



La torre Ghirlandina The Ghirlandina Tower



**Comune
di Modena**

Direttore progetto editoriale

Editorial director

Alessandra Maiarelli

Progetto grafico/Design

Studio Ferruccio Montanari

Impaginazione/Layout

Vanessa Marcuzzi

con/with

Tead Beqiraj

Paola Marchesan

Coordinamento redazionale/

Editorial coordinator

Francesca Novajra

Redazione del testo

inglese/Editor, English text

Moira Egan

Redazione del testo

italiano/Editor, Italian text

Cinzia Codeluppi,

Francesca Novajra

Traduzioni/Translators

pp. 279, 280, 281

Luciano Culos

pp. 7, 24>27, 28>39

208>233, 242>253

256>261

Kathleen Hannan

pp. 42>77, 88>93

130>143

Miriam Hurley

pp. 6, 9>21, 262>271

278>286

Wendell Ricketts

Le pagine seguenti sono
stati tradotte dagli autori

The following pages
have been translated
by the authors:

pp. 78>87, 96>117,

118>129, 146>163,

164>177, 178>193,

194>205

Referenze fotografiche /

Photo Credits

Mirella Baldan (132>134)

Rossella Cadignani

(28, 39, 90, 242, 243, 245,
247-6, 249-7,8a, 251, 252)

Alessandro Capra (85)

Donato Labate

(66, 69, 77, 183)

Stefano Lugli (31, 96, 99,

102>113, 118, 120, 122>129,
236, 241, 249-8b, 250)

Bruno Marchetti

(4, 8, 10, 14, 18, 20, 24, 27,
37, 42, 48, 88, 91, 116, 122,
130, 208, 244, 265, 266,
269, 271)

Luigi Ottani (261, 262)

Alberto Turci (259)

Archivio Arcadia (211>233)

Archivio Comune

di Modena (69-aerea, 287)

Archivio Raccolte

fotografiche modenesi

“Giuseppe Panini”

Carlo Orlandini (91, 92)

Archivio Unimore (32)

Gianni Volpi (256)

©2009

luca sossella editore srl

via Zanardelli 34

00161 Roma

info@lucasossellaeditore.it

www.lucasossellaeditore.it

©agli autori

La torre Ghirlandina

Un progetto per la
conservazione

The Ghirlandina Tower
Conservation Project

A cura di/Edited by
Rossella Cadignani



+
7
9
11
15
19
21
22
24
28
40
42
48
66
78
88
94
96
118
130
144
146
164
178
194
206
208
234
236
242
254
256
262
272
274
278
282

Indice Index

Piano dell'opera Publication Overview

Indirizzo di saluto Introductory remarks

Andrea Landi Presidente President

Fondazione Cassa di Risparmio di Modena

Carla Di Francesco

Direttore regionale Regional Director

Ministero per i beni e le attività culturali Emilia-Romagna

Sabina Ferrari

Soprintendente Superintendent

per i beni architettonici e paesaggistici per le province di Bologna, Modena e Reggio Emilia

Giorgio Pighi

Sindaco di Modena

Mayor of Modena

Roberto Guerzoni

Assessore Director

Lavori pubblici e Centro storico

La tutela

The protection

Il Sito Unesco

The Unesco Site

Manuel Guido

Un progetto per la conservazione

Conservation Project

Rossella Cadignani

La conoscenza

Background

Note sul cantiere del Duomo e della Ghirlandina

Notes on the construction of the Cathedral and the Ghirlandina Tower

Francesca Piccinini

Fonti e studi per la storia della Ghirlandina

Sources and studies for the history of the Ghirlandina

Cristina Dieghi

Il contributo dell'archeologia alla lettura di un monumento

Archeology's contribution to understanding a monument

Donato Labate

Il rilevamento della torre Ghirlandina

The surveying of Ghirlandina Tower

Paolo Giandebiaggi, Andrea Zerbi, Alessandro Capra

Il restauro degli anni Settanta

The restoration project in the 1970s

Rossella Cadignani, Franco Valli

Le superfici

Surfaces

Le pietre della torre Ghirlandina

The stones of the Ghirlandina Tower

S. Lugli, C. A. Papazzoni, S. Gavioli, C. Melloni, G. Rossetti, S. Tintori, R. Zanfrognini

Mappatura dei fenomeni di degrado

Stone deterioration mapping

Stefano Lugli, Luca Corradini, Simona Pedrazzi

Valutazione dell'alterazione chimico-fisica delle superfici lapidee

Assessment of the chemical and physical alteration of stones surfaces

Mirella Baldan, Guido Biscontin

La struttura

The structure

La struttura dissesti e lesioni

Structure, disorders and cracks

S. Alfieri, C. Blasi, M. Carobbi, E. Coisson

Analisi strutturale statica e dinamica della torre Ghirlandina

Structural static and dynamic analysis of the Ghirlandina Tower

Angelo Di Tommaso, Francesco Focacci, Federica Romaro

Aspetti geotecnici nella conservazione della torre

Geotechnical aspects of the preservation of the Ghirlandina Tower

Renato Lancellotta

I dati del monitoraggio per la comprensione dei movimenti della torre Ghirlandina

The role of monitoring Tower movements

Carlo Blasi, Alessandro Capra, Eva Coisson, Renato Lancellotta

Il progetto per la conservazione

Preservation Project

Indagini per una valutazione di tecniche e prodotti per l'intervento di restauro

Survey for the assessment of restoration intervention techniques

Z. Morabito, M. Tonon, M. Mazzari, G. Longega, G. Driussi, G. Biscontin

Il progetto di restauro

Restoration Project

Il progetto per l'intervento: scelte e aspetti metodologici

The project for the intervention: choices and operating methods

Guido Biscontin

Gli interventi previsti

Planned interventions

Rossella Cadignani, Franco Valli, Fabrizio Lugli

La valorizzazione

Outreach

Un progetto per la città

A project for an entire town

C. Melloni, S. Pedrazzi, G. Rossetti, S. Tintori, R. Zanfrognini, K. Zolli, R. Cadignani, S. Lugli

Paladino per Modena: come un telo per coprire i ponteggi può diventare protagonista

Paladino for Modena: A Cover-Up for the Ghirlandina's Scaffolding Becomes the Belle of the Ball

Angela Vettese

Apparati

Appendix

Bibliografia

Bibliography

Gli autori

Authors

Ringraziamenti

Acknowledgments

**Comune di Modena
For the City of Modena**

Roberto Guerzoni,
Assessore Lavori pubblici
e Centro storico,
presidente del Comitato
Director, Department
of Public Works and the
Historical Center,
President of the Scientific
Committee

Fabrizio Lugli,
Dirigente del Settore
Lavori pubblici
Manager, Department
of Public Works

Rossella Cadignani,
Dirigente
del Servizio edilizia storica
e coordinatrice del Comitato
Manager, Registry of Historical
Buildings and Scientific
Committee Coordinator

Francesca Piccinini,
Direttrice del Museo Civico
e coordinatrice del Comitato
di pilotaggio del sito Unesco
Director, Museo Civico and
Coordinator of the Unesco
Site Steering Committee

Alessandro Annovi,
Dirigente Servizio
Risorse e Territorio
Manager, Resources
and Territory Department
for the Environmental
Protection Section

**Altri enti/Representatives
of Other Organizations**

Franco Tazzioli,
Segretario generale
della Fondazione
Cassa di Risparmio
di Modena
Secretary General
of the Fondazione Cassa
di Risparmio di Modena

Sabina Ferrari,
Soprintendente
per i Beni architettonici
e paesaggistici
per le province di Bologna,
Modena e Reggio Emilia
Superintendent
of Architectural
and Landscape Heritage
for the Provinces
of Bologna, Modena,
and Reggio Emilia

Graziella Polidori,
Soprintendenza
per i Beni architettonici
e paesaggistici
per le province di Bologna,
Modena e Reggio Emilia
Superintendency
for Architectural
and Landscape Heritage
for the Provinces
of Bologna, Modena,
and Reggio Emilia

Donato Labate,
Soprintendenza
per i Beni archeologici
Regione Emilia-Romagna
Superintendency
for Architectural
Heritage of the
Emilia-Romagna Region

Pier Paolo Bonacini,
Deputazione di Storia Patria
per le antiche Province
Modenesi
National Historical
Delegation for the Ancient
Provinces of Modena

**Esperti
Experts**

Guido Biscontin,
Dipartimento di Scienze
ambientali dell'Università
Ca' Foscari di Venezia
Department of Environmental
Sciences, Ca' Foscari
University (Venice)

Carlo Blasi,
Dipartimento di Ingegneria
civile, dell'ambiente,
del territorio e architettura
dell'Università di Parma
Department of Civil
Engineering Environment,
Territory, and Architecture,
University of Parma

Renato Lancellotta,
Dipartimento di Ingegneria
strutturale e geotecnica
del Politecnico di Torino
Department of Structural and
geotechnical Engineering,
Turin Polytechnic University

Stefano Lugli,
Dipartimento di Scienze
della terra dell'Università
di Modena e Reggio Emilia
Department of Earth
Sciences, University of
Modena and Reggio Emilia

Angelo di Tommaso,
Dipartimento di Costruzione
dell'architettura dell'Università
IUAV di Venezia
Department of
Architectural Engineering,
IUAV University (Venice)

**Altri collaboratori
Additional Partners**

Alessandro Capra,
Dipartimento di Ingegneria
meccanica e civile
dell'Università di Modena
e Reggio Emilia
Department of Civil and
Mechanical Engineering,
University of Modena and
Reggio Emilia

Cristina Dieghi,
ricercatrice
Research Associate

La torre Ghirlandina **The Ghirlandina Tower**
Piano dell'opera Publication Overview

Questa pubblicazione illustra il percorso, svolto nel periodo 2006-2008, che ha portato al progetto di restauro per la salvaguardia della torre Ghirlandina di Modena. Si tratta di due volumi e di un supporto digitale, realizzati con il prezioso contributo della Fondazione Cassa di Risparmio di Modena.

Nel primo sono descritti l'organizzazione, il metodo di lavoro, le osservazioni e le indagini, che hanno permesso l'elaborazione del progetto di restauro, ed è corredato da disegni, foto e altri apparati illustrativi.

Il secondo volume, attualmente in elaborazione, comprende in dettaglio lo studio storico-artistico dell'apparato decorativo della torre, il progetto di consolidamento strutturale e i risultati del restauro in corso.

This publication describes the interventions that occurred from 2006-2008, which led to the restoration project in order to save the Ghirlandina Tower in Modena.

It is composed of two books and a USB pen, and was published thanks to the generous contribution made by the Fondazione Cassa di Risparmio di Modena.

The first book describes the organization, work methods, research, and surveys that led to the realization of the actual restoration project, and includes drawings, photos and other illustrative information.

The second book, which is currently being completed, provides extremely detailed historical and artistic information on the decorative façade of the Tower, the projects for structural consolidation, and the results of the restoration work underway at this time.



L'intervento di restauro della torre Ghirlandina di Modena del quale si dà conto in questo volume, è stato promosso nel gennaio 2008 dal Comune di Modena ed è finalizzato al recupero e al consolidamento delle superfici in pietra, operazioni divenute necessarie in seguito alla caduta di alcuni frammenti lapidei nel maggio 2007.

Si tratta di un progetto di grande valore culturale, mirato a conservare un monumento che, oltre a essere il simbolo della nostra città, fa parte della lista dei siti dichiarati dall'Unesco "Patrimonio Mondiale dell'Umanità".

La Fondazione Cassa di Risparmio di Modena, per la quale i temi del recupero e della valorizzazione del patrimonio artistico costituiscono una delle priorità, ha svolto un ruolo determinante per l'avvio dei lavori: l'ente ha deciso infatti di sostenere l'intervento con un finanziamento di 3 milioni di euro, successivamente integrato dalla Regione Emilia-Romagna con ulteriori 200 mila euro.

Il progetto di restauro si distingue per il rilevante spessore scientifico: le opere sono state precedute e affiancate da indagini propedeutiche, coordinate da un comitato formato dagli enti promotori e da esperti delle discipline coinvolte nell'intervento. Segnaliamo inoltre che il cantiere è stato aperto al pubblico durante alcune fasi dei lavori, così da consentire ai visitatori di seguire da vicino gli stadi del restauro, mentre la torre è stata e resterà sempre accessibile al suo interno, per tutta la durata dell'intervento.

In questo volume si raccolgono le conoscenze sulla torre Ghirlandina maturate in anni di studi e in particolare si illustra l'esito delle indagini archeologiche del sottosuolo e della classificazione del paramento lapideo effettuate in occasione dell'attuale restauro, in collaborazione con le facoltà di Scienze della terra e Conservazione dei beni culturali dell'ateneo di Modena e Reggio Emilia.

L'inserimento del Duomo e della torre Ghirlandina nella lista dei siti dichiarati dall'Unesco "Patrimonio Mondiale dell'Umanità", nel 1997, ha comportato l'assunzione di precisi impegni da parte delle istituzioni che hanno adottato politiche di valorizzazione, si sono dotate di un efficiente sistema di conservazione e hanno promosso studi e ricerche scientifiche. La Fondazione Cassa di Risparmio di Modena ha svolto un ruolo attivo in questo percorso, partecipando alle principali iniziative avviate sinora per la tutela e la valorizzazione dell'area di Piazza Grande.

Oltre a essere direttamente impegnata nell'intervento sulla Ghirlandina, la Fondazione sostiene in parallelo anche il restauro del Duomo: i due interventi, che ricorrono nel primo decennale del riconoscimento Unesco, rappresentano il completamento delle azioni sinora intraprese.

Andrea Landi

Presidente ~ President
Fondazione

Cassa di Risparmio di Modena

The restoration of Modena's Ghirlandina Tower, described in this volume, was approved in January 2008 by the City of Modena with the aim of renovating and consolidating the Tower's stonework, a project that became necessary when several stone fragments fell from the Tower in May 2007. The goal of the operation was the preservation of a monument which, in addition to being the symbol of our city, had been inscribed on Unesco's list of World Heritage sites. As such, the project has assumed an immense cultural value. The Fondazione Cassa di Risparmio di Modena, for which the reclamation and promotion of Modena's artistic heritage has always been a priority, played a decisive role in getting the work underway. In specific, the Foundation agreed to provide funding of € 3,000,000 in support of restoration efforts, later supplemented by a grant of an additional € 200,000 from the Emilia-Romagna Region. The Ghirlandina Tower project is notable for its scientific authority and significance. A committee – made up of project organizers and of experts in the various disciplines involved in the restoration – coordinated careful scientific studies both before and during restoration efforts. It is of additional interest to note that the work site was open to the public during some phases of the project in order to allow visitors a close look at the various phases of the operation, while the interior of the Tower was and will remain accessible for the entire length of restoration efforts. This volume brings together the information acquired during years of study dedicated to the Ghirlandina Tower. In specific, it describes the results of archeological testing of the subsurface soils and classification studies carried out on the external stonework during the restoration itself. The Departments of Earth Sciences and of Cultural Heritage Conservation of the University of Modena and Reggio Emilia collaborated in these efforts. The inscription of the Duomo and the Ghirlandina Tower on the Unesco list of World Heritage sites in 1997 imposed specific obligations on the City of Modena's administration and institutions. Their response was to inaugurate public-awareness efforts, initiate an efficient conservation system, and promote scientific study and research. The Fondazione Cassa di Risparmio di Modena played an active role in this process, and was a participant from the very beginning in initiatives aimed at protecting and promoting interest in the historical monuments of the Piazza Grande complex. In addition to being directly engaged in the project to restore the Ghirlandina Tower, the Fondazione also supports the restoration of the Duomo. These two efforts in the first decade following Unesco recognition represent the culmination of our activities to date.



La dichiarazione di Patrimonio dell'Umanità arrivata per la cattedrale, la torre civica e Piazza Grande nel 1997, rappresenta un riconoscimento di altissimo prestigio per Modena che in essa vede esaltato quel significato al contempo civico e religioso del complesso, che la rende del tutto unica nel panorama delle città storiche europee.

