw in order to avoid irreparable damage.

Starting from the conditions of the artifact in question and from the possible needs of the context in which it is inserted (which will be better explained in the following sub-chapter), it was considered that the choice of the function to be inserted could fall almost without perplexity on that of panoramic point on the city. Starting from this premise, attention was focused on the examples of restoration and reuse of Italian medieval towers and bell towers suitable for the function of panoramic terraces.

Some examples:

1. *Torre della Gabbia (MN)*
2. *Keep of the castle of Monzanbano (MN)*
3. *Torre degli Asinelli and Torre Prendiparte of Bologna (BO)*
4. *Torre San Dalmazio of Pavia (MI)*

5. *Torre del Mangia di Siena (SI)*
6. *Torri di San Gimignano (SI)*
7. *Torre Donà di Rovigo (RO)*
8. *Torrazzo di Cremona (CR)*
9. *Campanile del duomo di Lecce (LE)*
10. *Ghirlandina di Modena (MO)*

Da ognuno di questi progetti si possono trarre spunti e modelli utili da ripetere nel caso specifico del progetto di riuso della Torre dei Gambulini, di cui si tratterà al capitolo successivo: qualità del progetto diagnostico e conservativo, rifunzionalizzazione tramite realizzazione di terrazze panoramiche, adeguamento dei sistemi di risalita ed eventuale installazione di ascensori/elevatori, efficaci approcci di consolidamento strutturale. Nello specifico si è scelto di analizzare due di questi esempi, il caso del Torrazzo di Cremona e quello della Torre San Dalmazio di Pavia, che per motivi diversi, un progetto ben riuscito di conservazione e riuso per il primo e un progetto ben riuscito di consolidamento strutturale e adeguamento del sistema di risalita per la seconda, rappresentano due possibili modelli da seguire nelle strategie di intervento adottate.

5. *Torre del Mangia in Siena (SI)*
6. *Towers of San Gimignano (SI)*
7. *Torre Donà of Rovigo (RO)*
8. *Torrazzo of Cremona (CR)*
9. *Bell tower of the cathedral of Lecce (LE)*
10. *Ghirlandina of Modena (MO)*

From each of these projects it is possible to draw ideas and useful models to be repeated in the specific case of the reuse project of the Gambulini Tower, which will be dealt with in the next chapter: quality of the diagnostic and conservation project, re-functionalization through the construction of panoramic terraces, adaptation of lift systems and possible installation of lifts / elevators, effective approaches to structural consolidation. Specifically, it was decided to analyze two of these examples, the case of the Torrazzo of Cremona and that of the Torre San Dalmazio in Pavia, which for different reasons, a successful conservation and reuse project for the first and a successful structural consolidation project and adaptation of the ascent system for the second, represent two possible models to be followed in the intervention strategies adopted.



Torrazzo di Cremona

IL CASO DEL TORRAZZO DI CREMONA:

Un progetto ben riuscito di conservazione e riuso

Sebbene non si tratti di un progetto recente, il procedimento seguito e l'attenzione alle caratteristiche peculiari del manufatto nella definizione di un intervento di conservazione specifico per il caso in oggetto lo rendono un buon esempio da seguire per il restauro di torri medievali in laterizio.

L'edificio

Il Torrazzo di Cremona, nonché torre campanaria medievale in laterizio più alta d'Europa, costituisce il simbolo di riconoscimento di maggior rilevanza per la città. Collocato nella piazza del Comune a fianco della Cattedrale e di fronte al palazzo del Comune, ha ricoperto, nel corso della storia, la doppia funzione di torre civica e di campanile. E' per questa ragione che, pur presentando le forme caratteristiche della tipologia del campanile, presenta una possenza tipica delle torri che ci permettono di assimilarla, con le opportune considerazioni, al caso della Torre oggetto di studio.

Eretto a partire dalla fine del XIII secolo, esso è costituito da una torre prismatica in muratura che si eleva da terra per un'altezza di circa 70 metri; la sezione quadrata di 12 m di lato presenta uno spessore murario di

THE CASE OF TORRAZZO IN CREMONA:

A successful conservation and reuse project

Although this is not a recent project, the procedure followed and the attention to the peculiar characteristics of the artefact in defining a specific conservation intervention for the case in question make it a good example to follow for the restoration of medieval brick towers.

The building

The Torrazzo of Cremona, as well as the tallest medieval brick bell tower in Europe, is the most important symbol of recognition for the city. Located in the Piazza del Comune next to the Cathedral and in front of the Palazzo del Comune, it has had, over the course of history, the dual function of civic tower and bell tower. It is for this reason that, while presenting the characteristic shapes of the bell tower typology, it has a typical power of the towers that allow us to assimilate it, with the appropriate considerations, to the case of the tower under study.

Erected from the end of the thirteenth century, it consists of a prismatic masonry tower that rises from the ground to a height of about 70 meters; the square section of 12 m on each side has a wall thickness of about 3m and has a internal free space of about 6m. In the central room of the tower, a series

circa 3m e presenta un vano interno libero di circa 6m. Nel vano centrale della torre sono stati ricavati una serie di ambienti sovrapposti tra loro realizzati tramite l'inserimento di solai piani o voltati. Sulla sommità della torre merlata si imposta la Ghirlanda, che raggiunge la quota di 111 metri.⁷

Nel settembre del 1997, in seguito agli avvenuti distacchi che mettevano in pericolo l'incolumità dei passanti, la Curia Vescovile di Cremona stipulò un contratto con il Politecnico di Milano per eseguire una serie di studi preliminari con la principale finalità di stabilire le condizioni statiche ed il comportamento meccanico della struttura.

Il progetto diagnostico

Contemporaneamente alla ricerca storico-critica, si è effettuata la fase di rilievo del manufatto: rilievo topografico, metrico, fotogrammetrico. Una volta ottenuto il rilievo geometrico, si è potuto procedere con il rilievo dei materiali, dello stato di conservazione e del quadro fessurativo eseguiti con l'ausilio di indagini non distruttive tese ad indagare le caratteristiche dello spessore murario, come l'applicazione del georadar e delle indagini soniche ed endoscopiche, e a misurare lo sforzo di compressione e il comportamento tenso-deformativo del materiale sotto

of overlapping rooms have been created through the insertion of flat or vaulted floors. On the top of the crenellated tower stands the Ghirlanda, which reaches an altitude of 111 meters.⁷

In September 1997, following the detachments that endangered the safety of passers-by, the Curia Episcopal of Cremona entered into a contract with the Politecnico di Milano to carry out a series of preliminary studies with the main purpose of establishing the static and the mechanical behavior of the structure.

The diagnostic project

At the same time as the historical-critical research, the survey phase of the artefact was carried out: topographic, metric, photogrammetric survey. Once the geometric survey was obtained, it was possible to proceed with the survey of the materials, the state of conservation and the crack pattern carried out with the aid of non-destructive investigations aimed at investigating the characteristics of the wall thickness, such as the application of the georadar and sonic and endoscopic investigations, and to measure the compressive stress and the

7. M. Carlessi, a. Kluzer, il torrizzo di cremona. La cura e gli interventi alla fabbrica per un approfondimento della ricerca, 12 luglio 1998

sforzo con l'indagine dei martinetti piatti; sui campioni raccolti sono quindi state eseguite prove di laboratorio finalizzate alla caratterizzazione dei materiali in opera⁸.

Il progetto conservativo

A questa prima fase di conoscenza della fabbrica, grazie alla quale sono stati raccolti i dati necessari ad ottenere un quadro completo sullo stato conservativo e strutturale di quest'ultima, ha fatto seguito la fase di progettazione dell'intervento di conservazione e messa a norma, allo scopo di assicurare la conservazione del bene. Per fare questo si è reso necessario eliminare le cause di degrado delle superfici e dei microdissesti, oltre che consolidare le porzioni che potevano costituire fonti future di degrado e procedere alla messa in sicurezza del monumento.

L'intervento di conservazione ha previsto le seguenti operazioni:

- Eliminazione meccanica della vegetazione infestante, pulitura meccanica leggera della superficie e applicazione di biocida;*
- Stuccatura dei giunti di malta e delle fessurazioni con malta di calce, sabbia e polvere di mattone;*

stress-deformation behavior of the material under stress with the investigation of flat jacks; laboratory tests were then carried out on the collected samples aimed at characterizing the materials in place.⁸

The conservative project

This first phase of knowledge of the factory, thanks to which the necessary data were collected to obtain a complete picture of the conservation and structural state of the latter, was followed by the design phase of the conservation and compliance intervention, in order to ensure the conservation of the asset. To do this, it was necessary to eliminate the causes of degradation of the surfaces and of the micro failures, as well as to consolidate the portions that could constitute future sources of degradation and to proceed with the safety of the monument.

The conservation intervention involved the following operations:

- Mechanical elimination of weeds, light mechanical cleaning of the surface and application of biocide;*
- *Grouting of mortar joints and cracks with lime mortar, sand and brick dust;*
- *Consolidation of the plaster through the vaporization and injection of specific*

8. Prof. M. Falco. *Ricerca volta a stabilire le condizioni statiche ed il comportamento meccanico della muratura del campanile del Duomo di Cremona, 31 gennaio 2000*

- *Consolidamento* dell'intonaco attraverso la vaporizzazione e *iniezione* di prodotti specifici compatibili con il substrato;

- Esecuzione di *scivoli protettivi* con malta di cocchio pesto per le cornici e posatura di piani di piombo a protezione delle banchine delle aperture volte all'allontanamento dell'acqua;

- *Chiusura parziale delle buche pontai*e e posa in opera di reti a protezione delle aperture per impedire l'accesso ai volatili;

- *Correzione delle alterazioni cromatiche* con acquarelli;

- *Esecuzione di scuci-cuci* di una porzione di muratura interessata da un quadro fessurativo preoccupante;

- Inserimento nei laterizi non più legati alla muratura portante di *perni filettati* in acciaio inox che garantissero il collegamento del paramento esterno con la sezione muraria;

- *Stuccatura delle fessure* passanti eseguite con una malta elastica;

- *Asportazione degli elementi incoerenti e parziale ricostruzione di quelli mancanti*. Ove possibile, consolidamento tramite l'inserimento di perni in acciaio inox;

- Reinserimento di due solai a costituire una sorta di *cerchiatura*;

- *Manutenzione, riparazione e rinforzo* del castello delle campane in calcestruzzo

- *Riposizionamento* della meridiana;

products compatible with the substrate;

- *Execution of protective slides* with earthenware mortar for the frames and laying of lead surfaces to protect the docks of the openings aimed at removing the water;

- *Partial closure of the pontoon holes* and installation of nets to protect the openings to prevent access to birds;

- *Correction of chromatic alterations* with watercolors;

- *Execution of scuci-cuci* of a portion of masonry affected by a worrying crack pattern;

- *Inserting stainless steel threaded pins* in the bricks no longer linked to the load-bearing masonry to guarantee the connection of the external facing with the masonry section;

- *Grouting of through cracks* performed with an elastic mortar;

- *Removal of inconsistent elements and partial reconstruction of missing ones*. Where possible, consolidation by inserting stainless steel pins;

- *Reinsertion of two floors* to form a sort of *ring*;

- *Maintenance, repair and reinforcement* of the concrete bell castle;

- *Reposition* of the sundial;

Il progetto di riuso

A completamento dell'intervento di conservazione si è provveduto a realizzare una serie di opere complementari, finalizzate a rendere maggiormente sicura ed agevole la salita da parte del pubblico sulla torre: l'adattamento della biglietteria e delle prime rampe della scala d'accesso, l'innalzamento di alcuni parapetti, l'inserimento di alcune cancellate per impedire l'accesso ai volatili, la realizzazione di un nuovo impianto per la protezione dalle scariche atmosferiche, la messa a norma dell'impianto elettrico. In questo modo è stato possibile riconferire un uso alla torre: essa **è oggi utilizzata quale punto panoramico sulla città** e ospita al suo interno il Museo Verticale, dedicato alla misurazione del tempo.⁹

The reuse project

To complete the conservation intervention, a series of complementary works were carried out, aimed at making the ascent by the public on the tower more safe and easier: the adaptation of the ticket office and the first flights of the access staircase, the raising of some parapets, the insertion of some gates to prevent access to birds, the construction of a new system for protection from atmospheric discharges, the making of the electrical system up to standard. In this way it was possible to give back a use to the tower: **it is now used as a panoramic point over the city** and houses the Vertical Museum, dedicated to the measurement of time.⁹

9. AA.VV, *Cattedrale di Cremona: i restauri degli ultimi vent'anni (1992-2011)*, Skira, 2012



Torre San Dalmazio di Pavia

IL CASO DELLA TORRE SAN DALMAZIO DI PAVIA:

Un progetto ben riuscito di consolidamento strutturale e adeguamento del sistema di risalita

Sebbene non si tratti di un progetto recente, il procedimento seguito e l'attenzione alle caratteristiche peculiari del manufatto nella definizione di un intervento di consolidamento specifico per il caso in oggetto lo rendono un buon esempio da seguire per il consolidamento strutturale di torri medievali in laterizio.