Il riconoscimento tuttavia impone precise responsabilità perché il bene individuato come simbolo di un momento eccezionalmente alto della civiltà e dell'ingegno umano deve e dovrà sempre essere in grado di trasmettere il suo intrinseco significato universale alla comunità umana. Ne consegue, tra tanti altri obblighi di diversa natura, anche quello della costante manutenzione e della conservazione fisica nelle migliori condizioni possibili.

Il tema non è nuovo per il Duomo e per la Ghirlandina ai quali anche prima dell'esplicitazione dell'universale interesse non sono mancate nei secoli cura e attenzione; del resto ogni monumento di architettura giunge ai tempi di oggi carico di una storia fatta di interventi manutentivi, sostituzioni e trasformazioni intenzionali volute in relazione al cambiamento di sensibilità e gusto delle generazioni che si sono succedute nei secoli; e modifiche, completamenti, "abbellimenti", aggiunte che si sovrappongono all'iniziale configurazione architettonica e decorativa senza quasi soluzione di continuità, hanno avuto come oggetto anche il complesso modenese, fino alle soglie dei nostri giorni. In questo continuum storico di interventi che ci ha consegnato Duomo e Ghirlandina nell'attuale consistenza architettonica e urbana, merita un posto particolare l'attività dei restauratori che hanno qui profuso le loro fatiche, in particolare quelli collocati cronologicamente tra l'ultimo decennio dell'Ottocento e gli anni Cinquanta del Novecento.

**Conoscere per tutelare,
conservare per trasmettere.**

Unesco's 1997 decision to add Modena's "Cathedral, Torre Civica, and Piazza Grande" to its list of World Heritage sites was a recognition of enormous prestige for the City of Modena. Indeed, the Unesco honor magnified the simultaneously civic and religious significance of these buildings, which make Modena unique among historical European cities. The recognition nonetheless imposed specific responsibilities on the community: the structures that had been recognized as symbols of an exceptional moment in human civilization and ingenuity had to remain capable of transmitting their intrinsic and universal meaning to the entire human family. What naturally followed, among the many other responsibilities implied by the Unesco recognition, was the obligation to maintain and preserve these monuments according to the best available practices. This is not a new theme for the Duomo and the Ghirlandina Tower. Even during the centuries before worldwide

interest in these monuments manifested itself, there was no lack of concern regarding their care and maintenance. Naturally, every architectural monument comes down to us replete with a rich history of repair and reconstruction efforts dictated by changing tastes and sensibilities over generations and centuries.

The modifications, enhancements, and "embellishments" that are superimposed almost continuously over original architectural and decorative elements have touched Modena's monuments as well, and continue to do so to the present day.

In this historical continuum of restoration efforts, which has delivered the Duomo and the Ghirlandina Tower to us in their current architectural condition and urban context, the work of the restorers who labored here deserves a special mention in particular, those who were active between the last decade of the nineteenth century and the 1950s.

Il restauro inteso come disciplina autonoma “fondata su basi tecnico-scientifiche... e sopra una metodologia critico-estetica, anche connessa con gli ideali e le cognizioni dei vari momenti culturali” (Cesare Brandi) è stata attività intensamente praticata in quei decenni, assumendo connotazioni diverse che vanno dalla “fedeltà ai principi del restauro stilistico” esplicitamente invocata da Raffaele Faccioli rispondendo a chi raccomandava moderazione nelle integrazioni e nelle sostituzioni di materiale, all’isolamento, alle esemplari ricostruzioni postbelliche di Alfredo Barbacci, ormai entrate come positivi esempi di cautela nella storia del restauro.

Successivamente a questo periodo il restauro si configura sempre più come “l’attività comunque svolta per prolungare la vita dell’opera d’arte e parzialmente reintegrarne la visione...” (Cesare Brandi) e con sempre maggior convincimento, dunque, si incammina verso il concetto di conservazione: le scienze applicate e le tecnologie diventano parte integrante e sostanziale del metodo e del processo progettuale del restauro, che tende a specializzare ogni segmento dell’intervento sul costruito richiamando al suo specifico statuto discipline tecniche affini e complementari.

Chimica, fisica, geologia e biologia, oltre alla tecnologia dei materiali antichi e moderni e all’ingegneria strutturale, già presenti, sono necessarie nel lavoro di ricerca e sempre più intensa specializzazione, di affinamento e avvicinamento alle problematiche poste dal restauro dei monumenti, ma in una particolare ottica conservativa.

Si fonda allora, seguendo il positivo esempio del lavoro di Cesare Brandi presso l’Istituto centrale del restauro per le opere mobili e i dipinti, una vera e propria scienza della conservazione applicata alle superfici dell’architettura esposte all’aperto; e arrivati agli anni Settanta

Restoration, as an independent discipline “founded upon technical and scientific bases... and built upon a critical-aesthetic methodology connected to the ideals and knowledge of varying cultural moments” (Cesare Brandi), was practiced intensely during those decades. Indeed, restoration took on a variety of connotations, ranging from Raffaele Faccioli’s “faithfulness to the principles of stylistic restoration” (his response to those who counseled moderation in adding to or replacing building materials) to isolation; and then to Alfredo Barbacci’s exemplary post-war reconstruction efforts, which have by now become a model of appropriate caution in the history of restoration. In the years that followed, restoration has increasingly been conceived of as “activity undertaken in order to extend the life of a work of art and partially restore its original aspect” (Cesare Brandi). It is with ever-greater conviction, then, that we find ourselves directed toward the concept of conservation: the applied

sciences and technology have become an integral part of the methodology and planning of restoration efforts, which now tend to divide each project into specialized segments, each of which, in turn, requires the specific competencies of a group of allied and complementary disciplines. Under the overarching umbrella of conservation efforts, the fields of chemistry, physics, geology, and biology – as well as the study of ancient and modern building materials and structural engineering – are called upon to provide research and increasingly specialized knowledge as a means to refine an approach to the problems posed by the restoration of historical buildings and monuments.

The result – following the excellent example of Cesare Brandi’s work at the Istituto centrale del restauro – was a genuine science of conservation that could be applied to architectural works exposed to the elements. By the 1970s and 1980s, restoration work on

e Ottanta, il restauro sulle superfici lapidee della facciata del Duomo modenese fa tesoro degli studi, delle conoscenze acquisite, delle esperienze che nel frattempo erano maturate dall'incontro tra la comunità scientifica e il mondo delle soprintendenze e degli operatori.

Per quel che riguarda la Ghirlandina in particolare, numerose testimonianze documentarie riferiscono che ricorrenti sono state, nel corso dei secoli, le preoccupazioni relative alla stabilità complessiva della torre o di porzioni localizzate, come per esempio quelle dell'area della ghirlanda, o di parti costruttive come il paramento lapideo esterno. A questi principali problemi è stata data risposta con interventi diversificati e parziali nel corso dei secoli XVI e XVII, ma è a partire dal 1890 che si iniziano studi significativi finalizzati a chiarire dinamiche e cause di dissesti, anomalie strutturali e degrado del rivestimento lapideo.

Ciascun momento storico ha risposto secondo la sua cultura e le proprie possibilità tecniche, così tra gli esiti di quella stagione di restauri si vede, per esempio, la sostituzione di molte parti di paramento e di elementi architettonici decorati, operata del resto in continuità con il passato secondo le buone pratiche del cantiere storico; ma, appunto, la maturazione teorica della disciplina, il livello oggi raggiunto dalla ricerca applicata al restauro, l'approfondimento delle conoscenze storiche, prospettano oggi un approccio fondato sulla conservazione della materia, così come in primo luogo su controllo, monitoraggio e sicurezza statica piuttosto che sul consolidamento strutturale.

Gli studi multidisciplinari dei quali questa pubblicazione rende noti i risultati costituiscono un supporto completo e fondamentale per il progetto di conservazione e preparano un intervento al passo con i nostri tempi che assolverà quel delicato compito di trasmissione alle future generazioni che è nei nostri doveri.

Carla Di Francesco

Direttore regionale per i beni culturali e paesaggistici dell'Emilia-Romagna
Ministero per i beni e le attività culturali
Emilia-Romagna Regional Director for Cultural and Landscape Heritage,
Italian Ministry of Cultural Heritage and Activities

the Duomo's stone façade had already begun to take careful account of the studies, knowledge, and experience that had resulted from the encounter between the scientific community and various administrative bodies and other professional figures.

With specific regard to the Ghirlandina Tower, a great deal of documentary evidence attests to recurring concerns, over the centuries, regarding the general stability of the tower or of individual areas of it (for example, the decorative "garland" railings or portions of the external stonework). Partial interventions of various kinds during the sixteenth and seventeenth centuries were intended to resolve these problems, but it wasn't until 1890 that serious study aimed at clarifying the dynamics and causes of instability, structural abnormalities, and the deterioration of the external stonework was undertaken. Each historical moment has responded as its cultural realities and technical capabilities demanded.

Among the results of that earlier era's restorations, then, we can observe that many sections of the building perimeter and of elements of architectural decor were replaced with historically faithfulness in mind and in keeping with the restoration practices of that time.

As the field has matured technologically, however, the degree of research applied to restoration efforts, along with the expansion of our historical awareness and knowledge, now calls for a conservation-based approach, placing issues of analysis, monitoring, and static stability ahead of structural consolidation.

The multidisciplinary studies whose results are described in this volume constitute a comprehensive basis and a fundamental preparation for conservation and restoration efforts that both keep step with our times and assure that we will be able to fulfill our duty to pass our cultural heritage on to future generations.



Il 16 maggio 2008 si è svolto a Modena un convegno scientifico sul restauro della Ghirlandina. I temi trattati in quell'occasione sono in buona parte gli argomenti sviluppati in questo volume che costituisce un ulteriore passo avanti nella conoscenza del monumento.

Il risultato raggiunto dà conto dell'impegno profuso da diversi soggetti: istituzionali, pubblici e privati nell'attuare una sinergia che ha come obiettivo la tutela e la valorizzazione di un sito di importanza straordinaria per la storia dell'arte e della cultura italiana, sito che ha da poco celebrato i dieci anni di inserimento nella lista del Patrimonio Mondiale dell'Unesco.

In questo decennio si è registrata un'intensa attività da parte dei partecipanti all'iniziativa; ciò ha portato anche a definire recentemente il piano di gestione del sito, atto strategico indispensabile per lo sviluppo di un programma condiviso tra più soggetti, strumento utile per la promozione culturale, per l'attivazione di risorse pubbliche e private, per dare impulso alle attività di conservazione e valorizzazione dei beni iscritti nella lista, affiancando in questo l'azione delle soprintendenze che svolgono istituzionalmente l'attività di tutela, attività che sarà tanto più efficace e incisiva quanto più sarà approfondita la conoscenza dei beni da tutelare.

Sotto questo profilo il riconoscimento del sito da parte dell'Unesco ha svolto un ruolo importante perché ha agito da volano stimolando l'interesse ad approfondire la conoscenza dei monumenti iscritti nella lista.

In tale contesto l'amministrazione comunale modenese, con grande lungimiranza, ha stabilito di istituire tre comitati tra loro coordinati per lo studio, la tutela, la conservazione della torre Ghirlandina.

On May 16, 2008, a scientific conference was held in Modena regarding the restoration of the Ghirlandina Tower.

The issues discussed at that conference are largely those that are covered in this volume, which adds an additional resource to our understanding of the Tower. Such results are a testament to the labors of a large group of institutions, agencies, and organizations, both public and private, that worked in synergy to safeguard and promote a site that holds extraordinary significance for art history and for Italian culture. Indeed, we have recently celebrated the tenth anniversary of the inclusion of Modena's historical complex on Unesco's list of World Heritage sites. Over the last ten years, the work of the various participants in the Ghirlandina Tower initiative has been intense. More recently, we have defined a site-management plan, indispensable not only for the development of a

shared stewardship of the project but also for cultural promotion, for attracting public and private resources, for the preservation of the Tower, and for raising general awareness regarding the cultural legacies included on the Unesco list. To that end, the Ghirlandina Tower site plan supports the work of the various administrative bodies which carry out, at an institutional level, the guardianship of our cultural inheritance – an activity that naturally becomes more focused and effective as our understanding of that heritage deepens. In this connection, Unesco recognition has played a signal role, because it served to stimulate interest in developing a more in-depth knowledge of Modena's monuments. Following that lead and acting with great foresight, Modena's City Council created three inter-coordinated committees for the study, protection, and conservation of the Ghirlandina Tower.

Le relazioni esposte dagli studiosi al convegno, ulteriormente estese e approfondite in questo libro, costituiscono le tessere di un mosaico che si andranno via via aggregando tra loro per dar forma a un quadro di conoscenze sempre più chiaro e leggibile sulle vicende della torre.

Ogni relazione è frutto di un lungo e paziente lavoro di analisi e di studio, non solo dei documenti d'archivio ma soprattutto della materia che compone il monumento e dei fenomeni chimici e fisici che lo hanno interessato nel corso dei secoli.

Le notizie interessanti che il lettore avrà modo di apprendere da questo studio, ho avuto l'opportunità di conoscerle un po' alla volta, via via che prendevano forma, partecipando ai lavori del Comitato scientifico, e devo dire che pur operando da molti anni nel settore dei beni culturali, trovo sempre emozionante avere ogni volta conferma che i monumenti, attraverso la loro consistenza materica, parlino sempre di se stessi; i materiali di cui sono composti, le pietre, le malte, gli ancoraggi, i sistemi costruttivi messi a punto e applicati da sapienti ed esperti costruttori, recano impressa nella materia la loro storia. I monumenti raccontano se stessi, sono come libri aperti, scritti con un linguaggio a volte complesso, che con il passare del tempo può essere divenuto anche lacunoso, ma che il lavoro fondamentale degli studiosi decodifica poiché il loro studio diventa lo strumento che consente di interpretare i segni che ogni monumento porta con sé. Credo fosse questo il motivo per cui, in modo appropriato, il convegno di maggio 2008 si intitolava "La Torre racconta".

La fretta che caratterizza il nostro tempo spesso non consente di fermarsi a guardare piccoli indizi apparentemente insignificanti, dico apparentemente perché in realtà tutto ha un significato. Molti cittadini modenesi, per esempio, avranno notato le differenze cromatiche e di tessitura del paramento murario della Ghirlandina e di altri monumenti attigui, ma la fretta avrà forse impedito loro di chiedersi le ragioni di tali differenze. I motivi possono essere molteplici: la provenienza dei materiali da cave diverse, l'utilizzo di materiali di spoglio, epoche costruttive differenti, interruzione del cantiere per eventi storici che ne hanno impedito il completamento in tempi ravvicinati e via dicendo.

The reports presented by scholars at the conference, whose work is further expanded upon in this volume, are like the tesserae in a mosaic: as the pieces slowly come together, what emerges is an ever-clearer and more legible body of knowledge regarding the Tower and its history. Each article or essay is the result of long and patient analysis and study – not solely of archival documents but above all of the Tower's materials and of the chemical and physical phenomena that have affected it over the centuries.

The reader of this volume will have the opportunity to learn of many such revelations; I came to be aware of them only slowly, as the work of the Scientific Committee took shape. Though I have worked for many years in the area of cultural heritage, I must admit that I always find it exciting to recognize the ways in which our historical monuments relate their own stories: the stones, the mortar, the systems by which individual elements were fixed in place or entire structures erected by skilled and expert builders. The imprint of history is stamped upon the materials themselves. Historical monuments tell their own stories; they are like open books, written in a language that is sometimes complex and

which, over time, may prove to be incomplete. The fundamental work of scholars, however, decodes that language, and their dedication to study becomes a tool that allows us to interpret the knowledge and information that each monument carries with it. I believe it was for this reason that the May 2008 conference was appropriately entitled La Torre Racconta (The Tower Speaks).

Our lives today move so quickly that we frequently aren't able to stop to look at small and apparently insignificant details – I say "apparently" because, in reality, everything has its significance. Many of Modena's citizens, for example, have likely noticed differences in color and texture of the external stonework of the Ghirlandina Tower and its neighboring monuments. In their hurry, however, they have perhaps never asked themselves what lay behind such differences. Indeed, the reasons may be many: the fact that building materials came from different quarries, the use of spolia, different building periods, interruptions in construction or repair work due to historical events, and so on.

Anyone who has been confused by the negative, contentious articles that so often crop up in the media will understand, reading the

La cittadinanza che talvolta è confusa da articoli polemici e poco costruttivi che appaiono a sproposito sui giornali, avrà modo di capire, anche attraverso i contributi che seguono, come l'intrecciarsi delle diverse discipline applicate allo studio della Ghirlandina abbiano dato luogo a un mosaico ricchissimo di notizie che porterà a comprendere in maniera sempre più completa la storia delle vicende costruttive della torre. Ciò costituirà la base per un corretto approccio metodologico all'intervento di consolidamento oltre che un supporto concreto di conoscenze per meglio rispondere agli interrogativi e ai problemi che porrà la gestione di un sito così importante.

Al convegno di presentazione dei lavori ho avuto modo di congratularmi per i buoni risultati raggiunti dal Comitato scientifico e ho espresso l'auspicio che l'iniziativa potesse in futuro essere estesa agli altri beni compresi nella lista, in particolare alla Cattedrale che, come la Ghirlandina, necessita di un'indagine sistematica, completa, su tutte le strutture, cosa che le soprintendenze hanno in parte eseguito in occasione di vari interventi finanziati negli anni dal Ministero per i beni e le attività culturali, ma purtroppo in modo localizzato, per limitatezza di fondi, rincorrendo sempre le situazioni di emergenza. Il mio auspicio si è concretizzato, è stato infatti istituito il Comitato scientifico per la Cattedrale. A dire il vero avrei preferito che un comitato unico si potesse occupare dell'intero complesso iscritto nella Lista del Patrimonio Mondiale dell'Unesco; così non è stato, ma si è fatto comunque un passo avanti. Colgo quindi l'occasione per auspicare che tra i due comitati siano tenuti i necessari contatti per un opportuno, costruttivo confronto degli studi svolti e dei risultati di ciascuna ricerca.

Spero che questo studio scientifico possa essere uno stimolo anche per individuare forme di finanziamento da impegnare nei lavori straordinari di consolidamento della torre e per assicurare i lavori di periodica manutenzione.

La buona conoscenza dello stato di salute dei beni di interesse culturale, consente anche di programmare adeguatamente gli interventi manutentivi utili a garantire nel tempo la loro conservazione.

Sabina Ferrari

Soprintendente per i beni architettonici e paesaggistici per le province
di Bologna, Modena e Reggio Emilia
Superintendent of Architectural and Landscape Heritage for the Provinces
of Bologna, Modena, and Reggio Emilia

various contributions in this book, that the involvement of the many and varied disciplines in the study of the Ghirlandina Tower has given rise to an extremely rich mosaic of information and discovery. That knowledge, in fact, is leading us to an ever-more thorough understanding of the history of the construction, "embellishment," and restoration of the Tower.

What is more, this body of knowledge forms the foundation for a proper methodological approach for stabilization and restoration efforts as well as a concrete basis for responding to the difficulties and concerns that naturally attend the management of such an important site. At the conference, where reports and studies related to the restoration of the Tower were presented, I had the occasion to congratulate the Scientific Committee for its excellent results and I expressed my hope that the initiative might, in future, be extended to the other monuments in the Unesco list and especially to the Cathedral. Like the Ghirlandina Tower, Modena's Cathedral is in need of a complete and systematic examination of its entire structure. Such an effort, in fact, has been partially undertaken during the various restoration efforts financed over the years by the

Ministry of Cultural Heritage and Activities; because of lack of funding, however, such operations have unfortunately tended to be carried out in a localized way and primarily in response to emergency situations. I was thus gratified by the formation of the Scientific Committee for the cathedral although, in all honesty, I would have preferred to see a single committee oversee Modena's entire Unesco World Heritage complex. That was not to be, but we have taken a significant step forward. I would like, then, to use this occasion to express my hope that the two committees will keep the channels of communication open between them in order to ensure a timely, constructive dialogue regarding the studies they undertake and the results of their respective research. I am hopeful, too, that this volume will provide a stimulus for identifying funding opportunities that can be brought to bear on supplemental stabilization efforts as well as assure that periodic maintenance work can be carried out. When we are fully aware of the true condition of our monuments and other cultural treasures, we can adequately plan the restoration and maintenance efforts needed to guarantee their preservation and conservation over time.



Dal 1997, con la proclamazione del Duomo, della torre civica Ghirlandina e di Piazza Grande “Patrimonio dell’Umanità”, si è intensificato l’impegno di diversi soggetti, pubblici (innanzitutto l’Amministrazione comunale) e privati, per tutelare e qualificare il prestigioso complesso architettonico-monumentale. In questo contesto sono state quindi programmate le attività di costante verifica delle condizioni degli insigni monumenti, e si succedono gli interventi via via necessari per la loro migliore conservazione.

Oggi siamo partecipi, non senza emozione, di un intervento di grande rilievo per l’intera collettività modenese, il grande progetto di restauro scientifico della torre civica Ghirlandina, al centro di una complessa e molteplice serie di attenzioni, di rilevazioni e interventi, per molti aspetti innovativi e altamente specializzati, su cui convergono gli studi e le collaborazioni di tutti gli esperti riuniti al suo “capezzale”, che si prefiggono l’obiettivo di risanare l’illustre “malata” sotto i diversi aspetti che la interessano, sia di carattere statico, che materiale e strutturale.

È un intervento quanto mai vasto e delicato, reso possibile dal concorso della Fondazione Cassa di Risparmio (che ringraziamo ancora una volta), e particolarmente “sentito” dai modenesi, per i quali il Duomo, la Ghirlandina e Piazza Grande sono stati e sono il fulcro della vita civile e religiosa di Modena, divenendo i simboli della città e i luoghi della sua stessa identità sociale e culturale, vere e proprie radici della comunità, che pertanto meritano un impegno speciale di tutela e la massima collaborazione per concretizzarla.

Giorgio Pighi

Sindaco di Modena ~ Mayor of Modena

Since 1997, with the proclamation that inscribed Modena’s Duomo, Ghirlandina Tower, and Piazza Grande on Unesco’s World Heritage list, the commitment of private and public interests (and especially of Modena’s City Council) has intensified. In the context of protecting this distinguished grouping of historical buildings in Modena’s center, as well as of ensuring that they are suitable for viewing by the public, we have planned ongoing inspections of the monuments’ condition along with the maintenance and restoration efforts necessary to ensure their conservation. Today, we are taking part – and not without a certain emotion – in a restoration effort of enormous significance for the entire community of Modena. This vast project of scientific restoration focuses a complex and many-sided operation on the Ghirlandina Tower, including studies and restoration techniques that are, in many ways, both innovative

and highly specialized. In collaboration with one another, experts and scholars have rushed to the Tower’s “bedside,” intent upon healing the glorious “invalid,” whether its various ailments be mechanical, material, or structural.

This vast and delicate restoration effort, made possible through the collaboration of the Fondazione Cassa di Risparmio di Modena (whom we once again thank), has been particularly dear to Modena’s residents. For them, the Duomo, the Ghirlandina Tower, and Piazza Grande were and remain the nucleus of Modena’s civic and spiritual life; they have become symbols of the city, the sites of its social and cultural identity, the literal roots of the community. As such, they deserve a special commitment on our parts to their preservation and protection and the greatest degree of cooperation possible to make that goal a reality.



La torre Ghirlandina rappresenta da sempre per la città di Modena un'architettura che racchiude in sé due significati. È parte, insieme al Duomo, al Palazzo comunale e alla Piazza Grande, di quel complesso di edifici di grande valore storico e artistico che all'insegna dei nomi di Lanfranco e Wiligelmo, testimoniano una delle più significative realtà del Romanico medievale e dell'epoca dei Comuni, riconosciute anche dalla proclamazione di Sito Unesco Patrimonio dell'Umanità; ma è anche divenuta nei secoli il simbolo della città, lo stendardo della comunità civica dei modenesi e come tale si è caricata di valori culturali e di affetti.

Quando perciò il Consiglio comunale diede avvio a un ampio e profondo progetto di studi e di restauro, oramai a molti anni dall'ultimo intervento effettuato, non si poteva pensare di portare avanti uno dei tanti interventi che si svolgono sugli edifici storici. Grazie alla sensibilità manifestata dalla Fondazione Cassa di Risparmio che ha messo a disposizione le risorse necessarie, è stato così approvato un percorso che rendesse partecipe la città a tutte le fasi dell'intervento compresa la possibilità di visita al cantiere, consentendo di ammirare sculture e pareti della torre in tutta la sua altezza, e che avesse il massimo di autorevolezza scientifica sia per sostenere gli interventi urgenti di restauro, sia per cominciare a programmare interventi più strutturali che guardino al futuro.

A questo scopo hanno lavorato e stanno lavorando i tecnici e i responsabili del progetto dell'Amministrazione comunale, affiancati dal grande lavoro del Comitato scientifico che, passo dopo passo, ha prodotto studi e ricerche indispensabili per proseguire i lavori. Del progetto e del lavoro svolto nella prima fase, si dà conto in questa pubblicazione rendendolo disponibile alla città e alla comunità scientifica.

Roberto Guerzoni

Assessore Lavori pubblici e Centro storico
Director, Department of Public Works

For the city of Modena, the significance of the Ghirlandina Tower has always been two-fold. The Tower is part of a group of buildings – together with the Duomo, the Palazzo Comunale, and Piazza Grande – that are of enormous historical and artistic significance and which, with names like Lanfranco and Wiligelmo for company, constitute one of the most important surviving examples of Romanesque architecture and of the age of the medieval communes. As part of the complex recognized by Unesco as a World Heritage site, the Ghirlandina Tower has nonetheless become the symbol of the city over the centuries, the standard borne by Modena's citizens. As such, it is rich in both cultural and sentimental value. Thus, when the Modena City Council approved a wide-ranging project aimed at studying and restoring the Tower (many years after the most recent restoration work had been done), there was no thought of carrying out one of the commonplace restoration projects to which historical buildings are so often subjected. As a result of the

sensibility to these issues of the Fondazione Cassa di Risparmio di Modena, which furnished the necessary financial resources, an approach was approved that was designed to make the city an active participant in all phases of the restoration. The plan included tours of the work site, which permitted visitors to admire the Tower's walls and sculptural elements in all their magnificence, and insured that both urgent restoration work and the planning of future efforts aimed at structural issues would be carried out with the utmost scientific authority. To that end, the experts and other members of the Modena City Council's project team availed themselves (and are continuing to do so) of the significant efforts of the Scientific Committee which, step by step, has produced the research and analyses that are indispensable to carry out work on the Tower. This volume describes both the overall restoration project and the specific interventions undertaken in order to make such information available to the city and to the scientific community.

La tutela

Protection

IL SITO UNESCO THE UNESCO SITE

Manuel Guido



La Ghirlandina fa parte del Sito Unesco “Modena. Cattedrale, Torre Civica e Piazza Grande” istituito nel 1997. Entrare a far parte della Lista del Patrimonio Mondiale per un sito, sia esso un complesso monumentale o un bene di carattere naturalistico, significa vederne riconosciuti quei caratteri di unicità, autenticità e rappresentatività che lo rendono un bene universale, patrimonio quindi dell’intera umanità.

Per la comunità al quale esso è affidato ciò è in genere motivo di orgoglio ma nello stesso tempo è una grande responsabilità perché quei valori in base ai quali il sito è stato riconosciuto devono essere tutelati e mantenuti nel corso del tempo, in una dimensione dinamica che richiede spesso difficili equilibri.

Il sito modenese è un bene di carattere monumentale, iscritto quindi sulla base di criteri culturali: esso “rappresenta un capolavoro del genio creativo dell’uomo”, poiché espressione dell’attività di due personalità d’eccezione, l’architetto Lanfranco e lo scultore Wiligelmo. La loro creazione, con la sua fitta trama di riferimenti all’antichità, si propone come importante modello per tutto il Romanico padano, offrendo l’“esempio eminente di un tipo di costruzione o di complesso architettonico che illustri un periodo significativo della storia umana”. Agli inizi del XII secolo il Duomo di Modena fu in effetti uno dei principali luoghi di formazione di un nuovo linguaggio figurativo, destinato a influenzare gli sviluppi del Romanico nella pianura padana, mentre il suo ricchissimo apparato scultoreo rappresenta un osservatorio privilegiato per capire il contesto culturale che accompagnò la rinascita della scultura monumentale in ambito europeo. L’intero complesso costituito dalla cattedrale e dalla torre, la cui costruzione appare parallela a quella del Duomo e dovuta alle stesse maestranze, con la piazza sulla quale si affacciano, costituisce una “testimonianza unica o quantomeno eccezionale di una civiltà o di una tradizione scomparsa”, trattandosi di un esempio eminente di insediamento urbano legato ai valori della civiltà comunale, con il suo peculiare intreccio di funzioni religiose e civili.

La duplicità di funzioni risulta particolarmente evidente per la Ghirlandina, che è sempre stata torre campanaria e civica insieme. A questa alta torre pendente, da secoli simbolo della città di Modena è dedicato il presente volume, dove sono raccolti importanti studi e indagini condotte con le più sofisticate e aggiornate tecnologie che accompagnano la progettazione dell’intervento di restauro conservativo del paramento lapideo della Ghirlandina, ma riguardano anche gli aspetti statici della torre, interessata da fenomeni di inclinazione e torsione, lenti ma progressivi, con ripercussioni sulla vicina cattedrale.

The Ghirlandina Tower is a part of the Unesco World Heritage Site “Modena. Cathedral, Civic Tower and the Piazza Grande” inscribed in 1997. In order to be included in the list of World Heritage Sites, whether this refers to an architectural or monumental complex or an area of exceptional natural beauty, the site must be recognised as possessing those unique, authentic and emblematic characteristics that make of it part of our universal heritage, and thus, belonging to the whole of mankind.

For the community that has been entrusted with the site’s care, this is generally a cause for great pride, but at the same time, it also represents an important responsibility because those very values for which the heritage site was recognised must be protected and maintained over the course of time, and in a dynamic dimension in which it is often extremely difficult to retain the correct balance. The site in Modena was selected on the basis of its cultural criteria, and is therefore a piece of monumental heritage: because “it represents a masterpiece of human creative genius,” and because it is the expression of the work of two exceptional artists, the architect Lanfranco and the sculptor Wiligelmo. Their joint creation, with its tightly interwoven references to antiquity, represents a supreme example of early Padana Romanesque art, and is a model of an outstanding example of a type of building, architectural or technological ensemble or landscape that illustrates a significant stage in human history. At the beginning of the 12th century, the Modena Cathedral was one of the main centers for the creation of a new figurative language destined to influence the development of Romanesque architecture in the Padana Plain area. At the same time, its remarkably rich sculpted façade presents an exceptional opportunity to permit the

understanding of the cultural context that developed alongside the rebirth of monumental sculpture throughout Europe. The whole complex, composed of the Cathedral and the Tower, whose construction appears to be parallel with that of the Cathedral, is the work of the same craftsmen, together with the Piazza Grande that they overlook. The complex “bears a unique or at least exceptional testimony to a cultural tradition or to a civilization which is living or which has disappeared” as an exceptional example of urban settlement linked with the values of communal civilisation with its complex interweaving of religious and civic functions. This functional duality is especially obvious when considering the Ghirlandina, which has always acted as the Civic Tower and the Cathedral’s bell tower at the same time. This book is dedicated to the tall leaning tower, which has been a symbol of Modena for centuries, and includes detailed research and surveys carried out using the latest and most sophisticated technology which has also been applied for the project planning of the restoration and conservation work on the stone facing of the Ghirlandina. But the book also includes the static conditions of the Tower, affected by the angle and torsion, which, although slow, are progressive, and are creating repercussions on the nearby Cathedral.

Per affrontare in modo adeguato queste problematiche il Comune di Modena, proprietario dell'insigne edificio, ha istituito un comitato composto da esperti di varie discipline che ha svolto un eccellente lavoro, consentendo di avviare l'intervento relativo al rivestimento esterno della torre e alle sculture.