L'edificio

La Torre, realizzata tra la fine dell'XI e gli inizi del XII secolo, risulta attualmente inglobata nel complesso del Monastero di San Dalmazio di costruzione Seicentesca.

Si tratta di una torre medievale in muratura a sacco in laterizio dell'altezza di circa 41m, con una base di appoggio di circa 4.9m per lato all'esterno e cavedio interno di 3x3m. Le dimensioni esterne rimangono pressochè uniformi lungo tutta l'altezza mentre il cavedio interno si allarga gradualmente grazie alla rastrematura delle murature a sacco che passano da uno spessore di 1.5m alla base a quello di 0.7m sulla sommità. Le aperture originarie sono disposte in maniera irregolare lungo i lati mentre altre aperture in breccia sono state aperte nel corso dei secoli e successivamente tamponate. La sommità

THE CASE OF THE SAN DALMAZIO TOWER IN PAVIA:

A successful project of structural consolidation and adaptation of the ski lift system

Although this is not a recent project, the procedure followed and the attention to the peculiar characteristics of the building in the definition of a specific consolidation intervention for the case in question make it a good example to follow for the structural consolidation of medieval brick towers.

The building

The Tower, built between the end of the 11th and the beginning of the 12th century, is currently incorporated into the 17th-century complex of the Monastery of San Dalmazio.

It is a medieval tower in brick masonry with a height of about 41m, with a support base of about 4.9m on each side on the outside and an internal shaft of 3x3m. The external dimensions remain almost uniform along the entire height while the internal shaft gradually widens thanks to the tapering of the sack walls that go from a thickness of 1.5m at the base to that of 0.7m at the top. The original openings are arranged irregularly along the sides while other openings in breccia have been opened over the centuries and subsequently plugged. The top has a double pitched roof immediately resting on the

presenta una copertura a doppia falda immediatamente poggiata sulla muratura perimetrale stessa.

Il manufatto è stato oggetto di un approfondito progetto di indagine in seguito al crollo della Torre Civica di Pavia, avvenuto nel 1989, realizzato ad opera del laboratorio di mineralogia dell'università di Pavia e dal laboratorio prove materiali del Politecnico di Milano, che ha previsto l'analisi delle murature e del terreno allo scopo di valutare le sollecitazioni agenti sulla struttura e la capacità di risposta della stessa. A questi è seguito un intervento di consolidamento strutturale e miglioramento dell'accessibilità, che è stato ultimato nel 1995.¹⁰

Il progetto diagnostico

Le indagini diagnostiche hanno riscontrato la presenza di un quadro fessurativo particolarmente evidente su tutti i prospetti, sebbene le prove su mattoni e malte abbiano dimostrato una buona continuità della muratura. Le prove penetrometriche sul terreno di fondazione non hanno evidenziato un quadro preoccupante, al contrario, le indagini effettuate tramite carotaggio hanno palesato invece la presenza di lacune e percolamento dall'adiacente rete

perimeter wall itself.

The artifact was the subject of an in-depth investigation project following the collapse of the Civic Tower of Pavia, which took place in 1989, carried out by the mineralogy laboratory of the University of Pavia and by the material testing laboratory of the Politecnico di Milano, which provided for the analysis of the masonry and the ground in order to evaluate the stresses acting on the structure and its response capacity. This was followed by an intervention of structural consolidation and improvement of accessibility, which was completed in 1995.¹⁰

The diagnostic project

The diagnostic investigations revealed the presence of a particularly evident crack pattern on all the elevations, although the tests on bricks and mortars showed good continuity of the masonry. The penetrometric tests on the foundation soil did not show a worrying picture, on the contrary, the investigations carried out by coring revealed instead the presence of gaps and percolation from the adjacent sewer system which also required immediate intervention.

¹⁰ Lorenzo Jurina, *Il consolidamento strutturale della Torre San Dalmazio a Pavia, Riva del Garda, 1995 in occasione delle Giornate Italiane della costruzione in acciaio. Riva del Garda, 15-16-17-18 Ottobre 1995, promosse dal collegio dei tecnici dell'acciaio.*

fognaria che richiedevano un intervento altresì immediato. I valori di sollecitazione riscontrati, dati verticalmente dal peso proprio della struttura, e orizzontalmente della spinta degli edifici adiacenti e dal vento, unite all'indebolimento causato dalle numerose aperture realizzate nel tempo ha reso indispensabile la definizione di interventi di rinforzo sulla struttura e di redistribuzione delle cause di sollecitazione.¹¹

Il progetto di consolidamento strutturale

Nel caso della Torre San Dalmazio le caratteristiche principali da tenere in considerazione nell'elaborazione del progetto d'intervento erano tre: la presenza di aperture e lesioni sui quattro lati, la presenza di un unico cavedio che correva lungo tutta l'altezza della torre e la presenza di buche pontai e passanti distribuite omogeneamente sulle pareti.

Il valore assunto dal progetto di consolidamento deriva dal fatto che esso sia stato elaborato tenendo fortemente conto di queste premesse e contemporaneamente dei principi della cultura della conservazione, quali l'adozione di una strategia di consolidamento che affiancasse l'esistente senza alterarne la struttura né modificarne la percezione visiva, la reversibilità

The stress values found, given vertically by the structure's own weight, and horizontally by the thrust of the adjacent buildings and by the wind, combined with the weakening caused by the numerous openings made over time, made it essential to define reinforcement on the structure and redistribution interventions of the causes of solicitation.¹¹

The structural consolidation project

In the case of the San Dalmazio Tower, there were three main characteristics to be taken into consideration when drawing up the intervention project: the presence of openings and cracks on the four sides, the presence of a single shaft that ran along the entire height of the tower and the presence of pass-through bridge holes evenly distributed on the walls.

The value assumed by the consolidation project derives from the fact that it has been developed taking into account these premises and at the same time the principles of the culture of conservation, such as the adoption of a consolidation strategy that would support the existing one without altering its structure or modifying the visual

11. Lorenzo Jurina, *Il consolidamento strutturale della Torre San Dalmazio a Pavia, Riva del Garda, 1995 in occasione delle Giornate Italiane della costruzione in acciaio. Riva del Garda, 15-16-17-18 Ottobre 1995, promosse dal collegio dei tecnici dell'acciaio.*

dell'intervento, la sua riconoscibilità rispetto al monumento storico.

- Per ottenere una maggiore coesione della muratura, il cui grado di fessurazione e la cui percentuale di lacune rivelava una scarsa resistenza, si è provveduto *all'iniezione diffusa di leganti compatibili* con i materiali delle malte e dei mattoni esistenti. A questo proposito, la cospicua presenza di fessurazioni e buche pontaiè ha permesso di evitare la realizzazione di ulteriori fori nelle pareti, che ne avrebbero inevitabilmente indebolito la capacità resistente.

- Il consolidamento strutturale della torre è stato ottenuto tramite la *costruzione di una struttura in acciaio* lasciata a vista e completamente rimovibile, realizzata all'interno della torre in modo da non essere visibile all'esterno. Ciò ha permesso di non alterare la percezione visiva del monumento, nonostante si tratti di un intervento di tale consistenza. La nuova torre metallica collabora strutturalmente con la vecchia in muratura liberandola da parte dei carichi verticali e favorendo una maggiore resistenza ai carichi orizzontali ed una maggiore duttilità d'insieme. Gli elementi in acciaio inox sono stati utilizzati per creare tiranti passanti nelle buche pontaiè, con la funzione di confinare lateralmente la muratura e di collegare tra loro i vari strati verticali di cui sono costituite le pareti.

- L'ultima strategia adottata, realizzata allo scopo di eliminare le spinte causate dagli edifici ad essa addossati, ha previsto il *taglio*

perception, the reversibility of the intervention, its recognizability with respect to the historical monument.

- To obtain greater cohesion of the masonry, whose degree of cracking and the percentage of gaps revealed a poor resistance, they proceeded with the *widespread injection of binders compatible* with the materials of the existing mortars and bricks. In this regard, the conspicuous presence of cracks and pontoon holes made it possible to avoid the creation of further holes in the walls, which would have inevitably weakened their resistant capacity.

- The structural consolidation of the tower was achieved through the *construction of a steel structure* left exposed and completely removable, built inside the tower so as not to be visible from the outside. This made it possible not to alter the visual perception of the monument, despite the fact that it is an intervention of this consistency. The new metal tower collaborates structurally with the old masonry freeing it from vertical loads and favoring greater resistance to horizontal loads and greater overall ductility. The stainless steel elements were used to create tie rods passing through the pontoon holes, with the function of laterally bordering and the masonry and to connect the various vertical layers of which the walls are made up.

- The latest strategy adopted, created in order to eliminate the forces caused by the buildings leaning against it, provided for the *physical transverse cut* between

fisico trasversale tra i due corpi. La duttilità globale della struttura mista acciaio-muratura si è dimostrata decisamente superiore a quella di partenza, palesando la buona riuscita dell'intervento, anche in previsione delle sollecitazioni orizzontali prodotte da un ipotetico evento sismico.¹²

Il progetto di riuso

L'intervento di consolidamento ha rappresentato un ottimo pretesto per restituire al manufatto, allora in disuso, una nuova funzione. All'interno della torre metallica, infatti, si è trovato spazio sufficiente alla realizzazione di un ascensore a cremagliera che, consentendo un'agevole accessibilità dello spazio interno, rende possibili i controlli e le operazioni di manutenzione programmata. Grazie all'introduzione del montacarichi e al conseguente miglioramento dell'accessibilità, è stato possibile inoltre realizzare all'ultimo piano un ambiente che permettesse di ottenere un punto di vista panoramico su Pavia. In questo modo la Torre è divenuta accessibile non soltanto al personale preposto alla custodia e alla manutenzione del bene ma anche alla rete di cittadini e turisti interessati a farne esperienza diretta.

the two bodies. The overall ductility of the mixed steel-masonry structure proved to be decidedly higher than the initial one, revealing the success of the intervention, even in anticipation of the horizontal stresses produced by a hypothetical seismic event.¹²

The reuse project

The consolidation intervention represented an excellent pretext to give the artefact, then no longer in use, a new function. Inside the metal tower, in fact, enough space was found for the construction of a rack lift which, allowing easy accessibility of the internal space, makes it possible to carry out checks and scheduled maintenance operations. Thanks to the introduction of the freight elevator and the consequent improvement in accessibility, it was also possible to create an environment on the top floor that would allow for a panoramic view of Pavia. In this way the Tower has become accessible not only to the personnel responsible for the custody and maintenance of the property but also to the network of citizens and tourists interested in gaining direct experience.