Unitamente ai restauri della cattedrale, attuati in parallelo a cura del Capitolo Metropolitano, cui l'edificio appartiene, e della Soprintendenza ai beni architettonici, l'intervento sulla Ghirlandina costituisce l'elemento cardine e l'assoluta priorità del primo Piano di gestione del Sito Unesco di Modena (2008-2009), uno strumento di programmazione e di controllo di cui tutti i siti sono tenuti a dotarsi che riguarda tutti gli aspetti dei beni inseriti nella Lista del Patrimonio Mondiale, dalla conoscenza alla conservazione e tutela, dalla gestione alla valorizzazione culturale ed economica.

A questo scopo si sono tenuti negli ultimi anni diversi incontri tecnici, seminari e convegni, ai quali il Sito Unesco di Modena ha partecipato attivamente.

Nel 2006 è stata inoltre varata una legge¹ che prevede una serie di misure speciali, tra cui incentivi di carattere economico, per i siti che intendono dotarsi di questo strumento gestionale, già molto diffuso nel mondo anglosassone ma ancora relativamente poco usuale nel nostro paese, o che si impegnano a perfezionarlo. Anche in questo caso Modena ha partecipato attivamente, conseguendo contributi ministeriali che sono stati utilizzati per completare le indagini preliminari al restauro e per costituire una banca dati dei restauri e degli studi relativi sia al Duomo che alla Ghirlandina.

Naturalmente, nello spirito delle raccomandazioni espresse dal Comitato del Patrimonio Mondiale dell'Unesco e delle indicazioni fornite dal Ministero per i beni e le attività culturali ai fini dell'attuazione dei piani di gestione, è vivamente auspicabile che l'attuale fase costituisca l'avvio di un reale coordinamento, a partire dalla fase progettuale, di tutti gli aspetti di tutela e di conservazione relativi ai due monumenti, di proprietà distinta, ma facenti parte dello stesso bene universale.

In order to deal with these problems in an adequate and appropriate manner, the Modena City Council, which officially owns the famous building, set up a Committee composed of experts in various disciplines, which created and executed an excellent mission that has permitted the initial work on the interventions on the external facings of the Tower and its sculptures. Together with the restoration work on the Cathedral, carried out at the same time under the direction of the Capitolo Metropolitano (Cathedral Chapter), which owns the building, and the Soprintendenza ai Beni Architettonici, the intervention on the Ghirlandina is the cornerstone as well as the absolute priority in the initial Management Plan of the Modena Unesco Site (2008-09), a programming and control system which is required of all sites and which concerns all the aspects of the treasures included in the World Heritage List.

This system ranges from expertise on conservation and protection, to the management of cultural and economical improvement and development. With this objective in mind, a number of technical meetings, seminars and conferences have been held in recent years;

the Modena Unesco Site has taken an active part in these. Moreover, in 2006, a law¹ was passed to establish a series of special measures, including economical incentives, for sites that intend to take advantage of this management system, which is already common practice in English-speaking countries, but which is still relatively new in Italy (and for those who wish to undertake a commitment to perfect the system). Modena has taken an active part in this aspect as well, obtaining ministerial contributions which were used to complete the preliminary restoration surveys and to set up a data base for all the restoration work and research concerning both the Cathedral and Ghirlandina. Naturally, in accordance with the recommendations expressed by the Unesco World Heritage Committee and the guidelines provided by the Ministero per i beni e le attività culturali directed at activating the management plans, it is strongly hoped that the current stage will establish a definite coordination, beginning with project planning, of all the conservation and protection aspects that concern these two monuments, which, although they belong to two separate bodies, both form a part of the same universal heritage.

¹Legge 20 febbraio 2006, n. 77 "Misure specifiche di tutela e di fruizione dei siti di interesse culturale, paesaggistico e ambientale, inseriti nella Lista del Patrimonio Mondiale, posti sotto la tutela dell'Unesco".

¹Law N° 77, passed on the 20th of February 2007 "Specific measures for the safeguarding and enhancement of sites of cultural, landscape and environmental interest included in the World Heritage list under the protection of Unesco."



UN PROGETTO PER LA CONSERVAZIONE CONSERVATION PROJECT

Rossella Cadignani

Fig. 1 Vista aerea del centro storico. Aerial view of Modena's historic center.



Fig. 1

Questa è la storia di due anni di lavoro in cui sono stati impegnati tecnici, storici e amministratori in un percorso di studio che ha portato all'elaborazione del progetto di restauro della torre Ghirlandina.

La costruzione della torre inizia presumibilmente nel 1099, assieme alla cattedrale a opera dell'architetto Lanfranco, in una città che allora poteva contare più o meno 12.000 abitanti¹.

Una comunità così piccola si è impegnata nel realizzare un'opera così mirabile, che ancora oggi è uno degli esempi più significativi dell'architettura romanica, tanto da essere stato riconosciuto quale Patrimonio dell'Umanità (fig. 1).

La città di Modena, situata nel centro della pianura padana, è caratterizzata da un centro storico medievale compatto, con edifici ben conservati e ricco di importanti monumenti. Il patrimonio di proprietà comunale di carattere storico-monumentale è ampio e comprende, tra l'altro, sette chiese, due teatri per l'opera e la prosa, la torre civica, il Palazzo dei musei, il Palazzo municipale, il Palazzo Santa Margherita, con la biblioteca e la Galleria Civica, e la Palazzina ducale.

Nel corso degli ultimi vent'anni l'Amministrazione comunale ha posto particolare attenzione e investito numerose risorse per la conservazione e il riuso di questo patrimonio collettivo, perché possa essere tramandato alle future generazioni quale testimonianza originale della storia della comunità locale.

La torre civica, denominata Ghirlandina, è l'eccellenza di questo patrimonio: la Ghirlandina è il simbolo della città, amata dai cittadini e rappresentativa dell'idea collettiva ancor più della bellissima cattedrale. Sorge in Piazza Grande, cuore del centro storico cittadino, accanto alla cattedrale, di cui è anche torre campanaria e a cui è collegata da due sottili archi.

Completata nel 1319, con i suoi 89 m è una delle più alte e antiche torri medievali italiane. È ciò che il turista vede già da lontano, poiché svetta bianca sulla pianura circostante, disegnandone il profilo. Le prime fasi costruttive della torre non sono note, poiché la documentazione archivistica esistente fino al 1200 è andata perduta e il grande lavoro di osservazione pluridisciplinare compiuto in questa occasione è stato indispensabile per cominciare a leggerne la storia sulle sue pietre.

È costruita in laterizio con rivestimento in pietra naturale; è composta da una prima parte a sezione quadrata a cui è sovrapposta una parte a sezione ottagonale ed è coperta da un tronco di piramide. La torre è coronata da una croce su sfera dorata ed è caratterizzata da una significativa pendenza verso sud-ovest. Restaurata più volte nel corso dei secoli è giunta fino a noi segnata sulla superficie dal trascorrere del tempo, bagnata da infiltrazioni d'acqua e con un'inclinazione della struttura che ne ha condizionato la storia fin dall'inizio della costruzione.

This is the story of a venture that has taken two years, involving technicians, historians, and administrative personnel in complex research work that has led to finally setting in motion the restoration project for the Ghirlandina Tower.

It is presumed that the construction of the Tower was begun in 1099 together with the work on the Cathedral, under the direction of the architect Lanfranco, in a town that had a population of about 12,000 at the time. It is amazing that a community that small worked to undertake such an astounding monument, which is still one of the most important examples of Romanesque architecture today, great enough to be recognised as worthy of inclusion in the World Heritage (Fig. 1). The town of Modena, located in the heart of the Padana Plain, is famous for its medieval town center, its compact construction, its well preserved buildings, and its wealth of beautiful monuments. A wide range of historical and monumental heritage buildings belong to the Modena City Council, including seven churches, two theatres for prose and opera, the Civic Tower, the Palazzo dei musei, the Palazzo municipale, the Palazzo Santa Margherita, the public library, the Galleria civica, and the Palazzina ducale.

Over the past twenty years, the Amministrazione comunale has focused particular attention on, and has invested substantial resources in, the preservation of this collective heritage, in order for it to be handed down to future generations as authentic evidence of the origins and history of the local community. The so-called Ghirlandina is the focal point of this monumental heritage: as the symbol of the town, the Ghirlandina is loved by the inhabitants, and it represents

the local community as a whole, even more than does the very beautiful Cathedral. In the very heart of the historical center of Modena, the Ghirlandina rises high in the Piazza Grande, alongside the Cathedral. It acts also as its bell tower, and is connected to the Cathedral by two slender arches. Completed in 1319, and rising 89 meters, the Ghirlandina is one of the oldest and highest medieval towers in Italy. The silhouette of the white stone Tower is the first glimpse of Modena seen by the tourist from a distance, as it dominates the flat surrounding countryside. The first stages of the actual construction of the Tower are not known, because existing documents in local archives up till 1200 have been lost. Thus, the enormous work of multi-disciplinary surveys carried out recently has been absolutely essential in order to be able to read the history of the Tower in its stonework. The Tower is built in brick and faced with natural stone. It is composed of an initial square section, on which is built an octagonal section covered by a truncated pyramid. The Tower is crowned with a cross on a gilded sphere and is famous for its pronounced lean to the south-west. Although the Tower has been restored several times over the centuries, today the stone surface bears the signs of time, water infiltration, and the structural slope that has affected its history since the very beginning of its construction.

¹Stima a cura del Servizio statistica del Comune di Modena

Per vicende storiche la torre è di proprietà comunale, mentre la cattedrale è di proprietà del Capitolo Metropolitano. Questa differente proprietà ha fatto sì che fosse separata anche la storia recente dei loro restauri, nonostante facciano entrambe parte di un unico complesso architettonico. Solo da poco tempo si è presa coscienza dell'importanza di effettuare interventi coordinati per la salvaguardia dei due monumenti che hanno per origine e struttura una sorte comune.

Lo stesso si può dire per i numerosi studi condotti in passato per indagare l'importante cattedrale, mentre solo alcuni sono stati portati avanti sulla torre.

I nuovi studi sulla torre sono iniziati già nel 2002, ma hanno subito un'accelerazione quando a maggio del 2006 un grosso frammento si è staccato da una delle colonne della balaustra posta a 60 metri d'altezza ed è caduto sulla via sottostante, fortunatamente senza causare danni.

L'urgenza del momento è stata tamponata posizionando tettoie a protezione dei passanti ed è stato programmato un intervento più complessivo.

In breve è stato redatto un progetto per la conservazione, composto da una prima parte di tipo diagnostico, i cui risultati sono stati la base del progetto di restauro scientifico.

La Fondazione Cassa di Risparmio di Modena ha sostenuto questo progetto con un finanziamento di 3 milioni di euro ed è stato così possibile installare un ponteggio per l'altezza complessiva della torre e iniziare gli studi in modo sistematico.

A questo primo finanziamento ne è seguito uno della Regione Emilia-Romagna di 200 mila euro e uno più recente del Ministero per i beni culturali per la tutela del patrimonio Unesco di oltre 100 mila euro.

Il progetto di restauro di ogni monumento è un'operazione complessa e richiede l'apporto di competenze complementari tra loro, affinché possano fare sistema delle conoscenze acquisite singolarmente.

In questo caso si tratta anche di monumento simbolo per la cittadinanza e la responsabilità nel condurre e coordinare le attività diventa ancora maggiore.

Per affrontare il lavoro in modo completo, l'Amministrazione comunale ha istituito un Comitato scientifico pluridisciplinare, composto, oltre che dai rappresentanti delle istituzioni, da esperti che in uno stretto intreccio di relazioni collaborano a definire il quadro delle conoscenze e delle sperimentazioni propedeutiche alla progettazione del restauro, le linee d'intervento e le scelte attuative.

For historical reasons, the Tower is the property of the Modena City Council, while the Cathedral belongs to the Capitolo Metropolitano (Cathedral Chapter). This difference in property ownership has led to the fact that any restoration work has also been separate even to the present day, in spite of the fact that both buildings belong to the same architectural complex. Only recently has serious consideration led to the decision that, in order to preserve and safeguard both monuments, it was important to carry out coordinated intervention work, since the buildings have a common status because of their origin and structure. The same can be said for the large number of research surveys conducted in the past to examine the great Cathedral, while far fewer have been carried out to study the Tower. New research and surveys on the Tower had already begun back in 2002, but work was accelerated in May 2006, when a large fragment became detached from one of the balustrade columns 60 meters high, falling down into the street below (fortunately without causing any injury or damage). Because of the urgent nature of this intervention, a temporary solution was found by placing roofing around the area to protect passers-by, while a much more complex intervention was programmed. Within a short time, a conservation project was drawn up, composed of an initial part based on diagnostics whose results form

the basis for the scientific restoration project. La Fondazione Cassa di Risparmio di Modena gave its support with financing for a total of 3,000,000.00 euros, which made it possible to install the scaffolding around the entire height of the Tower, and to begin the survey in a systematic manner. Following the initial financing, the Regione Emilia-Romagna contributed 200,000.00 euros, and more recently the Ministero per i beni culturali for the protection of the Unesco heritage provided more than 100,000.00 euros. The restoration project of each monument is a complex operation which requires the collaboration of complementary expertise in order to coordinate the information that has been acquired individually. In this case, one of the most important aspects is that the Tower acts as the symbol of the town for the people of Modena, and therefore, the responsibility for conducting and coordinating the various activities is even greater. In order to deal with the operation in a more coordinated manner, the Amministrazione comunale set up a multi-disciplinary Scientific Committee composed not only of official representatives, but also of experts who have been working in close collaboration to define the outline of the preliminary background and experiments necessary to plan the restoration project, the intervention guide-lines, and finally, to advise on the choices for the restoration operations.

Fig. 2. Il monitoraggio eseguito con tecnica alpinistica nel 2006. Monitoring work performed using mountaineering techniques in 2006.



Fig. 2



Fig. 3

Fig. 3 Studenti della facoltà di Conservazione dei beni culturali in cantiere.
Students from the Cultural Heritage Faculty on the work site.

Il Comitato ha consentito di preparare questo progetto diagnostico e ne è stato la guida per attuarlo e per comprenderne pienamente i risultati. La torre è divenuta così oggetto di una ricerca scientifica che ha unito assieme i diversi aspetti, quello storico e artistico, quello architettonico e materiale e quello dei sistemi costruttivi e strutturali. Sulla base dei risultati di queste ricerche, è stato progettato il restauro ed è in corso il primo stralcio dei lavori, secondo un'articolazione che segue l'erogazione dei finanziamenti. Sono stati così recuperati tanti dati mancanti con un lavoro organico e completo. L'interesse delle attività condotte è pertanto duplice, conoscere la storia e le caratteristiche della torre per restaurarla correttamente e per fare conoscere ai cittadini una storia ancora poco nota.

I primi interventi sono stati attuati mediante il monitoraggio visivo diretto, eseguito con tecnica alpinistica. La torre è un monumento pressoché isolato, di grande altezza, difficile da tenere sotto controllo, e per questo motivo nel 2002 è stato eseguito un monitoraggio visivo, per verificarne lo stato di conservazione, ripetuto poi nel 2006. Il confronto delle due campagne ha evidenziato un aumento significativo dei punti di degrado del materiale lapideo. Sono stati rimossi numerosi frammenti di piccole dimensioni ed è stata condotta una campagna fotografica per evidenziare le criticità (a cura della ditta Equilibrium di Franco Borghi, con il contributo del professor Stefano Lugli) (fig. 2).

I problemi derivanti dai movimenti della torre sono noti e per tenerli sotto controllo è stata stipulata una convenzione tra Comune, Soprintendenza per i beni architettonici, Capitolo Metropolitano e Fondazione Cassa di Risparmio di Modena. Nell'ottobre del 2003 è entrato in funzione il sistema di monitoraggio strumentale del Duomo e della Ghirlandina, che consente di seguirne nel tempo il comportamento statico. Il sistema automatico di controllo misura i cedimenti, controlla l'andamento delle lesioni, la rotazione della torre, misura la temperatura, la velocità e la direzione del vento. In questi cinque anni la lettura dei dati ha evidenziato fenomeni modesti, ma attivi, di movimento delle due strutture, tra loro collegate (a cura della ditta Agisco, con il dottor Alessandro Annovi). Le attività già intraprese e le nuove azioni sono state quindi organizzate all'interno di un progetto diagnostico unitario che in parte coinvolge anche la cattedrale e che in futuro sarà sicuramente da estendere a tutto il sito Unesco.

Il progetto ha riguardato lo studio dei materiali, la loro consistenza e alterazione, accompagnato dallo studio delle strutture e del terreno, oltre che dall'indagine storica e archeologica, attività svolte in parallelo tra loro.

The committee agreed to draw up the diagnostic project in question and acted as a guide to set it up and identify the results as accurately as possible. In this way, the Tower became the object of a scientific research project which combined a variety of different aspects, historical and artistic, architectural and material, as well as including all the construction and structural systems required. Based on the results of these research projects, the restoration work has now been planned and the first stage of the work has been started, in accordance with the financing schedules.

This organic and very well-coordinated teamwork has led to the recovery of an enormous amount of missing information. The activities that are being carried out have two objectives: to gain insight into the history and the characteristics of the Tower in order to restore it correctly, and to inform the people of Modena of aspects of their history which are little known. The first interventions were performed through direct visual observation, using mountaineering techniques. The Tower is practically an isolated monument, extremely high, and very difficult to keep under observation. For this reason, in 2002, it was subjected to a visual control to monitor the state of conservation; this operation that was repeated in 2006. The comparison between the two operations demonstrated considerable deterioration in the stonework. Numerous small-sized fragments were removed and photographic work was carried out to demonstrate the criticality

of the conditions. (Research by the company Equilibrium : Franco Borghi, with the contribution of Prof. Stefano Lugli) (fig. 2). The problems resulting from the movement of the Tower are well-known, and in order to keep them under control, a collaboration was drawn up between the Comune, Soprintendenza per i Beni Architettonici, Capitolo Metropolitano and Fondazione Cassa di Risparmio di Modena. The instrumental monitoring of the Cathedral and the Ghirlandina was set up in October 2003, and it constantly controls the static behaviour of the Tower. The automatic control system keeps track of any subsiding; monitors the development of any cracks and fissures; measures Tower rotation, as well as the temperature, speed, and the direction of the wind. Over the past 5 years, data readings have shown movements in both of the connected buildings, movements that are slight, but that are present nevertheless (conducted by the company Agisco, with Dr. Alessandro Annovi) The operations that were already underway and all new initiatives have been organized within a single diagnostic project, which also partially involves the work on the Cathedral, and that will no doubt be extended to cover the whole Unesco Site in the future. This project involves studying all the materials, their consistency and any alteration, alongside structure and foundation soil survey work, and in-depth historical and archaeological research. These operations have all been performed simultaneously.

Per primo è stato eseguito il rilievo metrico e fotogrammetrico che ha consentito di verificare le misure, il fuori piombo, disegnare le sezioni interne, ed è la base che ha permesso di mappare tutti gli elementi indagati. Il rilievo, attraverso una convenzione stipulata con l'Università di Parma – dipartimento di Ingegneria civile, dell'ambiente, del territorio e dell'architettura, è stato curato dal professor Paolo Giandebiaggi e dal dottor Andrea Zerbi.

In parallelo al rilevamento è stata raccolta e organizzata in modo sistematico tutta la documentazione delle fonti già pubblicate, per conoscere il dibattito storiografico che ha interessato la torre. Il lavoro è stato affidato dal Museo Civico alla dottoressa Cristina Dieghi, coadiuvata dal professor Pierpaolo Bonaccini.

Lo studio sugli aspetti archeologici e sulle modalità tecniche costruttive è stato condotto dal dottor Donato Labate della Soprintendenza archeologica di Bologna. Le ricerche sono ancora in corso, ma già dalle osservazioni effettuate si possono trarre indicazioni utili a ricostruire il quadro storico della prima fase costruttiva, non documentabile diversamente per la perdita dei documenti relativi alla costruzione.

Un'importante attività, mai effettuata prima, è la mappatura del paramento lapideo e la successiva catalogazione del degrado secondo le indicazioni Normal.

La ricerca, attraverso la convenzione con l'Università di Modena e Reggio Emilia – dipartimento di Scienze della terra, e curata da Stefano Lugli, è stata condotta inizialmente sulla documentazione fotografica, in forma di prototipo su di un piano campione, poi è stata estesa all'intero monumento e puntualmente verificata dopo l'installazione del ponteggio.

Sono stati identificati i diversi materiali lapidei impiegati, contribuendo a datare le fasi costruttive e le modalità di riuso del materiale impiegato nella costruzione. Sono stati analizzati al microscopio elettronico, con sezioni sottili, numerosi campioni di pietra e malta che forniscono ulteriori interessanti dati conoscitivi, in particolare sulla natura dei materiali, le cave di possibile provenienza, le patologie presenti. Sono stati inoltre individuati i principali fossili presenti sulle superfici delle diverse pietre. Quest'ultimo aspetto è stato curato dal professor Cesare Papazzoni (fig. 3).

Assieme alle indagini sui materiali si sono avviate anche quelle volte a valutare la stabilità della torre.

First, metric and photogrammetric surveys were carried out to control the accuracy of all the measurements and any vertical disalignment, to draw plans of the internal sections. This is the basis on which the team has mapped out all the surveyed elements.

This survey was carried out by Prof. Paolo Giandebiaggi and Dr. Andrea Zerbi, thanks to a collaboration drawn up with the Department of Civil Engineering, Environment, Territory and Architecture of the University of Parma. At the same time as the survey, all the documents from previous sources were systematically collected and organized to obtain a clearer picture of the historiographic aspects that relate to the Tower. This work was assigned by the Museo Civico to Dr. Cristina Dieghi, who was assisted by Prof. Pierpaolo Bonaccini. Research into the archaeological aspects and the technical and constructive methods was conducted by Dr. Donato Labate of the Archaeological Superintendence of Bologna. This work is still underway, but thanks to the aspects which have already been identified, a great deal of information has been obtained to enable the team to reconstruct the historical outline of the initial construction stage, which is impossible to discover in any other manner, since all the documents concerning the construction have been lost.

One important operation which has never been performed previously is the mapping of the stone facing, together with the classification of the deterioration according to Normal criteria. Thanks to a convention with the Earth Sciences Department of the Modena and Reggio Emilia University, this work, conducted by Prof. Stefano Lugli, was initially performed on photographic material, in the form of a prototype on a sample level, and was then extended to cover the whole monument, and controlled directly after the erection of the scaffolding. It was possible to identify the different varieties of stone which have been used, which provides information on the dates of the different construction stages and the methods employed for re-using material used in construction. A large number of very finely sliced samples of stone and mortar were analyzed under an electronic microscope, providing further interesting information, especially in relation to the nature of the materials, possible quarries of origin, and any pathologies present in the stone. It was also possible to identify the main fossils present on the surface of the different types of stone. This work was performed by Prof. Cesare Papazzoni (fig. 3). At the same time as the surveys on the materials, work began on assessing the stability of the Tower.

È stata condotta l'indagine statica preliminare in convenzione con l'Università di Parma – dipartimento di Ingegneria civile, dell'ambiente, del territorio e dell'architettura, curata dai professori Carlo Blasi ed Eva Coisson. L'analisi dei dati strumentali forniti dal monitoraggio, delle serie storiche sull'inclinazione a partire dall'800, dei dati sulla portata dei terreni e sui risultati dei rilievi, ha consentito di comprendere la natura dell'instabilità e avanzare previsioni di sviluppo dei fenomeni in atto. Le valutazioni sono state compiute sulla base dei dati già disponibili, per avere un quadro generale della situazione e poi aggiornate sulla base delle nuove indagini. Nel settembre 2007 sono stati infatti eseguiti dieci sondaggi geotecnici nell'area attorno alla torre, davanti alle absidi della cattedrale e lungo l'antica Via Emilia, che corre parallela al monumento, ma che in epoca romana si trovava al di sotto di esso. Questi sondaggi hanno consentito di verificare la stratificazione archeologica, la forma e misura delle fondazioni di torre e cattedrale ed effettuare la caratterizzazione geotecnica dei terreni, attraverso lo studio di campioni indisturbati, prelevati nei sondaggi. I sondaggi sono stati eseguiti dalla ditta Prove Penetrometriche, sotto la supervisione del professor Renato Lancellotta e del dottor Labate (fig. 4). Nel mese di novembre 2008 sono stati eseguiti tre sondaggi a carotaggio continuo, di cui uno spinto fino alla profondità di 80 m¹ con misure della velocità di propagazione della onde di taglio (prove Cross-Hole), a cura delle ditte Sogetec e Solgeo. Sono stati realizzati al centro di Piazza Grande, per completare la caratterizzazione geotecnica dei terreni. Sui campioni prelevati sono state eseguite osservazioni di tipo geologico e geotecnico, alcune ancora in corso, da parte del Politecnico di Torino e della facoltà di Geologia di Modena. Da tempo si pensava alla possibilità di approfondire i rilievi metrici eseguiti con laser scanner per dettagliare ulteriormente il rilievo, poterlo meglio comparare con la cattedrale, individuare i particolari; poi nel novembre del 2008, grazie a una convenzione con il dipartimento di Ingegneria meccanica e civile dell'ateneo modenese, curato dal professor Alessandro Capra, è stato eseguito il rilievo laser scanner ad alta risoluzione e le termografie sui lati esterni della torre. Tra i mesi di dicembre 2007 e gennaio 2008 è stato installato il ponteggio per l'altezza complessiva della torre e finalmente, con grande emozione, è stato possibile vedere da vicino le pietre e constatarne con mano lo stato di conservazione. Il ponteggio ha reso raggiungibile ogni punto della superficie ed è stato così possibile portare a termine gli studi diagnostici.

¹ Durante le indagini preliminari condotte da Stefano Lugli insieme agli studenti del corso di laurea in Scienze geologiche e del corso di laurea in Scienze dei beni culturali è stata effettuata una scoperta eccezionale: alla profondità di 3,3 m la carota ha restituito i resti di una mandibola e di due lunghi denti. L'analisi effettuata dal dottor Cesare Papazzoni e dalla professoressa Aurora Pederzoli ha permesso di identificare i resti come appartenenti a un castoreo. Secondo la documentazione storica e i dati paleobiologici, il castoreo era ampiamente diffuso in Italia, le ultime segnalazioni in pianura padana sono riferite al delta del Po e risalgono al 1600.

A preliminary static survey was carried out by the Professors Carlo Blasi and Eva Coisson, thanks to a Convention drawn up with the Department of Civil Engineering, Environment, Territory and Architecture of the University of Parma. The analysis of the instrumental data supplied by the monitors, the historical series (of calculations) of the lean of the Tower dating from the 19th century, the data concerning the land load capacity, and the survey results provided information both to understand the nature of the lack of stability as well as to calculate predictions. Assessments were made according to data already available in order to obtain a general outline of the situation, and were later updated following the results from the new surveys. Ten geotechnical probe drillings were performed in the area around the Tower in September 2007, in front of the apse of the Cathedral, and along the Roman Via Emilia which runs parallel to the monument, and which ran under this area in Roman times. These probe drillings made it possible to examine the archaeological stratification, the form and measurements of the foundations of the Tower and the Cathedral, and to analyze the geotechnical nature of the land by studying samples that had never been disturbed previously, which were corotated during drilling. Drilling work was performed by the company Prove Penetrometriche,

¹ During the preliminary surveys made by Prof. Stefano Lugli together with university students from Geological Science and Cultural Heritage faculties, an exceptional discovery was made: at a depth of 3.3 meters the carrot returned with the remains of a jaw and two long teeth. The analyses carried out by Dr. Cesare Papazzoni and Prof. Aurora Pederzoli identified the remains as belonging to a beaver. According to historical documents and paleobiological data, the beaver was common throughout Italy, and the last reports of their traces in the Padana Plain date back to 1600.

under the supervision of Prof. Lancellotta and Dr. Labate (Fig. 4). Three continuous corotting drillings were performed in November 2008, one of which to a depth of 80 meters. Drilling was performed in the Piazza Grande, to complete the geotechnical identification of the surrounding land. The samples were subjected to geological and geotechnical observation, some of which are still ongoing, in the Turin Polytechnic University and the Geology Faculty in Modena. For some time, the possibility was considered to carry out even deeper metric surveying using a laser scanner to obtain greater details, to be able to make more accurate comparisons with the Cathedral, and to obtain sample details; then in November 2008, thanks to a Convention with the Modena University Department of Mechanical and Civil Engineering conducted by Prof. Alessandro Capra, high resolution and thermographic laser scanner surveys were performed on the external sides of the Tower. Between December 2007 and January 2008, the Tower was surrounded to its total height with scaffolding, and finally it was possible to experience the strong excitement of seeing the stone close up, and to touch it in order to monitor the state of conservation. This scaffolding made it possible to have access to every part of the surface, and so the diagnostic survey work was able to be completed.

Per completare il quadro conoscitivo sullo stato del materiale lapideo di rivestimento è stata subito eseguita una numerosa serie di analisi chimiche che è stata commissionata alla ditta R&C lab di Altavilla Vicentina che in quel momento stava effettuando le analisi anche sulla cattedrale, allo scopo di potere poi confrontare tra loro agevolmente i dati raccolti. All'inizio dell'estate è stato attuato il progetto pilota diagnostico. Una volta conosciuti nel dettaglio materiali e tipologie di degrado, sono state eseguite numerose prove sperimentali in cantiere su aree rappresentative, e in laboratorio su campioni, finalizzate allo studio delle metodologie di intervento per il restauro conservativo dei paramenti lapidei esterni. Sono stati testati i prodotti per la pulitura, il consolidamento e la protezione delle superfici, la rimozione delle resine utilizzate nei restauri degli anni Settanta e verificate le modalità di smontaggio delle balconate, le cui parti non sono più tra loro solidali. Il progetto è stato realizzato da Arcadia Ricerche, con la dottoressa Elisabetta Longega secondo le indicazioni del professor Guido Biscontin. I risultati sono stati sottoposti dalla Soprintendenza al vaglio dell'Istituto superiore per la conservazione e il restauro con esito positivo (fig. 5). Alcune attività di ricerca sono tuttora in corso, in particolare si stanno completando le indagini per la valutazione statica della torre. Saranno infatti eseguite prove non distruttive (nuove prove soniche, ultrasoniche, martinetti piatti, Impact-Eco e GeoRadar) per la caratterizzazione meccanica della muratura interna ed esterna e per la valutazione delle caratteristiche del paramento esterno in pietra. I dati ricavati saranno utilizzati per la verifica sismica, affidata al professor Angelo Di Tommaso.

Un nuovo lavoro di analisi storica, artistica e litologica dell'apparato scultoreo è stato intrapreso attraverso la redazione della tesi di laurea di Simona Pedrazzi. Questo studio ha consentito tra l'altro di individuare le diverse fasi di sostituzione delle protome che ornano gli archetti pensili delle cornici. In stretto rapporto con il Museo Civico di Modena sono iniziati approfondimenti sull'argomento, alcuni studiosi si sono resi disponibili a esaminare l'intero apparato decorativo. L'esistenza del ponteggio consente infatti di poter fare avvicinare alle sculture gli studiosi affinché possano vedere da vicino dettagli decorativi, patine e segni delle lavorazioni non sempre visibili dai documenti fotografici. Infine un grande lavoro di catalogazione in archivio informatico delle documentazioni renderà disponibili al pubblico tutti i materiali utilizzati.