12. Lorenzo Jurina, *Il consolidamento strutturale della Torre San Dalmazio a Pavia, Riva del Garda, 1995 in occasione delle Giornate Italiane della costruzione in acciaio. Riva del Garda, 15-16-17-18 Ottobre 1995, promosse dal collegio dei tecnici dell'acciaio.*



Torre Della Gabbia di Mantova

6.3_UN PROGETTO DI RIUSO PER LA TORRE DEI GAMBULINI

Partendo dalla convinzione che la trasmissibilità di un bene storico di questo tipo dipenda fortemente dalla possibilità di rifunzionalizzarlo, si è ritenuto opportuno concludere questo progetto di ricerca con l'elaborazione di un'ipotesi di riuso anche per la Torre dei Gambulini, ad oggi inutilizzata.

La proposta è stata elaborata consapevolmente tenendo conto delle specificità del caso in oggetto, sia dal punto di vista delle caratteristiche geometriche e conservative del manufatto, sia dal punto di vista delle condizioni e delle esigenze del luogo in cui esso si trova. Non vuole trattarsi di un progetto da considerarsi fatto e finito ma di un'ipotesi di approfondimento per il futuro, qualora sussistessero effettivamente le condizioni per realizzarlo.

Il bene risulta ad oggi di proprietà del Demanio, che ne ha finanziato a tempo debito le operazioni di indagine e verifica di agibilità, senza tuttavia mai adoperarsi alla promozione di un intervento di adeguamento che le riconferisse un ruolo attivo, ormai da tempo perduto, all'interno del panorama culturale della città.

Le premesse: la proposta di riuso del 2010 e il caso della Torre della Gabbia

L'unica proposta di riuso di cui si ha traccia risale al 2010, ad opera dell'allora direttrice

6.3_A REUSE PROJECT FOR THE GAMBULINI'S TOWER

Starting from the belief that the transmissibility of an historical asset of this type strongly depends on the possibility of re-functionalizing it, it was considered appropriate to conclude this research project with the elaboration of an hypothesis of reuse also for the Gambulini Tower, which is, as already said, currently unused.

The proposal was developed knowingly taking into account the specificities of the case in question, both from the point of view of the geometric and conservation characteristics of the building, and from the point of view of the conditions and needs of the place in which it is located. It does not want to be a project to be considered done and finished but a hypothesis of further study for the future, if the conditions for realizing it actually exist.

The building is currently owned by the State Property, which financed the investigation and verification of usability in due time, without however ever making efforts to promote an adjustment intervention that would reconfirm an active role, now lost for some time, within the cultural landscape of the city.

The premises: the 2010 reuse proposal and the case of the Torre della Gabbia

The only traced reuse proposal dates back to 2010, by the then director of the State

dell'Archivio di Stato Daniela Ferrari, che in occasione degli interventi di recupero realizzati sugli immobili dell'Archivio si era schierata a favore della promozione di un intervento specifico sulla Torre ad essi inglobata, già allora "abbandonata". L'idea era quella di fare della Torre un osservatorio panoramico sulla città che al momento della proposta ancora mancava a Mantova. Fu sviluppato lo studio di fattibilità, realizzato dallo studio COPRAT s.r.l. di Mantova, che venne approvato dalla Soprintendenza. Il progetto esecutivo successivo avrebbe dovuto prevedere nuovi rilievi materici e di degrado che avvalorassero le proposte elaborate, da affidare eventualmente ai laboratori del Politecnico di Milano che a Mantova aveva appena inaugurato proprio il master per la valorizzazione dei beni culturali. L'intervento sarebbe costato tra i 200 e i 300 mila euro, da subito richiesti come finanziamento dallo Stato ipotizzando anche la compartecipazione di altri partner ipoteticamente interessati tra enti, istituzioni e privati.

Il progetto prevedeva di realizzare una scala in legno che partisse da un vestibolo di accoglienza collegato all'ingresso principale dell'Archivio di Stato, intervallata da pianerottoli di sosta. Questa avrebbe condotto alla sommità della Torre, dove ad accogliere il visitatore avrebbero trovato spazio anche una panchina per ristorarsi dopo la salita e un cannocchiale per osservare la città dall'alto. Il parapetto

Archives Daniela Ferrari, who on the occasion of the recovery interventions carried out on the Archives' properties had sided in favor of the promotion of a specific intervention on the tower incorporated into them, which was already "abandoned" at the time. The idea was to make the Tower a panoramic observatory on the city which at the time of the proposal was still lacking in Mantua. The feasibility study was developed, carried out by COPRAT s.r.l. of Mantua, which was approved by the Superintendency. The subsequent executive project should have envisaged new material and decay reliefs that would validate the proposals developed, possibly to be entrusted to the laboratories of the Politecnico di Milano which in Mantua had just inaugurated the master for the enhancement of cultural heritage. The intervention would have cost between 200 and 300 thousand euros, immediately requested as a loan by the state, also assuming the participation of other hypothetically interested partners between entities, institutions and individuals.

The project envisaged the construction of a wooden staircase that started from a reception vestibule connected to the main entrance of the State Archives, interspersed with rest landings. This would have led to the top of the Tower, where to welcome the visitor there would also be a bench to refresh themselves after the climb and a telescope to observe the city from above. The existing parapet, already quite solid, would have

esistente, già piuttosto solido, sarebbe stato rinforzato da un'ulteriore recinzione di sicurezza che non disturbasse la veduta panoramica dall'alto e allo stesso tempo non impattasse sulla visuale sottostante. Contrariamente a quanto le premesse facessero ben sperare, il progetto di indagine non fu poi mai affidato e il progetto esecutivo mai realizzato, lasciando in un nulla di fatto la proposta della Direttrice.¹³

Basandosi su questa ipotesi progettuale, che ormai più di dieci anni fa era stata approvata, e trovando conferme nell'intervento recentemente realizzato su una delle altre due torri demaniali della città di Mantova, la Torre della Gabbia, è stata elaborata la nuova proposta di riuso per la Torre dei Gambulini.

I lavori di restauro e consolidamento strutturale della Torre della Gabbia sono iniziati nel 2017, ad opera dell'impresa Marmioli s.r.l di Bagnolo in Piano (RE), in seguito all'approvazione del progetto definitivo di consolidamento e miglioramento sismico redatto a seguito degli eventi sismici del Maggio 2012 e dei dati conseguentemente raccolti grazie all'analisi della vulnerabilità sismica.¹⁴ Il progetto, realizzato su commissione del Comune di Mantova, è stato ultimato soltanto nel I stralcio a Settembre 2021, non senza difficoltà. Il

been reinforced by an additional safety fence that did not disturb the panoramic view from above and at the same time did not impact the view below. Contrary to what the premises gave good hope, the investigation project was never entrusted and the executive project never carried out, leaving the Director's proposal in a stalemate.¹³

Based on this design hypothesis, which by now had been approved more than ten years ago, and finding confirmation in the intervention recently carried out on one of the other two state-owned towers of the city of Mantua, the Torre della Gabbia, a new proposal for reuse was developed for the Gambulini Tower.

The restoration and structural consolidation works of the Torre della Gabbia began in 2017, by the company Marmioli srl of Bagnolo in Piano (RE), following the approval of the final consolidation and seismic improvement project drawn up following the seismic events of May 2012 and the resulting data collected thanks to the seismic vulnerability analysis.¹⁴ The project, commissioned by the Municipality of Mantua, was only completed in the first phase in September 2021, not without difficulty. Due to the complexity of the works and the slowdowns caused by the pandemic, the construction site, which should have

13. "Torre Gambulini Terrazza sul centro alta 32 metri", *Gazzetta di Mantova*, 4 Marzo 2010

14. "La Gabbia sta per rinascere. Un anno e mezzo di lavori", *Gazzetta di Mantova*, 25 Maggio 2017

cantiere, che avrebbe dovuto chiudersi il 31 Agosto 2018, a causa della complessità dei lavori e dei rallentamenti provocati dalla pandemia è andato decisamente oltre i tempi inizialmente previsti, provocando il malcontento di parte della cittadinanza direttamente danneggiata dai disagi provocati dal prolungamento del cantiere. Finito il primo stralcio sono state stabilite le opere necessarie alla realizzazione dell'elevatore che, una volta alloggiato, permetterà di arrivare fino alla sommità, posta all'altezza di 55m da terra. Il progetto, oltre al restauro e al consolidamento strutturale del bene, prevede infatti la realizzazione di una terrazza panoramica posta all'ultimo livello, fino ad oggi raggiungibile solo tramite le scale ottenute all'interno dello spessore murario, ma in realtà mai aperta al pubblico perché accessibile solo passando per l'appartamento di un privato. L'intervento comprende il consolidamento della Torre, il ripristino della scala interna per raggiungere la sommità, l'apertura del passaggio nell'appartamento di proprietà del Comune per accedere alla Torre e, infine, la messa in sicurezza delle parti affrescate, per evitarne distacco. A questi primi interventi seguirà la predisposizione, nell'alloggio di ingresso, della biglietteria, di una caffetteria e dei servizi igienici, da realizzare nell'ambito del secondo lotto insieme alla ricostruzione della scala interna secondo lo sviluppo di quella crollata e la collocazione di un ascensore nel vano centrale che renderanno la Torre per la

closed on 31 August 2018, went significantly beyond the originally scheduled times, causing the discontent of some of the citizens directly damaged by the inconvenience caused by the extension of the construction site. After the first section, the necessary works were established for the construction of the elevator which, once housed, will allow you to reach the top, located at a height of 55m from the ground. The project, in addition to the restoration and structural consolidation of the property, in fact provides for the construction of a panoramic terrace on the top level, which until now can only be reached via the stairs obtained inside the the thickness of the walls, but in reality never open to the public because it is only accessible by passing through the apartment of a private individual. The intervention includes the consolidation of the Tower, the restoration of the internal staircase to reach the top, the opening of the passage in the apartment owned by the Municipality to access the Tower and, finally, the safety of the frescoed parts, to avoid detachment. These first interventions will be followed by the preparation, in the entrance housing, of the ticket office, a cafeteria and toilets, to be built in the second lot together with the reconstruction of the internal staircase according to the development of the collapsed one and the placement of a lift in the central compartment that will make the Tower finally accessible to the public for the first time. ¹⁵

prima volta finalmente fruibile al pubblico.¹⁵

Il progetto

Dopo aver provveduto al restauro conservativo delle murature e al consolidamento strutturale d'insieme della Torre, si ipotizza la collocazione di un elevatore e la realizzazione di una nuova scala di servizio all'interno del vano liberato dall'attuale scaletta alla marinara e dai suoi pianerottoli in acciaio. L'intervento, come si è detto, permetterebbe ai futuri visitatori di raggiungere per la prima volta la sommità della Torre, sulla quale verrà ricavata una terrazza panoramica che offrirà una vista a 360° del centro storico di Mantova e del lago che la circonda.