In order to complete the fact-finding enquiry on the actual state of the stone facing, a large number of chemical analyses were performed immediately by the company R&C lab from Altavilla Vicentina which was also carrying out analyses on the Cathedral at the same time. The work was coordinated in order to be able to compare the data results obtained from both sites. The diagnostics pilot plan was set up at the beginning of the summer. Once detailed information had been gathered on the materials and the type of deterioration, a large number of experimental tests were run on sample areas on the work site and on small samples in the laboratory, aimed at defining the study methods for intervention during the restoration and conservation work on the external stone work. Tests were run to discover the best cleaning products, best strengthening and protection methods for the stone surfaces, and how best to remove the resin used during restoration work in the seventies; the balconies were examined to establish which parts needed to be disassembled in areas where they were no longer attached. The project was set up by Arcadia Ricerche, together with Dr. Elisabetta Longega, under the guidance of Prof. Guido Biscontin. All research was submitted to the approval of the Superintendence of the Istituto Superiore per la Conservazione e il Restauro with positive results (fig. 5). Other research and study activities

Fig. 4 I carotaggi eseguiti nella piazza: una fase del controllo archeologico. Carrot drilling in the Piazza.

are still being carried out, in particular those that concern the surveying to establish the static analysis of the Tower. Non-destructive tests (new sonic, ultra-sonic, impact hammering, Impact-Eco and GeoRadar) were applied to detect the mechanical status of the internal and external walls, and to assess the characteristics of the external stone facing. The data which has been collected will be used for earthquake analysis, conducted by Prof. Angelo Di Tommaso. New work involving historical, artistic and lithological analysis of the sculptured facing has been written up in a graduate thesis by Simona Pedrazzi. This research has also led to identifying the stages of the various replacements of certain protomes which decorate the suspended arches on the cornices. Close collaboration has been set up with the Museo Civico di Modena to study these aspects, and a number of scholars have offered to examine the whole decorative facing. The scaffolding structure has enabled scholars to approach the Tower sculptures and study the decorative detailing, the patina, and the signs of stone masonry work not always visible from photographic sources. And finally, an enormous amount of information on all the materials employed will be classified and catalogued in computer data bases, which will be made available for use by the general public.



Fig. 4

Questa è un'attività iniziata fin dal 2007 e che dovrà essere continuamente portata avanti per tutta la durata dei lavori e ricevere aggiornamenti anche per registrare gli interventi di manutenzione che verranno successivamente attuati.

Il materiale documentario e le osservazioni effettuate vengono infatti sistematicamente raccolte e classificate in un programma informatico che gira sul web, denominato SICaR. Oltre a una immissione dati eseguita direttamente dagli uffici comunali per raccogliere il materiale documentario esistente, sia in serie storica che di recente realizzazione, le ditte che operano nel restauro registrano le lavorazioni di cantiere dando la possibilità di monitorare l'andamento dei restauri, registrare immagini, tecniche e modalità d'intervento. Questo strumento consente inoltre la realizzazione di cartografia tematica, l'interrogazione del sistema per singoli elementi, fornendo dati dimensionali e tecnici. L'archivio sarà presto esteso a tutto il sito Unesco, aggiungendo i dati relativi alla cattedrale e alla piazza.

Il lavoro svolto dal Comitato scientifico è stato condotto in modo efficace e in tempi brevi, grazie alla competenza delle persone che vi hanno partecipato. Vanno sottolineate anche le qualità di partecipazione attiva, di condivisione dei risultati, di senso di appartenenza e responsabilità che tutti i componenti hanno dimostrato. A loro va la nostra gratitudine.

Il lavoro di professionalità tra loro differenti ha dimostrato come sia possibile cogliere aspetti diversi di uno stesso problema e metterli a sistema, giungendo a conclusioni di studio che una singola disciplina avrebbe potuto interpretare in modo parziale, migliorando così il risultato complessivo.

Sulla base dei risultati di queste ricerche, è stato progettato il restauro ed è in corso il primo stralcio dei lavori, secondo una articolazione che segue l'erogazione dei finanziamenti.

Nelle pagine seguenti vengono descritte compiutamente le ricerche svolte e i risultati ottenuti.

Assieme al Comitato scientifico l'Amministrazione comunale ha nominato altri due gruppi di lavoro: un Comitato eventi che si occupa della promozione culturale di ciò che riguarda la Ghirlandina e il suo restauro e un Comitato tecnico con funzioni operative, composto da tecnici del Servizio Edilizia Storica del Settore Lavori Pubblici, che si occupa del coordinamento di tutte le attività del Comitato scientifico, della redazione dei progetti, della direzione dei lavori.

These activities were set up in 2007 and will be continued for the total duration of the restoration work and will also include updates to record all maintenance interventions that will be carried out in the future. All documented and observation materials will be systematically collected and classified in a computer program which will be launched online under the name of SICaR. In addition to data entry performed directly by the city council offices to collect existing documentary material, whether historical or created recently, the companies who will be responsible for the restoration work will record all work site interventions, to provide the possibility of monitoring restoration progress, and recording intervention images, techniques and methods. This system also provides the possibility of creating thematic maps, dialoguing with the system to research single elements, and providing dimensional and technical data. The Archive system will soon be extended to cover the whole Unesco Site, with the addition of the data concerning the Cathedral and the Piazza. The work by the Scientific Committee was performed very efficiently and in a very short time thanks to the expertise of the team that participated in this work. We wish to especially emphasise the quality of the active participation, generous data sharing, collaborative team-work and sense of

Fig. 5 La restauratrice durante le campionature.
Restorer taking samples.

responsibility demonstrated by all those involved. Our deepest thanks to all concerned. The highly professional expertise in fields that are so very different has demonstrated that it is possible to observe and understand different aspects of the same problem and enter them into a framework to reach conclusions that a single discipline could have interpreted only partially, thus improving the global results of the combined efforts. Thanks to the results obtained through this research and survey work, the restoration project has now been planned, and the first stage of the work is underway, in accordance with the assignments of the financing schedules. The following pages describe in detail the research and survey work and the results that were obtained. Together with the Scientific Committee, the Modena City Council has nominated other two work groups: an Events Committee which will be in charge of any cultural promotion relative to the Ghirlandina and the restoration work, and a Technical Committee with operational functions, composed of technicians from the Servizio Edilizia Storica del Settore Lavori Pubblici (Public Works Historical Buildings department), which will monitor the coordination of all the Scientific Committee activities, project drafting, and construction work management.



Fig. 5

La conoscenza

Background

NOTE SUL CANTIERE
DEL DUOMO E DELLA
GHIRLANDINA:
Lanfranco, Wiligelmo,
i Campionesi e il Comune
medievale a Modena

NOTES ON THE CONSTRUCTION
OF THE CATHEDRAL AND
THE GHIRLANDINA TOWER:
Lanfranco, Wiligelmo, the campionesi
masters and the medieval
Commune in Modena

Francesca Piccinini

Fig. 1 Scorcio di Piazza Grande con la Ghirlandina, le absidi
del Duomo e il Palazzo comunale; sull'angolo meridionale
di quest'ultimo è visibile la *Bonissima*.

View of Piazza Grande with the Ghirlandina, the Cathedral's
apses and the Municipal Hall; on the southern corner
of the Municipal Hall, we can see the *Bonissima*.



Il complesso monumentale costituito dalla Cattedrale e dalla Torre civica, detta Ghirlandina si affaccia sull'area della Piazza Grande ed è collocato lungo l'asse dell'antica Via Emilia, al centro del tracciato medievale della città. L'esistenza della piazza è documentata a partire dalla prima metà del Duecento, ma l'ubicazione delle porte del Duomo consente di farne risalire l'origine almeno alla seconda metà del secolo XII.

Lo spazio della piazza è delimitato dal Palazzo comunale, di origine medievale ma ricostruito a partire dal Cinquecento, dal Palazzo arcivescovile e dal fianco meridionale della cattedrale, con l'imponente Porta Regia, databile intorno al 1180; unico inserto moderno è l'edificio bancario costruito negli anni '70 del Novecento dopo l'abbattimento dell'ottocentesco Palazzo di Giustizia, sorto a sua volta sull'area dell'antica sede della magistratura comunale dei "Giudici delle Vettovaglie", incaricata di sovrintendere ai diversi settori dell'economia cittadina. Alcune presenze emblematiche sottolineano la funzione di fulcro della vita civile, oltre che religiosa, svolta per tutto il periodo dell'autogoverno comunale (dal XII al XVI secolo) da questo complesso di edifici: la *Bonissima* (fig. 1), una raffinata statua del XII secolo oggi collocata sullo spigolo meridionale del Palazzo comunale, nata forse come simbolo dell'Ufficio della Bona Estima, addetto al controllo degli scambi commerciali; la *Pedra ringadora*, grande masso rettangolare in calcare ammonitico veronese collocato tra la residenza municipale e le absidi del Duomo e utilizzato fin dal Medioevo dagli oratori per arringare le folle; la singolare immagine della *Potta*, per tutto il Rinascimento popolare simbolo di fertilità che dall'alto dei tetti della cattedrale domina la piazza sottostante; il *San Geminiano di piazza*, grande simulacro duecentesco in rame sbalzato collocato sull'edicola della Porta Regia a sottolineare attraverso il braccio levato in segno di benedizione lo stretto rapporto tra il patrono e la città con tutti i suoi abitanti. Vissuto nel IV secolo e contemporaneo di sant'Ambrogio, il vescovo Geminiano è considerato il vero fondatore della Chiesa modenese. Le sue spoglie furono oggetto di venerazione fin dal 397, anno in cui ne è tradizionalmente fissata la morte, tanto che sulla sua tomba – collocata in area cimiteriale subito fuori dalle porte della cinta muraria romana – sorse ben presto una basilica che aggregò intorno a sé il nucleo abitativo medievale, spostando il centro cittadino a sud-ovest rispetto all'abitato romano. Tale basilica, più volte ricostruita e modificata nel corso dei secoli, sorgeva sul luogo dell'attuale cattedrale romanica, nella cui cripta si conservano le spoglie del patrono. L'attuale complesso monumentale costituito dalla cattedrale e dalla torre, omogeneo per materiali e criteri costruttivi, fu edificato per volere della comunità modenese tra il 1099, data di fondazione del Duomo ricordata da una lapide collocata sulla facciata, e il 1319, anno in cui si conclusero i lavori della Ghirlandina.

The monumental complex of the Cathedral and the Civic Tower, called the Ghirlandina, is on the Piazza Grande area along the route of the historic Via Emilia, at the center of the city's medieval plan. The square is documented since the first part of the 13th century. However, the location of the Cathedral's doors dates the origin at least as far back as the latter half of the 12th century.

The square's space is bound by the Municipal Hall, which is of medieval origins (though rebuilt starting in the 16th century), by the archbishop's palace and by the southern side of the Cathedral, with the majestic Porta Regia door, which can be dated to around 1180.

The only modern addition is the bank building, built in the 1970s after the 19th-century Courthouse was demolished. The Courthouse had stood on the former site of the communal court of the *Giudici delle Vettovaglie* [Judges of Provisions], in charge of overseeing areas of the city's economy. The central role that this complex of buildings played in civic as well as religious life throughout the entire period of communal self-government (12th - 16th centuries) is underscored by some emblematic pieces on the site. These include the *Bonissima*, a fine 12th - century statue now on the southern edge of the Palazzo Comunale, which may have been made as a symbol of the *Ufficio della Bona Estima*, in charge of overseeing commercial trade; the *Pedra Ringadora*, a large rectangular mass made of Veronese ammonite limestone between the Municipal Hall and the Cathedral's apses. The mass was used by orators to address crowds since the Middle Ages; the singular image of the *Potta*, a popular symbol of fertility throughout the Renaissance,

dominating the square below from the height of the Cathedral's roofs; the *San Geminiano di piazza*, a large 13th-century simulacrum made of embossed copper located on the niche of Porta Regia. His arm raised in a sign of blessing underscores the close relationship between the patron saint, St. Geminianus, and Modena and its people.

The bishop Geminianus, who lived in the 4th century, a contemporary of St. Ambrose, is considered the true founder of the Modenese church. His remains were an object of veneration starting in 397, the year in which his death is traditionally established. On his tomb (located in a cemetery area right outside of the gates of the Roman city walls) a basilica was quickly built, around which a medieval residences clustered, shifting the city center to the southwest of the Roman town. This basilica was rebuilt and modified several times over the centuries. It stood on the site of the current Romanesque Cathedral in whose crypt the patron saint's remains are kept. The current monument complex of the Cathedral and the Tower, made with the same materials and construction techniques, was built at the behest of the Modenese community between 1099, the Cathedral's foundation date marked on a stone on its façade, and 1319, when construction on the Ghirlandina was completed.

Il Duomo è una basilica orientata liturgicamente, a tre navate chiuse da absidi semicirculari e provvista di cripta. Il suo impianto generale, privo di transetto e con lo spazio interno ripartito da grandi colonne, sembra ispirato alle basiliche ravennati; i prospetti esterni sono unificati da una scansione di grandi arcate percorse da una loggetta pensile su colonnine e rivelano uno straordinario equilibrio compositivo. Tutto l'edificio appare costruito con una non comune attenzione progettuale e costruttiva: lo dimostrano l'utilizzo del modulo geometrico di Vitruvio nella determinazione degli spazi e alcune brillanti soluzioni architettoniche, come il raccordo tra le absidiole e l'abside maggiore, ma anche diversi particolari costruttivi, legati alla perizia delle maestranze di cantiere, quali il taglio e la lavorazione accurati delle pietre utilizzate per il rivestimento esterno o i sapienti effetti decorativi del laterizio all'interno. Sulla facciata della cattedrale, l'eleganza della scansione architettonica cede tuttavia il passo al prepotente manifestarsi della scultura che articola e movimenta gli elementi architettonici e arricchisce i portali, culminando nei celeberrimi rilievi con *Storie della Genesi*. In tutte le immagini scolpite risulta evidente, accanto al richiamo agli esempi dell'antichità classica, un'inedita forza espressiva legata alle nuove funzioni che l'immagine fu chiamata a svolgere in questo periodo e finalizzata a una comunicazione immediata. La Ghirlandina, così chiamata per via della balaustra che corona la sommità della lanterna, è una torre di circa novanta metri, a sei piani sormontati da un tamburo ottagonale e da un'alta cuspidale. La costruzione, in mattoni interamente rivestiti di materiali lapidei, si sviluppa in armonia con il progetto del Duomo. Secondo una tipologia ricorrente nelle torri romaniche, alla massa compatta del basamento corrispondono, nei piani superiori, aperture che danno luce al vano interno, monofore al terzo piano, bifore e trifore negli ultimi due piani della parte quadrata. La torre ha svolto fin dalle origini, non soltanto la funzione di torre campanaria del Duomo ma anche di torre civica: dalla sua sommità infatti i custodi, detti "torresani", scandivano con il suono delle campane i tempi della vita cittadina, come l'apertura e la chiusura delle porte urbane, e davano l'allarme in caso di pericolo. Tutta la vicenda storica della costruzione della cattedrale modenese può essere riassunta nelle tre date riportate dalle epigrafi collocate rispettivamente sulla facciata, sull'abside maggiore e sul fianco sud: la prima fissa al 6 giugno 1099 la posa della prima pietra e ricorda con ammirazione la figura dello scultore Wiligelmo (*Inter sculptores, quanto sis dignus onore, claret scultura nunc Wiligelme tua*); la seconda ricorda la traslazione delle reliquie del santo patrono Geminiano

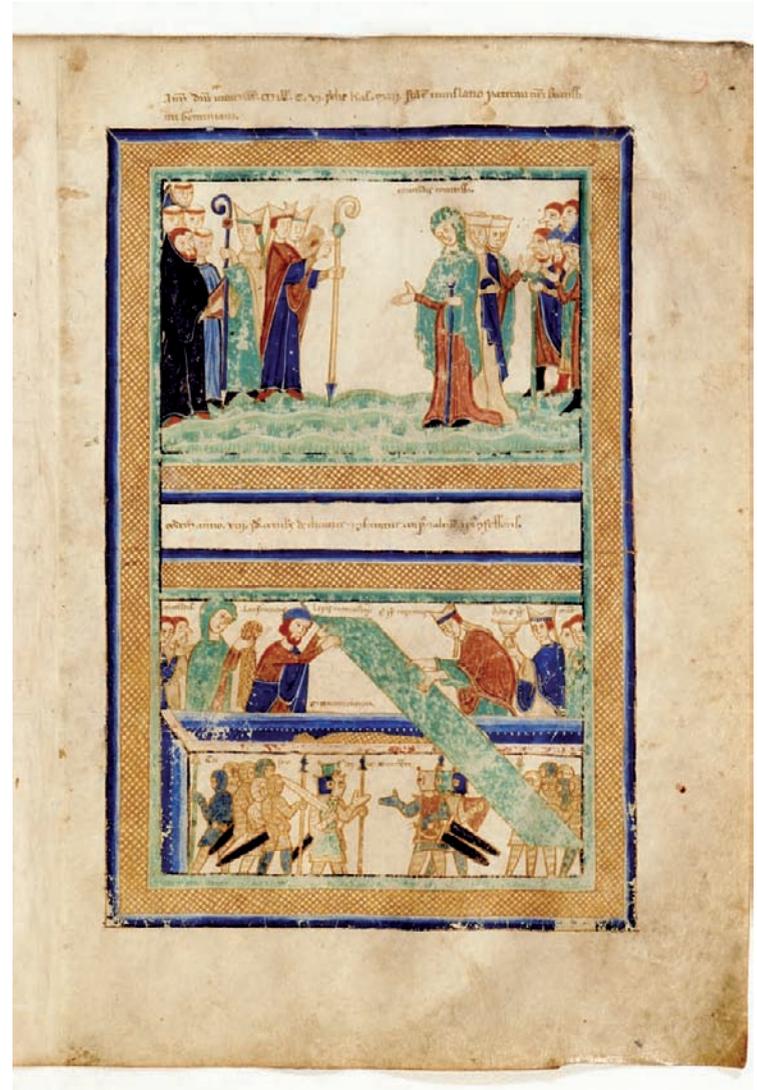
The Cathedral is a liturgically-oriented basilica with three naves closed by semicircular apses and it has a crypt. Its general layout seems to have been inspired by basilicas in Ravenna, with no transept and an interior space divided by large columns. The outside façades are unified by a succession of large arcades along which a small suspended loggia is supported on small columns. They exhibit extraordinary compositional balance. The entire building seems to have been built with uncommon attention to design and construction. We can see this in the use of Vitruvius's geometric module in determining spaces and some inspired architectural solutions, such as the connection between the secondary apses and the main apse. It is also clear in different construction details evincing the high level of the skilled workers, such as the precise cutting and working of the stones used for the outside cladding and the intelligent brick decorative effects in the interior. On the Cathedral's façade, the elegance of the architectural organization lets itself be outdone by the majestic appearance of the sculptures that organize and animate the architectural elements, embellishing the entry doors, culminating in the famed reliefs of the *Stories of Genesis*. In all the sculptured images there is evident expressive power, alongside references to classic antiquity. This expression was connected to the new role that

images were asked to play at the time, seeking immediate communicative power. The Ghirlandina means little garland in Italian. It was called this for the balustrade that rings the top of the lantern. The Tower is approximately 90 meters high, with six floors topped by an octagonal tambour and a high cusp. The construction, which is brick clad entirely with stone materials, developed in harmony with the Cathedral's design. Following a recurrent building type for Romanesque towers, the compact mass of the base on the upper floors becomes openings that bring light into the interior space. They are single-lancet windows on the third floor and double-lancet and triple-lancet on the last floors of the square section. Since its origins, the Tower has served both as the Cathedral's bell tower and as a civic tower. From its peak, the custodians, called *torresani*, rang the bells to mark the events of the city's life, such as the opening and closing of the city gates, and sounded an alarm in the case of danger. The entire history of the Modenese Cathedral's construction can be summed up in three dates shown on the inscriptions on the façade, the main apse and the south side. Respectively: the first date inscribed is 6 June 1099, the laying of the first stone, venerating the sculptor Wiligelmo (*Inter sculptores, quanto sis dignus onore, claret scultura nunc Wiligelme tua*); the second inscription commemorates



Fig. 2, 3 Miniature della *Relatio de innovatione ecclesiae Sancti Geminiani...* (Modena, Archivio Capitolare, ms O.II.11, c): nelle prime due è raffigurato l'architetto Lanfranco che dirige il cantiere, nelle altre la traslazione delle reliquie di san Geminiano dalla vecchia alla nuova cattedrale (1106) alla presenza di Matilde di Canossa, del clero e dei cittadini modenesi (Foto Gianni Roncaglia).

dalla vecchia alla nuova cattedrale, avvenuta il 30 maggio 1106, e celebra l'architetto Lanfranco, "famoso per ingegno, preparato e competente (*doctus*) direttore dei lavori", il cui ruolo di protagonista è evidenziato anche dalle miniature della *Relatio de innovatione ecclesiae Sancti Geminiani*, eccezionale testimonianza documentaria in cui sono narrate le vicende della costruzione, che si conserva presso l'Archivio Capitolare del Duomo; la terza celebra, in data 12 luglio 1184, la solenne consacrazione della cattedrale modenese da parte del papa Lucio III.



Miniatures from the *Relatio de innovatione ecclesiae sancti geminiani ...* (Modena, Archivio Capitolare, ms O.II.11, c). In the first two, the architect Lanfranco is depicted directing construction. The others show the transfer of St. Geminianus's relics from the old to the new Cathedral (1106) attended by Matilde di Canossa, the clergy and Modenese citizens (Photo: Gianni Roncaglia).

the transfer of the relics of the patron saint Geminianus from the old cathedral to the new cathedral on 30 May 1106, lauding the architect Lanfranco "famed for his ingenuity, well-educated and competent (*doctus*) director of construction". The importance of his role is also underscored in the miniatures

in the *Relatio de innovatione ecclesiae Sancti Geminiani*. This exceptional document, preserved in the *Archivio Capitolare del Duomo* (Capitular Archive of the Cathedral) recounts the events of the construction. The third inscription celebrates 12 July 1184, when Pope Lucius III solemnly consecrated the Modena Cathedral.

Intorno alle prime due date ruota dunque la presenza sul cantiere modenese, con rapporti reciproci difficili da definire, di Lanfranco e Wiligelmo, due delle grandi menti creatrici del Medioevo. Nulla sappiamo della loro formazione, se non che furono entrambi affascinati dalla cultura dell'antichità romana. Il recupero dell'antico – che nel cantiere della cattedrale modenese risulta particolarmente evidente anche per l'utilizzo pressoché esclusivo di materiali di scavo appartenenti alla *Mutina* romana – faceva comunque parte di una dimensione culturale più vasta, che coinvolgeva i ceti cittadini emergenti, la nobiltà e il clero. La fondazione della cattedrale avviene infatti in un periodo di vacanza della sede vescovile e nel pieno della lotta per le investiture, certo con l'appoggio della feudataria Matilde di Canossa, la quale tuttavia non sembra avere rivestito un ruolo da protagonista, assunto piuttosto dalle diverse forze sociali radunate nel nascente Comune cittadino.

Lo attestano chiaramente le miniature della *Relatio*, dove *cives* e *milites* si radunano per proteggere le spoglie di san Geminiano. Le emergenze archeologiche dimostrano che la cattedrale precedente era un edificio imponente a cinque navate ed era stata costruita poco più di un secolo prima: la decisione di erigere una nuova cattedrale assunta dai cittadini modenesi allo scadere dell'XI secolo dimostra quindi che ci si trova in presenza di una cesura epocale, un taglio netto con il passato, sia dal punto di vista storico e sociale, sia dal punto di vista artistico. Quel momento segna, di fatto, la nascita del Comune cittadino e l'affermazione dello stile romanico nella sua forma piena e compiuta, con il forte rapporto con l'antichità che lo caratterizza e con le nuove esigenze narrative legate a una rinnovata volontà comunicativa. La terza data, quella cioè della solenne consacrazione del Duomo, fa invece già parte di una fase diversa, che vede ormai all'opera i maestri Campionesi, *magistri lapidum* provenienti dall'alto Comasco e titolari di botteghe familiari attive nel cantiere modenese con continuità per diverse generazioni, avvalendosi forse anche di maestranze specializzate esterne. I Campionesi portarono a compimento l'opera iniziata da Lanfranco e Wiligelmo realizzando tra l'altro importanti modifiche nella struttura originaria dell'edificio, volte ad adeguarlo alle nuove esigenze liturgiche e a una differente sensibilità, per molti aspetti già gotica.

The first two dates revolve around the involvement of Lanfranco and Wiligelmo in the construction. These were two great creative minds of the Middle Ages, whose relationship to each other is difficult to determine. We know nothing of their training, other than they were both fascinated by the culture of ancient Rome. The return to antiquity (in the Modena cathedral, this is particularly evident in the use of almost only excavation materials from the Roman *Mutina*, Modena) was part of a wider cultural trend that affected the rising public classes, the nobility and the clergy. The Cathedral was founded in a period of vacancy of the episcopal see and in the heat of the battle over investitures. It certainly had the support of the feudatory Matilde di Canossa, though she does not appear to have played a leading role, which was taken instead by the various social forces gathered in the nascent Commune. The miniatures of the *Relatio* clearly show this with *cives* and *milites* meeting to protect St. Geminianus. Archaeological findings show that the previous cathedral was a majestic five-nave edifice and had been built a little more than a century earlier. Modena's citizens' decision at the end

of the 11th century to build a new cathedral shows that there was a major shift in eras underway, a clean break with the past, historically and socially as well as artistically. This moment in history was the birth of the city Commune and the affirmation of Romanesque style in its fullest flowering with the strong relationship with antiquity that defined it and the new narrative demands of a new impetus to communicate. The third date, that of the Cathedral's solemn consecration, was part of a different period, which saw the Master Campionesi, *magistri lapidum*, working on the site. They came from upper Como and owned family workshops active in construction in Modena, uninterruptedly for several generations, possibly using outside specialized workers. The Campionesi Masters completed the work started by Lanfranco and Wiligelmo, including making significant modifications to the edifice's original structure in order to adapt it to new liturgical demands and a different sensibility that was more gothic in many respects. They were also behind the gallery sculptures, the raising of the crypt and the creation of the false transept, the opening of the Porta Regia and the large rose window on the

A loro si devono le sculture del pontile, la sopraelevazione della cripta e la creazione del falso transetto, l'apertura della Porta Regia e il grande rosone della facciata. I Campionesi completarono inoltre la costruzione della torre Ghirlandina, interrotta probabilmente subito dopo il completamento del primo piano per concentrare tutti gli sforzi sul Duomo, nel quale dovevano essere trasferite le spoglie del patrono per consentire l'abbattimento della cattedrale preesistente, la cui presenza ostacolava il procedere del cantiere, o forse perché già in quella primissima fase il terreno sul quale la torre era costruita aveva cominciato a cedere in modo preoccupante.

Chiarire questo aspetto e fare luce sui tempi e le modalità di costruzione della torre è compito della nuova fase di studi inaugurata dall'istituzione del Comitato scientifico per il restauro della Ghirlandina. I risultati degli studi finora condotti, uniti all'analisi ravvicinata del monumento, resa possibile dall'installazione dei ponteggi per il restauro del paramento lapideo esterno e delle sculture, inducono a ipotizzare che nei primi cinque piani della torre, costruiti entro la fine del XIII secolo utilizzando materiale di reimpiego, siano stati attivi in tempi diversi tre cantieri.

Al più antico sarebbero da riferire le sculture del primo piano, che appaiono in relazione con la fase in cui nel cantiere del Duomo, ormai abbandonato da Wiligelmo, fu attivo il cosiddetto Maestro delle Metope (quarto e quinto decennio del XII secolo) e rivelano significative tangenze con l'arte di Nicholas; a una fase leggermente più avanzata sembra invece appartenere la realizzazione del secondo piano, le cui sculture meno raffinate sembrano suggerire l'assenza di maestranze specializzate all'interno del cantiere; ai maestri Campionesi (seconda metà XII-prima metà XIII sec.) si può invece riferire la realizzazione del terzo, quarto e quinto piano, le cui sculture mostrano significative affinità con il pontile del Duomo, con i portali di Saint Trophime (Arles) e di Saint Gilles in Provenza e con una serie di capitelli provenienti dalla pieve di Carpiteti nel Reggiano, rivelando tuttavia anche la discendenza dai modi di Nicholas e significativi contatti con l'arte di Benedetto Antelami. L'analisi dell'apparato scultoreo della Ghirlandina è tuttavia attualmente ancora in corso e promette interessanti novità che saranno pubblicate nel secondo volume dedicato allo studio della torre.

façade. The Campionesi Masters also completed the construction of the Ghirlandina Tower.

It had likely been interrupted immediately after the first floor was completed to focus efforts on the Cathedral, where the remains of the patron saint were to be moved to allow the previous cathedral to be demolished. Its presence might have obstructed the continuation of construction. Or it may have been that in the very early phase the ground on which the Tower had been built had already started to give way alarmingly. Clarifying this point and shining light on the timeframes and methods for building the Tower is the purpose of a new phase of studies opened with the forming of the Scientific Committee for the restoration of the Ghirlandina.

The results of the studies conducted thus far, along with the close analysis of the monument, have made it possible to install scaffolding for restoring the outside stone face and the sculptures. The studies lead to the theory that in the first five floors of the Tower, built around the end of the 13th century using reused materials, there were three different construction sites opened at different times. The oldest would be for the

sculptures on the first floor that appear in relationship to the phase in which the Cathedral's construction, that Wiligelmo had abandoned, saw the activity of the Master of Metope (1140-1150), showing significant correlations with Nicholas's art. The work on the second floor seems to be part a slightly later stage.

Its less refined sculptures seem to suggest the lack of specialized workers in the construction.

The Campionesi Masters (second half of the 12th century, first half of the 13th century) can be connected to the third, fourth and fifth floors.

These sculptures show significant similarities with those of the Cathedral's gallery, the entry doors of Saint Trophime (Arles) and Saint Gilles in Provence, as well as a series of capitals from the parish church of Carpiteti in the province of Reggio Emilia. These appear at any rate to be descended from Nicholas's methods and have had significant contact with the art of Benedetto Antelami.

The analysis of the Ghirlandina Tower's sculptural decorations is still underway and promises interesting new revelations, which will be the subject of the second volume about the study of the Tower.

FONTI E STUDI SOURCES AND STUDIES
PER LA STORIA FOR THE HISTORY
DELLA GHIRLANDINA* OF THE GHIRLANDINA*

Cristina Dieghi

Scultura angolare della prima cornice
raffigurante sirena con doppia coda.

Corner sculpture from first cornice
depicting double-tailed siren.



1. Origini e funzioni

Le interpretazioni riguardanti l'origine del nome della torre che svetta sui tetti della città di Modena sono diverse: una propone che il termine Ghirlandina derivi dalle due ringhiere che la cingono, come due ghirlande, nella parte superiore ottagonale, mentre un'altra sostiene che gli ebrei, emigrati qui dalla Spagna a partire dalla fine del XV secolo, l'avessero soprannominata Giraldina, da cui poi Ghirlandina, notando la somiglianza, in proporzioni ridotte, con la grande Giralda di Siviglia¹. La Ghirlandina, costruita sul fianco settentrionale del Duomo con la funzione di torre campanaria, ha sempre avuto con la cattedrale uno strettissimo rapporto evidenziato dal fatto che, per parecchi secoli, l'accesso alla torre era consentito solamente attraverso il Duomo stesso². Le tesi che volevano conferire al campanile una diversa finalità originaria, ovvero di torre a uso militare costruita in epoca romana o longobarda e utilizzata solo successivamente come torre campanaria, non trovano fondamento nella documentazione esaminata³.

¹Il testo completo della relazione è conservato agli atti presso il Museo Civico d'Arte di Modena. Si veda Dieghi, Cristina (a cura di), *La torre "Ghirlandina". Ricerca storico-documentaria sulla costruzione e i restauri*, con la consulenza di Pierpaolo Bonacini e Francesca Piccinini, Comune di Modena - Settore Lavori Pubblici - Servizio Edilizia Storica, Comitato scientifico per i restauri della "Ghirlandina", 18 giugno 2007.

²Valdrighi, Francesco, *La Torre Maggiore di Modena. Lettere due*, Tipografia Sociale, Modena 1876, pp. 13-34; Id., *Dizionario storico-etimologico delle contrade e spazi pubblici di Modena*, Rossi, Modena 1880^o, pp. 244-249, in part. p. 245.

³Dondi, Antonio, *Notizie storiche ed artistiche del Duomo di Modena*, Tipografia Dell'Immacolata Concezione, Modena 1896, p. 249. Il passaggio venne chiuso il 18 luglio 1768, cfr. Vercellono, Giuseppe, *S. Geminiano, il Duomo e la Ghirlandina*, Tipografia S. Giuseppe degli Artigianelli, Torino 1906, p. 48.