Considerando la scarsa accessibilità dell'ambiente posto al piano terra della Torre, raggiungibile solo direttamente dal vano scala dell'archivio attraverso una piccola apertura e completamente cieco, si è ritenuto opportuno far partire il percorso direttamente al primo piano. Più precisamente, la proposta prevede di sfruttare l'ambiente direttamente adiacente al secondo ingresso alla torre, ad oggi di proprietà dell'archivio ed utilizzato con funzione di deposito, quale biglietteria. Da questa stanza, raggiungibile fermandosi alla prima rampa di scale dell'archivio, si potrebbe accedere facilmente alla torre

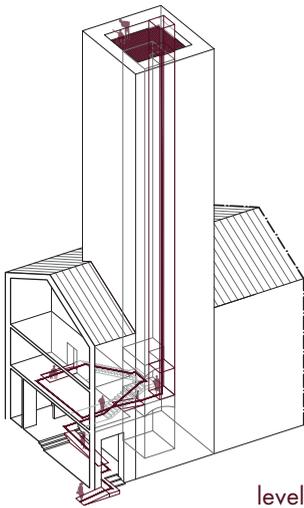
The project

After having carried out the conservative restoration of the walls and the overall structural consolidation of the Tower, it is assumed the placement of an elevator and the construction of a new service staircase inside the compartment freed from the current marinara ladder and its landings in steel. The intervention, as mentioned, would allow future visitors to reach the top of the Tower for the first time, on which a panoramic terrace will be created that will offer a 360 ° view of the historic center of Mantua and the lake that surrounds it.

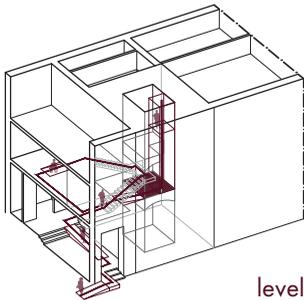
Considering the poor accessibility of the area on the ground floor of the Tower, which can only be reached directly from the archive stairwell through a small opening and completely blind, it was considered appropriate to start the path directly on the first floor. More precisely, the proposal envisages exploiting the environment directly adjacent to the second entrance to the tower, currently owned by the archive and used as a storage facility, such as a ticket office. From this room, reachable by stopping at the first flight of stairs in the archive, you could easily access the tower without requiring further invasive interventions on it. From here, in fact, going down the ladder obtained in the thickness of the tower's masonry, you can

15. "Mantova, finito il restauro di Torre della Gabbia, ora rush finale per l'ascensore", *Gazzetta di Mantova*, 21 Settembre 2021

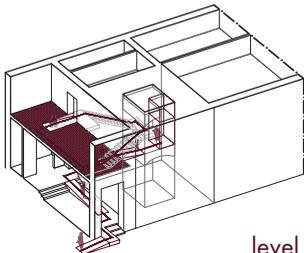
the levels



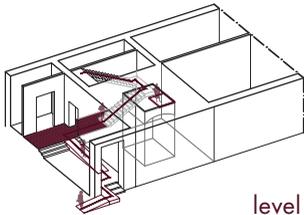
level 6: Tower terrace +36.5m



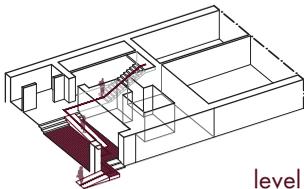
level 5: elevator starting +5.0m



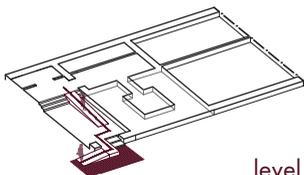
level 4: ticket office +5.45m



level 3: stairs starting +0.75m



level 2: Archive entrance +0.30m



level 1: sidewalk floor 0

senza necessitare la realizzazione di ulteriori interventi invasivi su di essa. Da qui, infatti, scendendo la scaletta ricavata nello spessore della muratura della Torre, si accede direttamente al primo piano del manufatto. Si tratta di un ambiente già piuttosto rimaneggiato, in occasione degli interventi di adeguamento realizzati negli anni '40 allo scopo di rendere quello che allora era ancora un piano grezzo della Torre, un ulteriore spazio di deposito di pertinenza dell'archivio. E' proprio in quell'occasione che si è provveduto ad aprire nella muratura il passaggio di collegamento, le pareti sono state ritinteggiate a latte di calce, la pavimentazione originale **è stata coperta**, la finestrella che da luce all'ambiente è stata tamponata con un infisso in legno e vetro e lo spazio **è stato diviso con una tramezza**, ora non più esistente.

L' abbattimento delle barriere architettoniche

A causa della scomoda disposizione degli ambienti che conducono alla torre, posti tutti a livelli differenti e non attualmente dotati di rampe o sistemi di risalita assistita, l'accessibilità alla torre non sarebbe attualmente possibile per i portatori di disabilità. Gli unici due accessi sono infatti posti a piani intermedi non collegati direttamente all'unico ascensore attualmente presente nel complesso. A fronte di queste premesse si prevede di integrare l'intervento di riuso diretto sulla torre con una serie di

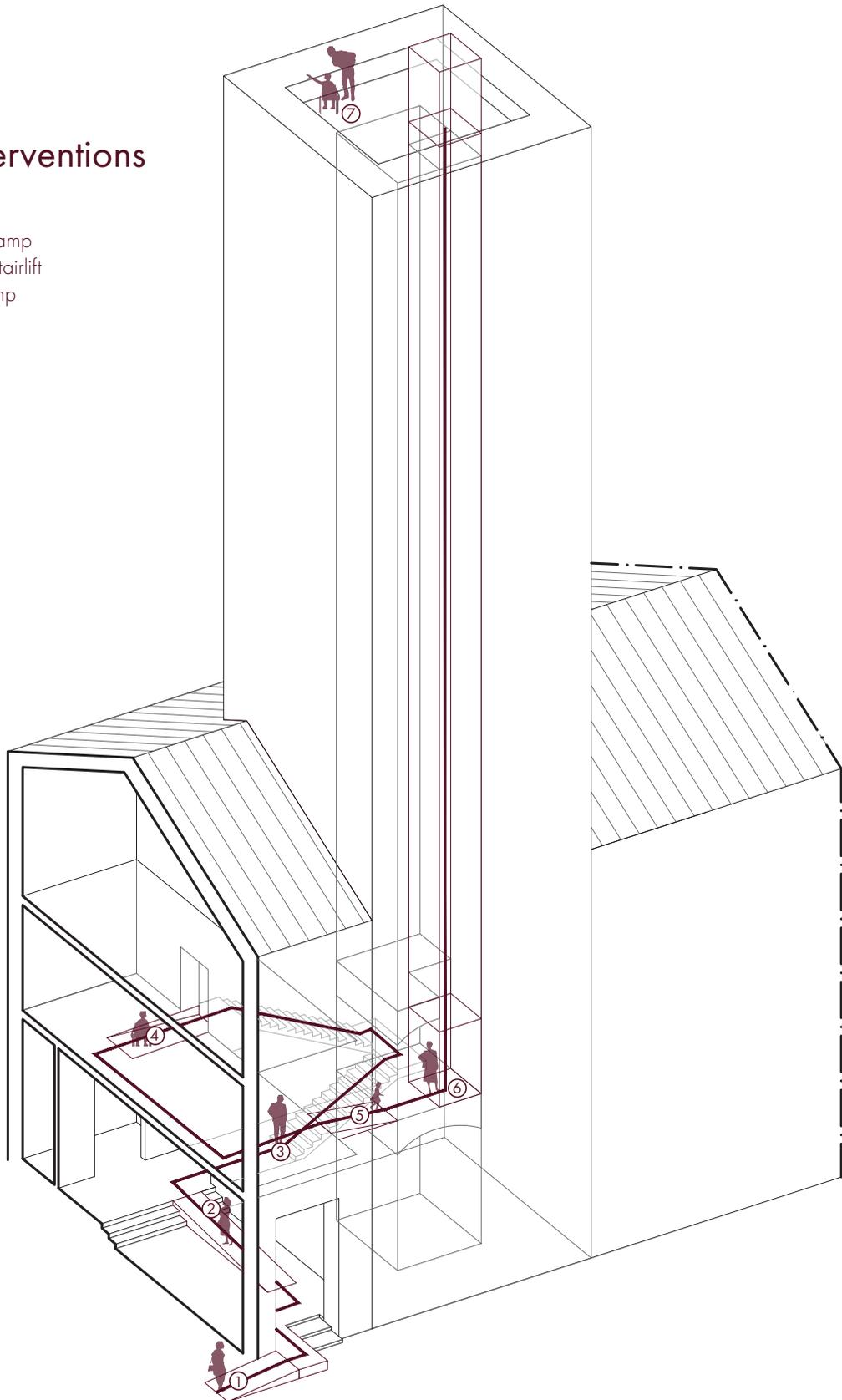
directly access the first floor of the building. It is an environment that has already been rather remodeled, on the occasion of the adaptation interventions carried out in the 1940s in order to make what was then still a rough floor of the Tower, an additional storage space belonging to the archive. It was on that occasion that the connecting passage was opened in the masonry, the walls were repainted with lime milk, the original flooring was covered, the window that gives light to the room was filled with a window frame in wood and glass and the space was divided with a partition, which no longer exists.

The removal of architectural barriers

Due to the awkward layout of the rooms leading to the tower, all located at different levels and not currently equipped with ramps or assisted lift systems, accessibility to the tower would not currently be possible for people with disabilities. The only two entrances are in fact located on intermediate floors not directly connected to the only two lifts currently present in the complex. Given these premises, it is planned to integrate the direct reuse intervention on the tower with a series of non-invasive and completely reversible interventions to be carried out on the Archives, which will allow for complete access to the Tower. In this way, anyone

the interventions

1. First ramp
2. Second ramp
3. Platform stairlift
4. Fourth ramp
5. Fifth ramp
6. Elevator
7. Terrace



interventi non invasivi e completamente reversibili da realizzare sugli ambienti dell'Archivio, che consentiranno di ottenere una completa accessibilità alla Torre. In questo modo a chiunque lo desideri sarà possibile conoscere la storia della Torre, averne esperienza diretta salendo fino in cima e godere della vista su Mantova dalla sua terrazza panoramica. L'intervento prevede a questo proposito di dotare ogni scala ricadente nel percorso obbligato di accesso alla Torre di una rampa o di un sistema di risalita assistita che elimini le numerose barriere architettoniche attualmente presenti.

Partendo dall'ingresso principale all'archivio, i 30 cm di dislivello verranno risolti con una prima rampa di accesso che correrà adiacente alla facciata ad occupare metà del vano di accesso attualmente dotato di scalini. Una volta all'interno dell'ingresso dell'Archivio, una seconda rampa laterale consentirà di accedere al piano rialzato di 45 cm, al quale è posta la partenza delle scale che conducono al primo piano. Il vano scala, a sua volta, verrà dotato di un montascale a pedana che assicurerà la risalita fino al primo piano dell'archivio. L'ambiente collegato alla torre è posto, rispetto al rispettivo pianerottolo della scala, ad un'altezza di 50cm, che verrà compensata da una terza rampa, da realizzarsi necessariamente ad incastro all'interno dello spessore del solaio di calpestio. Qui, ad accogliere il visitatore, sarà ricavata la biglietteria: l'ambiente sarà

who wishes will be able to learn about the history of the Tower, have direct experience by climbing to the top and enjoy the view of Mantua from its panoramic terrace. In this regard, the intervention envisages equipping each staircase falling in the obligatory access path to the Tower with a ramp or an assisted ascent system that eliminates the numerous architectural barriers currently present.

Starting from the main entrance to the archive, the 30 cm difference in height will be resolved with a first access ramp that will run adjacent to the facade to occupy half of the access area currently equipped with steps. Once inside the entrance to the Archive, a second lateral ramp will allow access to the ground floor raised by 45 cm, where the start of the stairs leading to the first floor is located. The stairwell, in turn, will be equipped with a platform stairlift that will ensure the ascent to the first floor of the archive. The room connected to the tower is placed, with respect to the respective landing of the staircase, at a height of 50cm, which will be compensated for by a third ramp, to be necessarily interlocked within the thickness of the floor slab. Here, to welcome the visitor, the ticket office will be created: the environment will be equipped with explanatory panels that will illustrate the history and morphological characteristics of the tower. To allow access to the first floor of the tower, currently lowered by 80 cm compared to that of the archive, the walking surface will be raised by 40 cm (in order to reduce the height difference and

dotato di pannelli esplicativi che illustreranno la storia e le caratteristiche morfologiche della torre. Per consentire l'accesso al primo piano della torre, attualmente ribassato di 80 cm rispetto a quello dell'archivio, si provvederà ad alzare di 40cm il piano di calpestio (in modo da diminuire il dislivello e ottenere uno spazio per l'alloggiamento della fossa dell'elevatore) e a sostituire la scala ricavata nello spessore della muratura con una quarta rampa. Da qui sarà possibile prendere un elevatore completamente vetrato che permetterà di percorrere tutto il vano della Torre fino ad arrivare alla terrazza panoramica posta in cima.

L'intervento di riuso sulla Torre

Una volta superate tutte le barriere architettoniche che impedivano anche solo il raggiungimento della Torre, si è provveduto ad elaborare un progetto di riuso che ne permettesse ed incentivasse la vista.

L'idea è prima di tutto quella di eliminare, per quanto possibile, le superfetazioni che nel tempo hanno completamente modificato la percezione di questo ambiente: lo strato di spessa tinteggiatura apposto alle pareti e la pavimentazione sovrapposta al solaio originale sono infatti stati realizzati senza tenere minimamente conto del valore storico del manufatto e dei suoi caratteri identificativi. Una volta riportato questo ambiente al suo volto originario si provvederà a conferirgli una nuova funzione, rendendola il punto di

obtain a space for housing the elevator pit) and to replace the staircase obtained in the thickness of the masonry with a fourth ramp. From here it will be possible to take a fully glazed elevator that will allow you to go through the entire compartment of the Tower up to the panoramic terrace at the top.

The reuse intervention on the Tower

Once all the architectural barriers that prevented even the achievement of the Tower were overcome, a reuse project was developed that would allow and encourage the view.

The idea is first of all to eliminate, as far as possible, the superfetations that over time have completely changed the perception of this environment: the thick paint layer affixed to the walls and the flooring superimposed on the original floor have in fact been created without keeping minimally account of the historical value of the artefact and its identifying characters. Once this room has been restored to its original face, a new function will be given to it, making it the starting point for the ascent of the Tower.

partenza della risalita della Torre.

Non avendo a disposizione lo spazio necessario alla realizzazione di una scala agevole e ritenendo fondamentale alla buona riuscita dell'intervento l'ottenimento di un'effettiva accessibilità al pubblico della Torre, si è ritenuto ragionevole dotare la struttura di un sistema di risalita elettrico, che consentirà di ampliare notevolmente l'utenza delle visite.

La proposta, nello specifico, prevede di realizzare una struttura reticolare in travi d'acciaio, disposte verticalmente agli spigoli della Torre e orizzontalmente ad un passo regolare l'una dall'altra. Questa struttura avrà una duplice funzione: quella di diventare "gabbia" di rinforzo per la Torre, che funzionerà come una sorta di cerchiatura interna, e quella di sostenere il nuovo impianto di risalita e la scala di servizio annessa con i rispettivi pianerottoli di sosta. Da normativa, è infatti obbligatorio dotare la struttura di una scala che assicuri la salita e la discesa anche in caso di mancato funzionamento dell'elevatore elettrico. Essa servirà inoltre alle eventuali operazioni di monitoraggio e di manutenzione, fondamentali nel caso di un manufatto storico di questo tipo. Per ragioni di sicurezza, la scala dovrà essere dotata di un sistema di protezione e di un pianerottolo di sosta ogni 6 m dall'ultimo solaio calpestabile.

L'elevatore, delle dimensioni di 950x1300 cm, permetterà ai visitatori di vivere

Not having available the space necessary for the construction of an easy staircase and considering the achievement of effective accessibility to the public of the Tower to be fundamental to the success of the intervention, it was considered reasonable to equip the structure with an electric lift system, which it will make it possible to significantly expand the use of visits.

Specifically, the proposal provides for the creation of a reticular structure in steel beams, arranged vertically at the edges of the Tower and horizontally at a regular pitch from each other. This structure will have a dual function: that of becoming a reinforcement "cage" for the Tower, which will function as a sort of internal ring, and that of supporting the new ski lift and the attached service staircase with their respective rest landings. By law, it is in fact mandatory to equip the structure with a ladder that ensures ascent and descent even in the event of failure of the electric lift. It will also be used for any monitoring and maintenance operations, which are essential in the case of a historical artifact of this type. For safety reasons, the staircase must be equipped with a protection system and a parking landing every 6 m from the last walkable floor.

The elevator, with dimensions of 950x1300 cm, will allow visitors to easily experience the ascent of the Tower for all its 37m in height until reaching the top. The sizing of the lift, while having to strongly depend on the

agevolmente l'esperienza della risalita della Torre per tutti i suoi 37m di altezza fino al raggiungimento della sommità. Il dimensionamento dell'elevatore, pur dovendo dipendere fortemente dai limiti imposti dallo spazio a disposizione, è il minimo da normativa per il trasporto di un disabile con accompagnatore. Si tratterà di una struttura in vetro e acciaio, completamente chiusa per ragioni di sicurezza, con funzionamento a cremagliera verticale, che sverterà rispetto al piano di calpestio della terrazza di 2.5m, altezza che comunque, considerando l'altezza complessiva della torre, non risulterà particolarmente visibile dal basso.

All'arrivo ad accogliere i visitatori vi sarà un belvedere di circa 28m² dotato di tutti i dispositivi di sicurezza necessari. Un parapetto di sicurezza dell'altezza di 110cm, che andrà ad aggiungersi all'attuale cordolo dello spessore di 1m, terrà i fruitori al sicuro da eventuali cadute.

Si tratta di un intervento il cui scopo principale, come si è detto, è quello di rendere la torre accessibile a tutta la cittadinanza e a tutti gli eventuali turisti interessati, di conoscerne la storia e riconoscere l'importanza di un manufatto che, per tipologia e vicende caratterizza significativamente la storia della città che la ospita. La preziosa testimonianza storica che esso rappresenta sarà in questo modo preservata dall'inevitabile abbandono che la caratterizzerebbe se essa venisse mantenuta allo stato di disuso attuale.

Limits imposed by the space available, is the minimum required by law for the transport of a disabled person with a companion. It will be a glass and steel structure, completely closed for safety reasons, with vertical rack operation, which will rise above the 2.5m terrace floor, a height which, however, considering the overall height of the tower, will not be particularly visible from below.

Upon arrival, visitors will be welcomed by a lookout point of approximately 28m² equipped with all the necessary safety devices. A 110cm high safety railing, which will be added to the current 1m thick curb, will keep users safe from any falls.

It is an intervention whose main purpose, as mentioned above, is to make the tower accessible to all citizens and to all interested tourists, to know its history and recognize the importance of an artifact which, by type and events significantly characterize the history of the city that hosts it. The precious historical testimony that it represents will thus be preserved from the inevitable abandonment that would characterize it if it were kept in its current state of disuse.

the interventions

Starting from the main entrance to the archive, the 30 cm difference in height will be resolved with a **first access ramp (1)** that will run adjacent to the facade to occupy half of the access area currently equipped with steps.

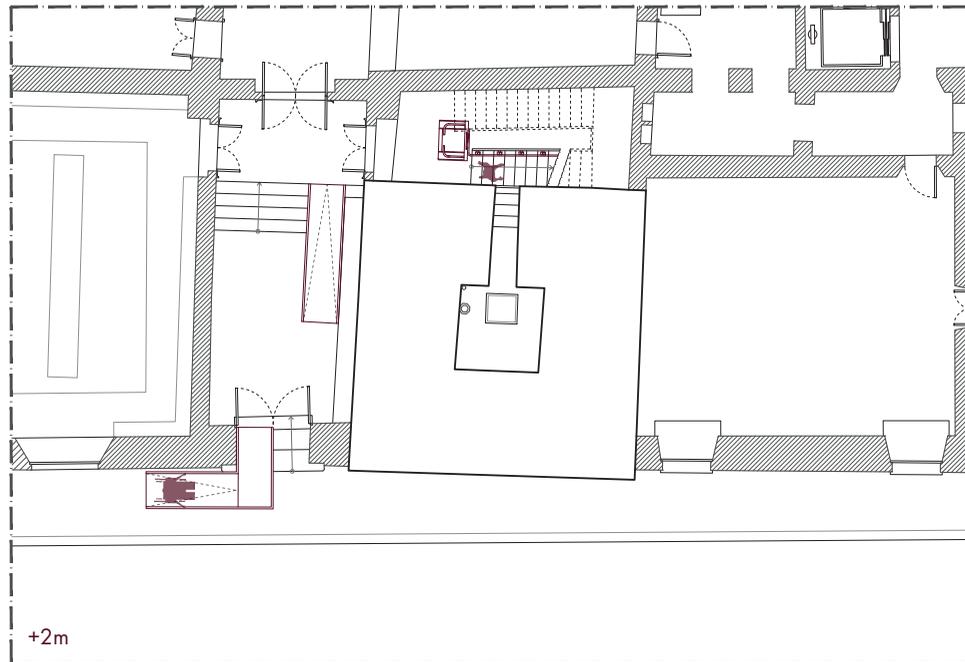
Once inside the entrance to the Archive, a **second ramp (2)** will allow access to the ground floor raised by 45 cm, where the start of the stairs leading to the first floor is located.

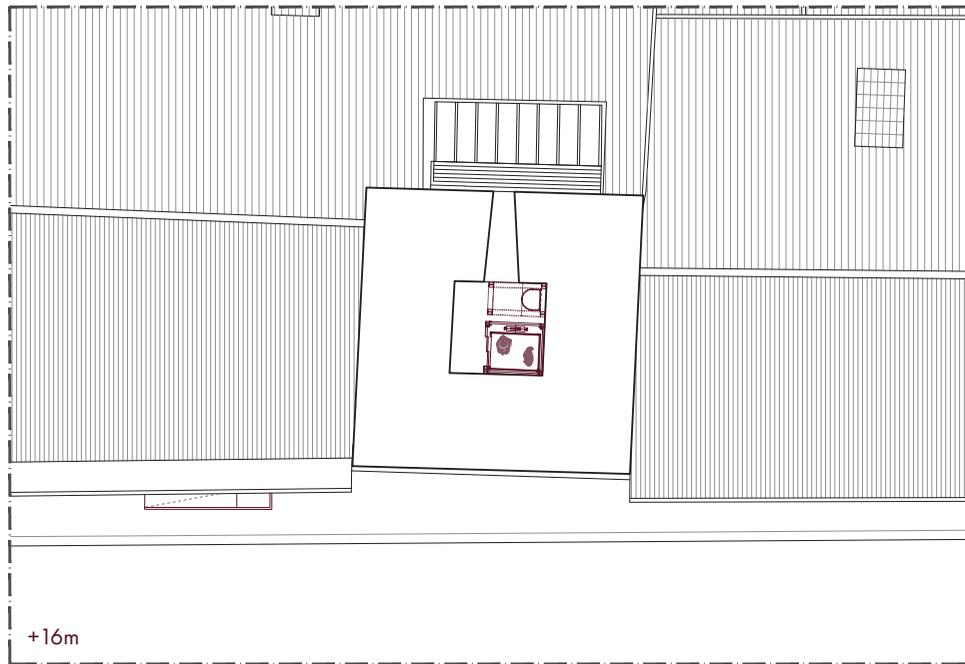
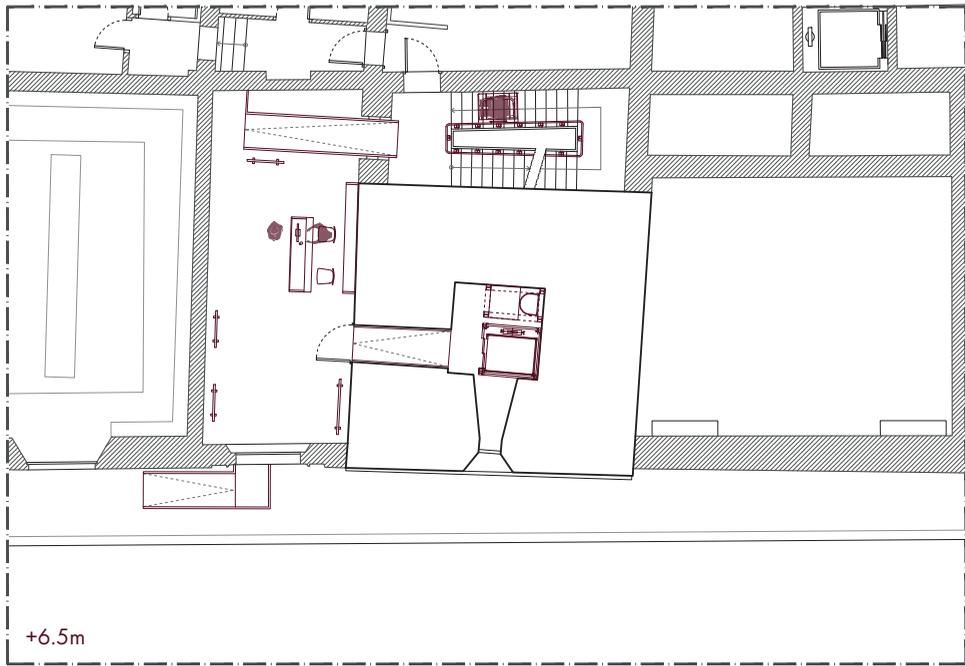
The stairwell, in turn, will be equipped with a **platform stairlift (3)** that will ensure the ascent to the first floor of the archive.

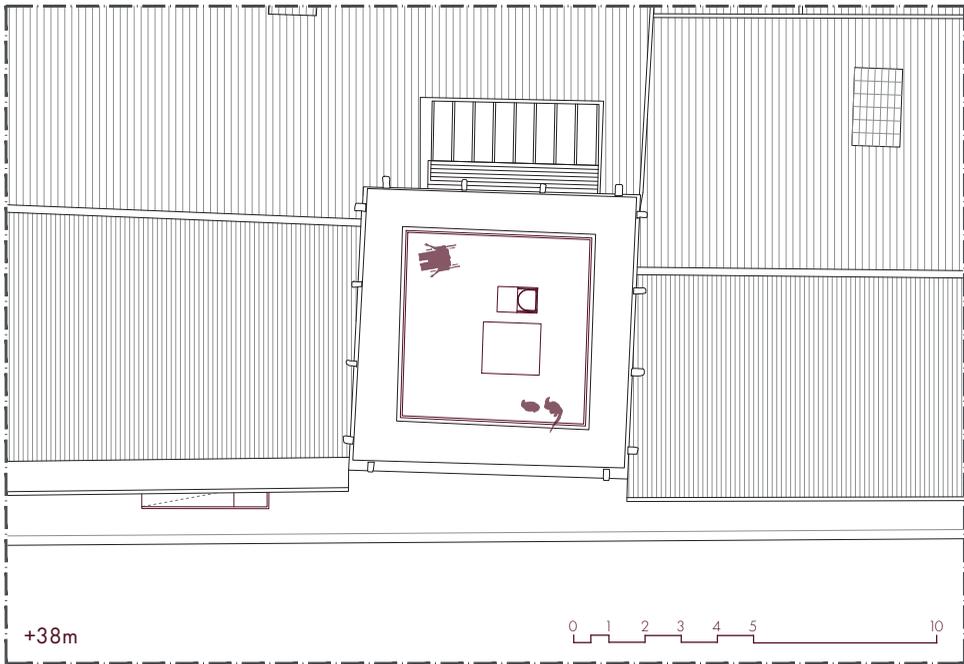
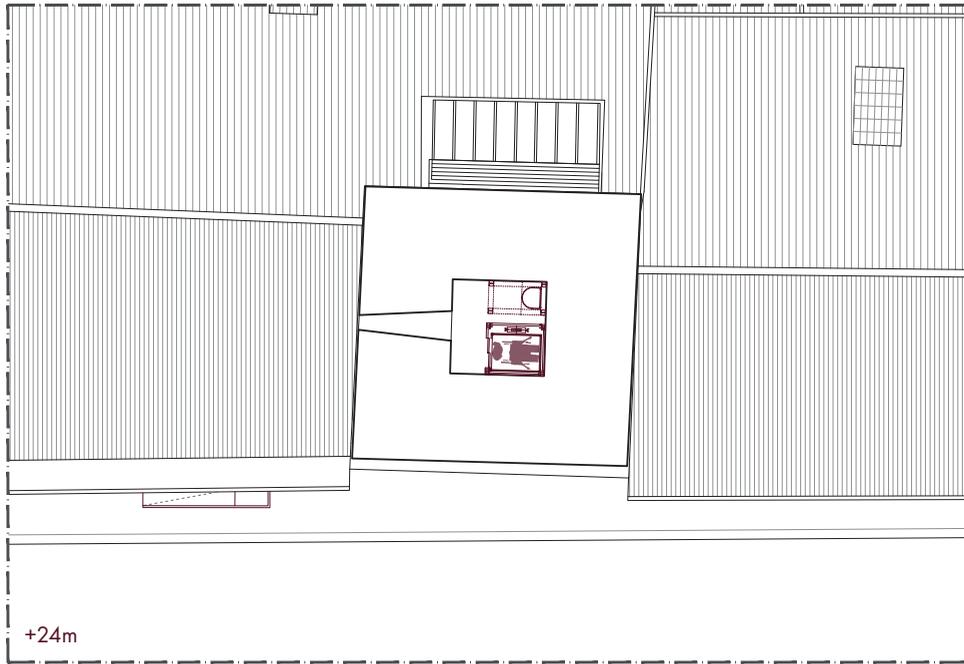
The room connected to the tower is placed, with respect to the landing of the staircase, at a height of 50cm, which will be compensated by a **third ramp (4)**, to be necessarily interlocked within the thickness of the floor slab. Here, to welcome the visitor, the ticket office will be located: the environment will be equipped with explanatory panels that will illustrate the history and morphological characteristics of the tower.

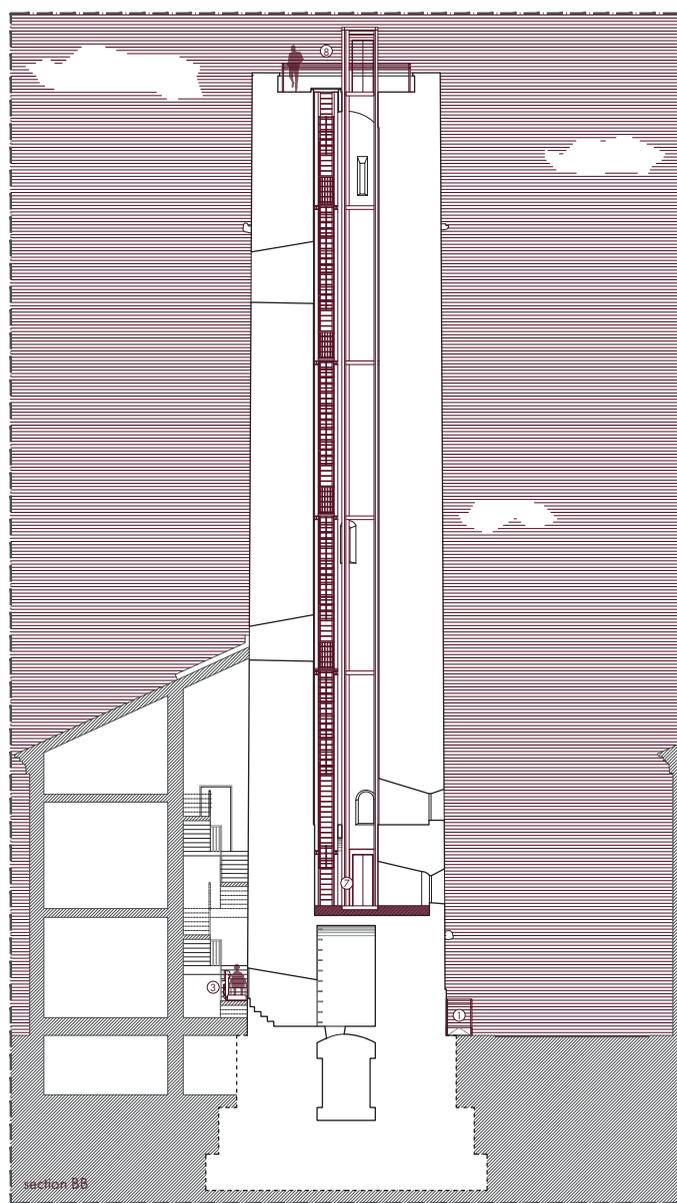
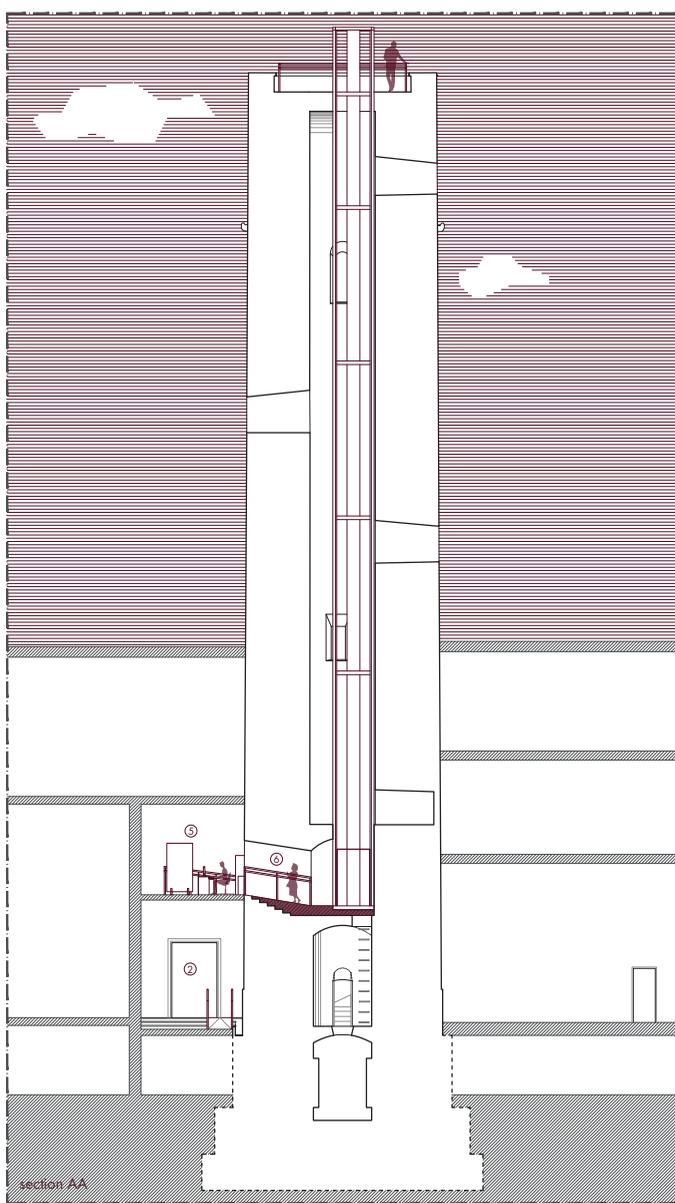
To allow access to the first floor of the tower, currently lowered by 80 cm compared to that of the archive, the walking surface will be raised of 40 cm (in order to reduce the height difference and obtain a space for housing the pit of the elevator) and the staircase obtained in the thickness of the masonry in the 70s will be substituted with a **fourth ramp (5)**.

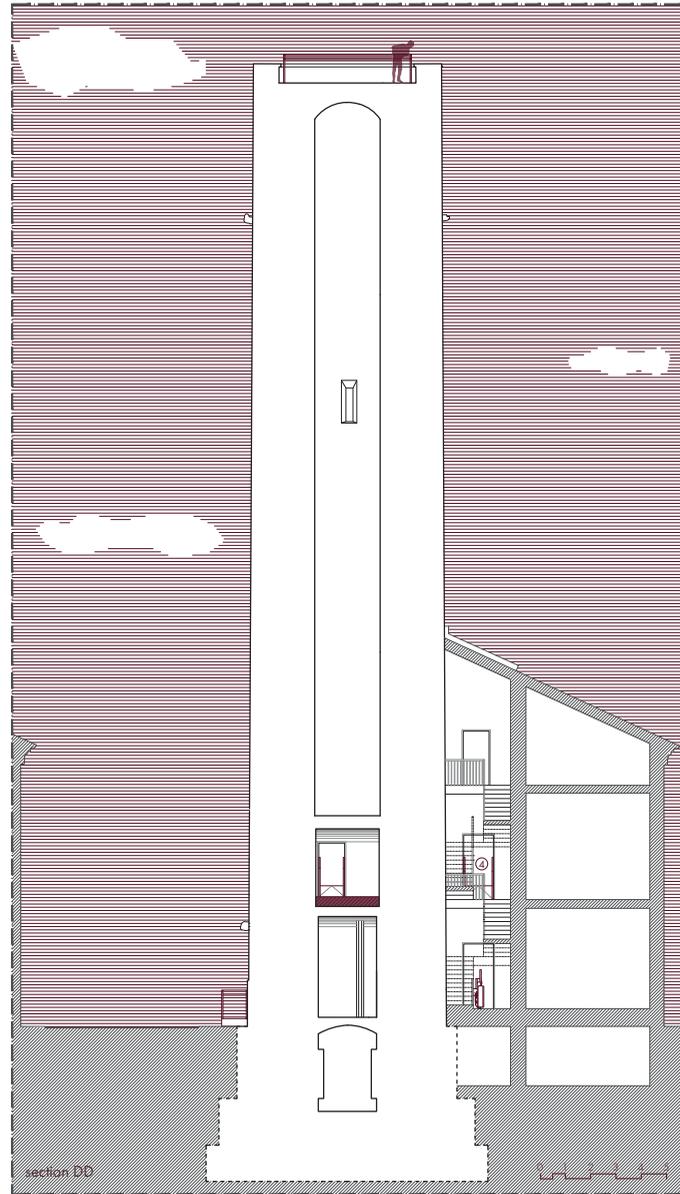
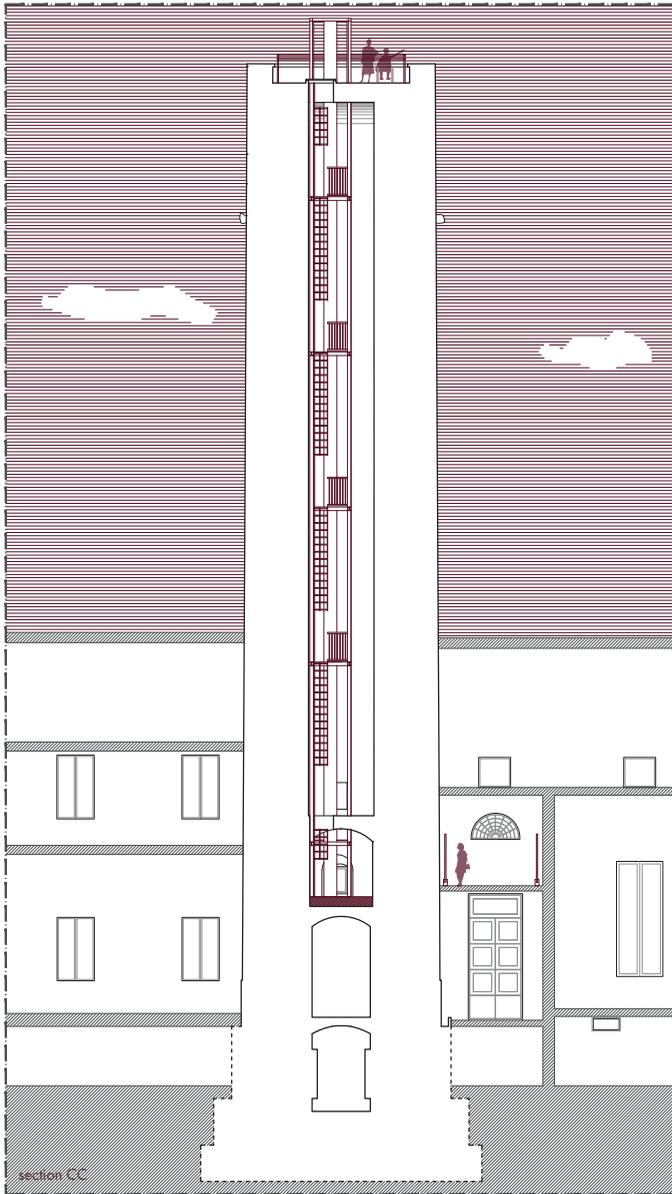
From here it will be possible to take a fully glazed **elevator (6)** that will allow you to go through the entire compartment of the Tower up to the **panoramic terrace at the top. (7)**

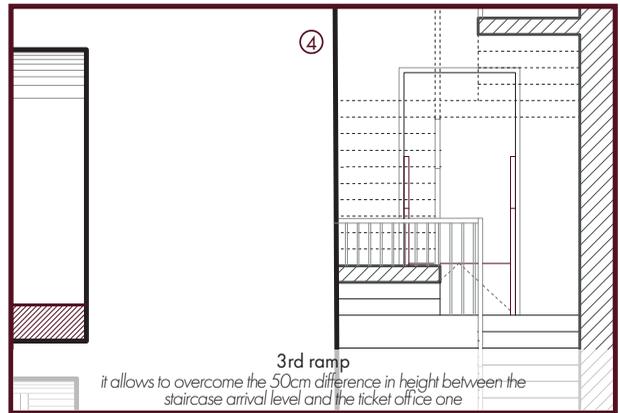
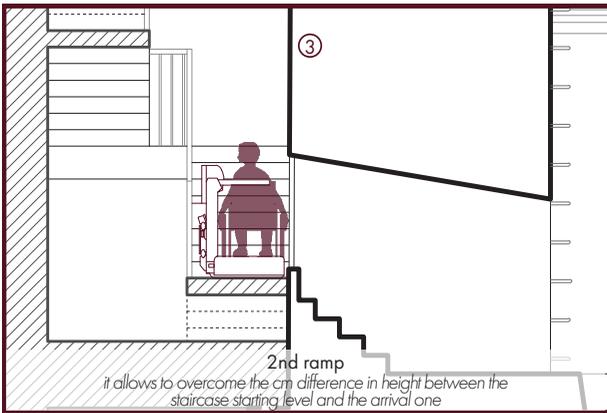
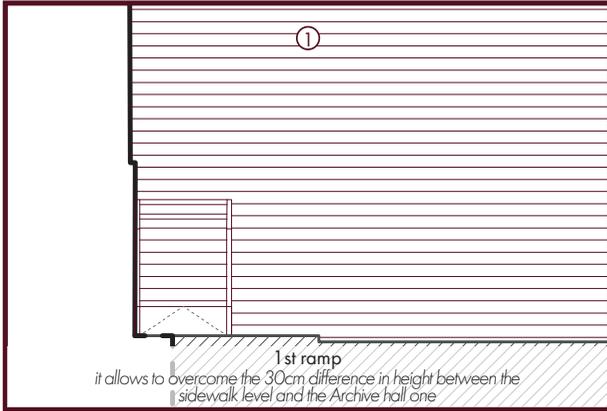


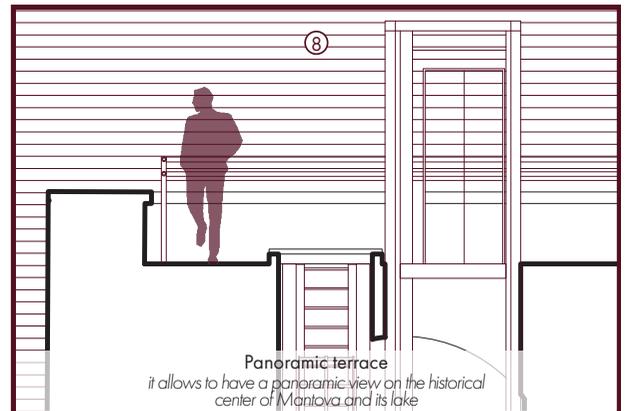
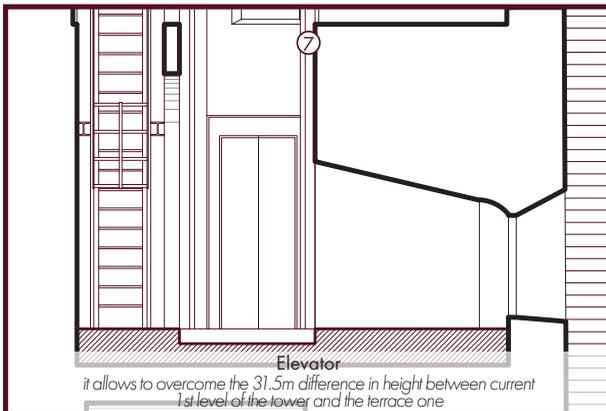
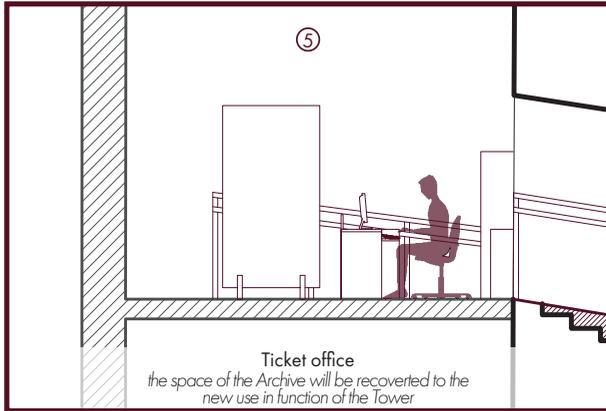












VI

reference legislation

Da DM 236/89 Decreto del Ministro dei lavori pubblici 14 giugno 1989, n. 236: *Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visitabilità degli edifici privati e di edilizia residenziale pubblica, ai fini del superamento e dell'eliminazione delle barriere architettoniche*

Art. 8. Specifiche funzionali e dimensionali

8.1.11. Rampe

Non viene considerato accessibile il superamento di un dislivello superiore a 3,20 m ottenuto esclusivamente mediante rampe inclinate poste in successione.

La larghezza minima di una rampa deve essere:

- di **0,90 m** per consentire il transito di una persona su sedia a ruote;
- di **1,50 m** per consentire l'incrocio di due persone.

Ogni 10 m di lunghezza ed in presenza di interruzioni mediante porte, la rampa deve prevedere un ripiano orizzontale di dimensioni minime pari a 1,50 x 1,50 m, ovvero 1,40 x 1,70 m in senso trasversale e 1,70 m in senso longitudinale al verso di marcia, oltre l'ingombro di apertura di eventuali porte.

Qualora al lato della rampa sia presente un parapetto non pieno, la rampa deve avere un cordolo di almeno 10 cm di altezza.

La pendenza delle rampe non deve superare l'**8%**.

Sono ammesse pendenze superiori, nei casi di adeguamento, rapportate allo sviluppo lineare effettivo della rampa. In tal caso il rapporto tra la pendenza e la lunghezza deve essere comunque di valore inferiore rispetto a quelli individuati dalla linea di interpolazione del seguente grafico. (**12% entro i 3.5m**)

8.1.12. Ascensore

c) L'ascensore in caso di adeguamento di edifici preesistenti, ove non sia possibile l'installazione di cabine di dimensioni superiori, può avere le seguenti caratteristiche:

- cabina di dimensioni minime di **1,20 m di profondità e 0,80 m di larghezza**;
- porta con luce netta minima di **0,75 m** posta sul lato corto;
- piattaforma minima di distribuzione anteriormente alla porta della cabina di **1,40 x 1,40 m**.

8.1.13. Servoscala e piattaforme elevatrici

-Servoscala

Per servoscala si intende un'apparecchiatura costituita da un mezzo di carico opportunamente attrezzato per il trasporto di persone con ridotta o impedita capacità motoria, marciante lungo il lato di una scala o di un piano inclinato e che si sposta, azionato da un motore elettrico, nei due sensi di marcia vincolato a guida-e.

I servoscala si distinguono nelle seguenti categorie:

[...]

d) piattaforma servoscala a piattaforma ribaltabile: per il trasporto di persona su sedia a ruote;

I servoscala sono consentiti in via alternativa ad ascensori e, preferibilmente, per superare differenze di quota non superiori a m 4.

Nei luoghi aperti al pubblico e di norma nelle parti comuni di un edificio, i servoscala devono consentire il superamento del dislivello anche a persona su sedia a ruote [...]

In ogni caso i servoscala devono avere le seguenti caratteristiche:

Dimensioni:

[...]

per categoria d) ed e) piattaforma (escluse costole mobili) non inferiori; a **cm 70 x 75** in luoghi aperti al pubblico.

Portata: per le categorie d) ed e) non inferiore a kg 150 in luoghi aperti al pubblico e 130 negli altri casi.

[...]

-Piattaforme elevatrici

Le piattaforme elevatrici per superare dislivelli, di norma, non superiori a ml. 4, con velocità non superiore a 0,1 m-s, devono rispettare, per quanto compatibili, le prescrizioni tecniche specificate per i servoscala.

Le piattaforme ed il relativo vano corsa devono avere opportuna protezione ed i due accessi muniti di cancelletto.

La protezione del vano corsa ed il cancelletto del livello inferiore devono avere altezza tale da non consentire il raggiungimento dello spazio sottostante la piattaforma, in nessuna posizione della stessa.

La portata utile minima deve essere di kg 130.

Il vano corsa deve avere dimensioni minime pari a **m 0,80 x 1,20**.

Se le piattaforme sono installate all'esterno gli impianti devono risultare protetti dagli agenti atmosferici

sources

HISTORICAL BIBLIOGRAPHY

AA. VV, *Convegno di riuso dei castelli. Le torri demaniali di Mantova*, 1990.

F. Amadei, *Cronaca universale della città di Mantova*, 1954-57

U. Bazzotti, D. Ferrari, *Il Palazzo degli studi: appunti per una storia dell'istruzione superiore a Mantova: luoghi e vicende dal Collegio dei Gesuiti al Liceo Ginnasio Virgilio*, Mantova, Palazzo Ducale, Sala Novanta, 8-27 ottobre 1991, Publi-Paolini Editore, Mantova, 1998

E. Boriani, *Castelli e torri dei Gonzaga nel territorio mantovano*, Brescia, 1969

M. Brignani, C. B. Previdi, P.E. Falini, *1.: I giardini dei Gonzaga: un atlante per la storia del territorio*. [Spoleto] Del Gallo, 2018.

P. Carpeggiani, I. Pagliari, *Mantova, Materiali per la storia urbana dalle origini all'Ottocento*, 1983

F.C. Carreri, *Di alcune torri di Mantova e di certi aggruppamenti feudali e allodiali nelle città e campagne lombarde*, in «Atti e memorie della R. Accademia Virgiliana di Mantova», 1905

S. Davari, *Cenni storici intorno a opere di fortificazione della città di Mantova del secolo XVI*, Mantova, 1875.

S. Davari, *Notizie storiche topografiche della Città di Mantova nei secoli 13-14-15*. [Milano Società storica lombarda, 1897] in *Archivio Storico Lombardo*, vol. 22/1897

D. Ferrari, *Mantova nelle stampe*, 1955

G. Gardoni, *Fra Torri e "Magnae Domus". Famiglie e spazi urbani a Mantova. Secoli XII-XIII*, Libreria Editrice, 2008

R. Luisi, *Scudi di pietra. I castelli e l'arte della*

guerra tra Medioevo e Rinascimento, Bari 1996.

E. Marani, *Vie e Piazze di Mantova. Analisi di un centro storico. Via Ardigò*, in "Civiltà Mantovana", Anno I, n° 5, Settembre-Ottobre 1966.

M. Marocchi, *I Gonzaga di Castiglione delle Stiviere. Vicende pubbliche e private del casato di San Luigi*, Artegrafica, 1990

R. Quazza, *Mantova e Monferrato nella politica europea alla vigilia della guerra per la successione (1624-1627) da documenti inediti tratti dall'Archivio Gonzaga*, G. Mondovì, Mantova, 1922.

V. Restori, *Mantova e dintorni*, 1937

L. O. Tamassia, "Dall'Archivio Gonzaga all'Archivio di Stato di Mantova. Sette secoli di custodia ininterrotta", in *Itinera chartarum. 150 anni dell'Archivio di Stato di Mantova*, Mantova, 2018.

P. Torelli, *Regesto Mantovano*, 1914

P. Torelli, *L'Archivio Gonzaga di Mantova*, Arnaldo Forni Editore, Ostiglia, 1920-1988

L. Ventura, R. Roggeri, *I Gonzaga delle nebbie: storia di una dinastia cadetta nelle terre tra Oglio e Po*, Cinisello Balsamo Silvana, 2008.

THEORETICAL BIBLIOGRAPHY

L. B. Alberti, *De re aedificatoria*, 1485

C. Brandi, *Teoria del restauro*, Roma 1963

M. Vitruvio Pollione, *De architectura*, XV sec a.C

J. Ruskin, *Seven lamps of architecture*, Londra, 1849

P. Torsello, *Che cos'è il restauro? Nove studiosi a confronto*, Venezia, 2005

G. Carbonara, *Trattato di restauro architettonico*, UTET, Torino, 1996

SCIENTIFIC BIBLIOGRAPHY

AA.VV, *Manuale delle murature storiche*. Volume I: Analisi e valutazione del comportamento strutturale, 2011

AA.VV, *Manuale delle murature storiche*. Volume II: Schede operative per gli interventi di restauro strutturale, 2011

AA.VV, *Cattedrale di Cremona: i restauri degli ultimi vent'anni (1992-2011)*, Skira, 2012

C. Campanella, *Il rilievo degli edifici. Metodologie e tecniche per il progetto di intervento*, Flaccovio Dario, 2017.

F. Doglioni, *Nel restauro. Progetti per le architetture del passato*, Marsilio, Venezia 2008

A. Giuffrè, "L'intervento strutturale quale atto conclusivo di un approccio multidisciplinare" in M.Piana, "Il consolidamento strutturale dell'edilizia storica", Quaderni dei seminari sul restauro architettonico n.1, , n.8, Centro Internazionale di Studi Andrea Palladio, Vicenza, 1995

A. Lionello, *Tecniche costruttive, dissesti e consolidamenti dei campanili di Venezia*, Carbo e Fiori editore, Venezia, 2011

L. Jurina, E.O. Radaelli, A. A. Bassoli, V. E. Mogenicato "Le scale negli edifici storici: criteri e tecniche di consolidamento" atti da convegno Centro Internazionale di Aggiornamento Sperimentale Scientifico, 2016

P. Rocchi, *Trattato sul consolidamento*, Mancosu,

Roma 2003

A. Saisi, S. Terenzoni, "Architetture fortificate nel mantovano: gli effetti del terremoto del 2012" in Castellum, Roma-Castel Sant'Angelo, 2014

M. Vinci, *Metodi di calcolo e tecniche di consolidamento per edifici in muratura*, Flaccovio Dario, 2019

CNR-ICR, *Normal-1/88. Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico*, Comas Grafica Srl, Roma 1990

ICOMOS, *Raccomandazioni per l'analisi, conservazione e restauro strutturale dei Beni Architettonici*, 2004.

DM 17/01/2018 , NTC *Norme Tecniche per le Costruzioni*

Circolare 21/01/2019, *Istruzioni per l'applicazione della nuove Norme Tecniche per le costruzioni*

SCIENTIFIC PUBLICATIONS

L. Jurina, M.J. Spignese, "Consolidare con acciaio inox e acciaio al carbonio", *Costruzioni Due* 5/2001

L. Jurina, "Cerchiatura di strutture murarie: tecniche tradizionali ed innovative"

C. Modena, M.R. Valluzzi, R. Tongini Folli, L. Binda, "Design choices and intervention techniques for repairing and strengthening of the Monza cathedral bell-tower", *Construction and Building Materials* 16, 31 Maggio 2002

C. Modena, *Criteri di progetto per il miglioramento sismico degli edifici storici*, Roma, 11 Maggio 2010

G. Magenes, *Edifici esistenti in muratura:*

comportamento sismico ed interventi di rinforzo, Convegno "Pericolosità, recupero e prevenzione sismica alla luce del terremoto dell'Emilia Romagna", Mantova, 20 Giugno 2012

L. Jurina, *Il consolidamento strutturale della Torre San Dalmazio a Pavia*, Giornate Italiane della costruzione in acciaio, Riva del Garda, 15-16-17-18 Ottobre 1995

PROJECT DOCUMENTATION

COPRAT, *Progetto di riuso della Torre dei Gambulini*, 2011.

ARCHIVAL FUND

Fondo Genio Civile

Archivio Notarile

Archivio Gonzaga

Documenti sparsi

Torri demaniali Mantova. Varie e corrispondenze

Fototeca

NEWSPAPER ARTICLES

"I lavori di restauro alla Torre dei Gambulini"
La Voce di Mantova, 22 Maggio 1941

"Scoperta una porta d'ingresso alla torre dell'archivio di stato", *Il Resto del Carlino. Edizione Mantovana*, 13 Dicembre 1956

"Le torri di Mantova sono sicure? C'è chi dice "si", chi dice "ni", la Gazzetta di Mantova, 21 Marzo 1989

"Scatta l' "emergenza torri": due sono sotto cura ma ne restano altre a rischio", *Gazzetta di Mantova*, 21 Marzo 1990

"La Torre di Sant'Alò fa il check-up. Messi in evidenza gli stemmi dei merli", *Gazzetta di Mantova*, 18 Aprile 1993

"Torre Gambulini Terrazza sul centro alta 32 metri", *Gazzetta di Mantova*, 4 Marzo 2010

"La Gabbia sta per rinascere. Un anno e mezzo di lavori", *Gazzetta di Mantova*, 25 Maggio 2017

"Mantova, finito il restauro di Torre della Gabbia, ora rush finale per l'ascensore", *Gazzetta di Mantova*, 21 Settembre 2021

SITOGRAPHY

<http://digilib.bibliotecateresiana.it/index.php>