⁴Baracchi, Orianna, *La Torre di Modena detta Ghirlandina. Nuove ricerche d'Archivio*, in "Atti e Memorie della Deputazione di Storia Patria per le Antiche Provincie Modenesi", 2001, s. XI, XXIII, pp. 19-43, in part. pp. 19-23. La studiosa riferisce che il Cancelliere della comunità Gian Maria Barbieri, a metà '500, mettendo ordine in antichi documenti della città avrebbe ritrovato un *Libro della Cronica*, ovvero un manoscritto che raccontava di come la torre fosse sorta in epoca romana come edificio militare difensivo e non come campanile. Di questa cronaca sono presenti tre copie, che riportano lo stesso identico testo senza variazioni alcuna, presso la Biblioteca Estense Universitaria: il ms. Lat. 742 (α. H. 5. 15), il ms. Ital. 179 (α. F. 6. 22) e il ms. Ital. 302 (α. H. 6. 16). Si tratta della *Cronaca di S. Cesario* ovvero della *Cronaca del mondo trovata*

nel Castello di S. Cesario e messa per iscritto nell'anno 1523 per mano del giovane Battista Fogliano, cittadino di Modena. Il testo riporta inoltre che nel 1058 si decise di costruire la cattedrale, che fu congiunta alla torre; nel 1086 si trovò il maestro Lanfranco de Facci o Romengardo; nel 1166 infine si concluse la Fabbrica del Duomo e in seguito, dal 1261, la torre venne costruita dal quadro in su e venne compiuta nel 1319.

Riguardo all'origine longobarda della Ghirlandina, questa ipotesi poteva essere sostenuta, secondo alcuni studiosi, dall'iscrizione di un'antica lapide vista dal vescovo Benedetto Manzoli e dal Cancelliere Gian Maria Barbieri nel XVI secolo nella stanza del torreggiano al quinto piano della torre. La lapide avrebbe riportato le parole *Opus construxit in tempore Domini Desiderii Regis per Indictionem duodecimam*, facendo riferimento all'anno 759, terzo del regno del re longobardo Desiderio. A riguardo si veda Vedriani, Lodovico, *Raccolta de' pittori, scultori et architetti modonesi più celebri*, Soliani, Modena 1662, pp. 10-11; Rossi, Pellegrino, *Vita di San Geminiano vescovo e protettore di Modena scritta dal Dottor Pellegrino Rossi modenese all'altissima serenissima di Rinaldo I duca di Modena, Reggio, Mirandola ecc.*, Francesco Torri, Modena 1736, pp. 82-83; Sandonini, Tommaso, *Scavi eseguiti ai piedi della Torre Maggiore*, in "Atti e Memorie della Deputazione di Storia Patria per le Antiche Provincie Modenesi", 1900, s. V, I, p. XLVI; Patetta, Federico, *Note sopra alcune iscrizioni medievali della regione modenese e sopra i Carmina Mutinensia*, Soliani, Modena 1905, pp. 14-15 e nota 1 p. 15; Ognibene, Giovanni, *Il Duomo e la Torre di Modena nella storia dell'arte, 1106-1906*, Società tipografica, Modena 1906, pp. 12-14; Spaccini, Giovan Battista, *Cronaca di Modena. Anni 1588-1602*, a cura di Albano Biondi, Rolando Bussi e Carlo Giovannini, Panini, Modena 1993, p. 603.

1. Origins and functions

There are different interpretations of the origin of the name of the Ghirlandina Tower that rises over the rooftops of Modena. One suggests that the name Ghirlandina comes from the two balustrades that ring it on the upper, octagonal part like two garlands (*ghirlanda* in Italian). Another theory has it that Jews who had emigrated here from Spain starting in the late 15th century had nicknamed it *Giraldina*, and then *Ghirlandina*, noting its similarity, though in smaller proportions, to the large Giralda in Seville¹. The Ghirlandina, built on the Cathedral's northern side, serving as a bell tower, has always been very closely related to the Cathedral, highlighted by the fact that, for many centuries, the Tower could be accessed only from the Cathedral². The theory that the bell tower had different original purposes, as a military tower built in the Roman or Longobard era, and was used only afterwards as a bell tower, are not supported by the documents studied³.

¹The complete text of this report is kept among the documents of the Museo Civico d'Arte in Modena. The text also reports that in 1058 the decision was made to build the Cathedral that was joined to the Tower; in 1086, the Master Lanfranco de Facci o Romengardo was chosen; in 1166, construction on the Cathedral was completed and then, starting in 1261, the Tower was built from the square floor up and was completed in 1319.

²Valdrighi, Francesco, *La Torre Maggiore di Modena. Lettere due*, Tipografia Sociale, Modena 1876, pp. 13-34; Id., *Dizionario storico-etimologico delle contrade e spazi pubblici di Modena*, Rossi, Modena 1880^o, pp. 244-249, in particular p. 245.

³Dondi, Antonio, *Notizie storiche ed artistiche del Duomo di Modena*, Tipografia Dell'Immacolata Concezione, Modena 1896, p. 249. The passage was closed on 18 July 1768, see: Vercellono, Giuseppe, *S. Geminiano, il Duomo e la Ghirlandina*, Tipografia S. Giuseppe degli Artigianelli, Turin 1906, p. 48.

⁴Baracchi, Orianna, *La Torre di Modena detta Ghirlandina. Nuove ricerche d'Archivio*, in "Atti e Memorie della Deputazione di Storia Patria per le Antiche Provincie Modenesi", 2001, s. XI, XXIII, pp. 19-43, in particular pp. 19-23. The author writes that in the mid-16th century, Cancellor of the Commune, Gian Maria Barbieri, putting historical city documents in order, found a *Libro della Cronica*, a manuscript that recounted how the Tower was built in the Roman era as a military tower rather than a bell tower. There are three copies of this report that present the exact same text without any variations at the *Biblioteca Universitaria Estense*: the Lat. ms. 742 (α. H. 5. 15), the Ital. ms. 179 (α. F. 6. 22) and the Ital. ms. 302 (α. H. 6. 16). This is *Cronaca di S. Cesario* or the *Cronaca del mondo trovata nel Castello di S. Cesario e messa*

per iscritto nell'anno 1523 per mano del giovane Battista Fogliano, cittadino di Modena. The text also reports that in 1058 the decision was made to build the Cathedral that was joined to the Tower; in 1086, the Master Lanfranco de Facci o Romengardo was chosen; in 1166, construction on the Cathedral was completed and then, starting in 1261, the Tower was built from the square floor up and was completed in 1319. As for the Ghirlandina's Longobard origin, according to some scholars, this theory could be supported by the inscription of an old plaque seen by the bishop Benedetto Manzoli and by the Chancellor Gian Maria Barbieri in the 16th century in the *torresani* quarters on the Tower's fifth floor. The plaque was said to bear the words *Opus construxit in tempore Domini Desiderii Regis per Indictionem duodecimam*, referring to the year 759, the third reign of the Longobard King Desiderius. On this, see: Vedriani, Lodovico, *Raccolta de' pittori, scultori et architetti modonesi più celebri*, Soliani, Modena 1662, pp. 10-11; Rossi, Pellegrino, *Vita di San Geminiano vescovo e protettore di Modena scritta dal Dottor Pellegrino Rossi modenese all'altissima serenissima di Rinaldo I duca di Modena, Reggio, Mirandola ecc.*, Francesco Torri, Modena 1736, pp. 82-83; Sandonini, Tommaso, *Scavi eseguiti ai piedi della Torre Maggiore*, in "Atti e Memorie della Deputazione di Storia Patria per le Antiche Provincie Modenesi", 1900, s. V, I, p. XLVI; Patetta, Federico, *Note sopra alcune iscrizioni medievali della regione modenese e sopra i Carmina Mutinensia*, Soliani, Modena 1905, pp. 14-15 and note 1 p. 15; Ognibene, Giovanni, *Il Duomo e la Torre di Modena nella storia dell'arte, 1106-1906*, Società tipografica, Modena 1906, pp. 12-14; Spaccini, Giovan Battista, *Cronaca di Modena. Anni 1588-1602*, edited by Albano Biondi, Rolando Bussi and Carlo Giovannini, Panini, Modena 1993, p. 603.

In passato si è inoltre sostenuto che la torre fosse stata costruita sui ruderi di un edificio preesistente⁴; certo è che la struttura ha svolto funzioni di carattere difensivo solo in casi sporadici⁵.

Tra Medioevo ed Età Moderna la Ghirlandina ha avuto, oltre al ruolo strettamente religioso, un'ulteriore funzione civile: gli *Statuta Civitatis Mutine* compilati nel 1327 attestano che le più importanti carte pubbliche si conservavano in una stanza della *turris Communis*, dove per l'appunto aveva sede l'archivio del Comune⁶. Tale sede venne mantenuta per molto tempo, perlomeno fino al 1578, come riferisce un fascicolo di documenti intitolato "Archivio della Torre" contenuto negli *Ex-Actis* dell'anno 1578 presso l'Archivio Storico Comunale di Modena⁷.

Già nel 1306 è documentata, al quinto piano della torre, l'abitazione dei "torresani", custodi e campanari, che vegliavano sulla città dando i segnali per l'apertura e la chiusura delle porte, suonando le campane per scandire le ore e allertando la città in caso di pericolo. Dall'esame degli Atti della Municipalità i torresani risultano abitare stabilmente sulla torre fino alla seconda metà dell'Ottocento⁸.

La presenza dell'Archivio comunale all'interno della Ghirlandina prova il ruolo determinante che il Comune aveva nei confronti dell'edificio già a partire dal XIV secolo. La proprietà comunale della torre è chiaramente attestata due secoli più tardi da svariati carteggi, conservati presso l'Archivio Storico Comunale, che documentano le continue recriminazioni tra Comune e Canonici riguardo alla proprietà dell'edificio. Dalla *Vacchetta* del 1542 risulta che il vescovo, sprovvisto dei fondi per affrontare le spese di riparazione della torre, fosse stato costretto ad ammettere che l'edificio era di proprietà comunale.

In the past, it has also been maintained that the Tower was built on the ruins of a pre-existing building⁴. It is certain that the Tower only served defensive functions sporadically⁵.

Between the Middle Ages and the Modern Age, the Ghirlandina had a civic purpose, beyond its narrowly religious role.

The *Statuta Civitatis Mutine*, compiled in 1327, attests that the most important public papers were kept in a room of the *turris Communis* where the *Archivio del Comune* was located⁶. This location was maintained for a long time, at least until 1578, as seen in a folder of documents called *Archivio della Torre* in the *Ex-Actis* in 1578 at the *Archivio Storico Comunale* of Modena⁷.

In 1306, there is already documentation of the residence of *torresani* (custodians and bell-ringers) on the tower's fifth floor. They kept watch over the city, signaling the

opening and closing of gates, ringing the bells to mark the hours and alerting the city of danger. The *Atti della Municipalità* show that the *torresani* continued to live in the Tower until the latter half of the 19th century⁸.

The presence of the Communal archive inside the Ghirlandina bespeaks the decisive role that the Commune government had in relationship to the Tower since the 14th century. The Communal ownership of the Tower is clearly attested two centuries later by a number of documents kept at the *Archivio Storico Comunale*, which document the ongoing arguments between the Commune and the Canons about the Tower's ownership. The *Vacchetta* from 1542 shows that the bishop, lacking funds to repair the Tower, was forced to admit that the building belonged to the Commune.

⁴Silingardi, Gasparo, *Catalogus omnium episcoporum mutinensium quorum nomina magna adibita diligentia reperiri potuerunt*, Officina episcopali apud Ioannem Mariam de Verdis, Modena 1606, pp. 73-74; Tiraboschi, Girolamo, *Memorie storiche modenesi col codice diplomatico*, Società tipografica, Modena 1793, I, p. 136; ASCMo, Schede manoscritte n. 338-412 realizzate per la stesura dell'opera mai pubblicata Maestri, Vincenzo, *L'architettura del Duomo di Modena e della Torre Ghirlandina, aggiuntivi in appendice il Tesoro del Duomo*, ms. XX sec. con inserti a stampa, Modena 1905-1907; Torlaj, Ubaldo, *La Ghirlandina. Appunti Storici*, Tipografia del Giornale "La Provincia di Modena", Modena 1906, pp. 5-7; Martinuzzi, Mario, *Piccola guida del Duomo di Modena*, Orlandini, Modena 1920, pp. 38-39; Panini, Francesco, *Cronica della Città di Modena*, a cura di Rolando Bussi e Roberto Montagnani, Panini, Modena 1978, p. 25 e pp. 42-43; Pezzini, Graziana, *Osservazioni sulla torre di Lanfranco a Modena*, in *Lanfranco e Wiligelmo: il Duomo di Modena*, Panini, Modena 1984, p. 844.

⁵Nel 1224 la fazione prevalente in città si impadronì con le armi della torre e la Chiesa non riuscì a impedire questo atto; nel 1306, cacciato da Modena Azzo d'Este, due soldati vennero designati a vegliare sempre la torre come luogo strategico; nel 1742, la torre servì agli Austro-sardi come luogo di vedetta per bombardare la cittadella nel corso delle operazioni della guerra di successione austriaca. Cfr. Tassoni, Alessandro, Bazzano, Giovanni e Morano, Bonifazio,

Cronache modenesi, a cura di Luigi Vischi, Tommaso Sandonini e Odoardo Raselli, Soliani, Modena 1888, pp. 32-33; Dondi, *Notizie storiche ed artistiche del Duomo cit.*, pp. 248-249; Valdrighi, *La Torre Maggiore di Modena cit.*, p. 19; Id., *Dizionario storico-etimologico delle contrade cit.*, pp. 246 e 248.

⁶ASCMo, *Statuta Civitatis Mutine*, 1327-28; Campori, Cesare, *Del governo a comune in Modena secondo gli Statuti ed altri documenti sincroni*, in *Statuta Civitatis Mutine*, Fiaccadori, Parma 1864, pp. 36-37; Bonacini, Pierpaolo, *Il Registrum Communis Mutinae, 1299: politica e amministrazione corrente del Comune di Modena alla fine del XIII secolo*, Archivio Storico, Modena 2002, pp. 15-24, in partic. p. 21.

⁷ASCMo, *Archivio della Torre*, in *Ex-Actis 1578*.

⁸Baracchi, Orianna, *Rinnovamenti e restauri architettonici nel Duomo, nelle sagrestie e nella torre*, in Baracchi, Orianna e Giovannini, Carlo, *Il Duomo e la Torre di Modena. Nuovi documenti e ricerche*, Aedes Muratoriana, Modena 1988, pp. 143-206, in partic. pp. 160-162. La presenza dei torresani e della loro abitazione stabile sulla torre è attestata da tutte le *Vacchette* e dagli *Ex-Actis* (in ASCMo) in tutto il periodo tra il XV e la metà del XIX secolo.

⁹ACMo, *Statuti 1538-1539, 1542*, cc. 4v., 5r.; ASCMo: *Vacchetta 1542*, 24 aprile; *Vacchetta 1547*, 19 settembre e 17 ottobre. De' Bianchi detto De' Lancillotti, Tommasino, *Cronaca modenese (1547-1548)*, IX, in *Monumenti di Storia*

⁴Silingardi, Gasparo, *Catalogus omnium episcoporum mutinensium quorum nomina magna adibita diligentia reperiri potuerunt*, Officina episcopali apud Ioannem Mariam de Verdis, Modena 1606, pp. 73-74; Tiraboschi, Girolamo, *Memorie storiche modenesi col codice diplomatico*, Società tipografica, Modena 1793, I, p. 136; ASCMo, manoscritte n. 338-412 made for the preparation of the never published work: Maestri, Vincenzo, *L'architettura del Duomo di Modena e della Torre Ghirlandina, aggiuntivi in appendice il Tesoro del Duomo*, ms. XX sec. with printed inserts, Modena 1905-1907; Torlaj, Ubaldo, *La Ghirlandina. Appunti Storici*, Tipografia del Giornale "La Provincia di Modena", Modena 1906, pp. 5-7; Martinuzzi, Mario, *Piccola guida del Duomo di Modena*, Orlandini, Modena 1920, pp. 38-39; Panini, Francesco, *Cronica della Città di Modena*, edited by Rolando Bussi and Roberto Montagnani, Panini, Modena 1978, p. 25 and pp. 42-43; Pezzini, Graziana, *Osservazioni sulla torre di Lanfranco a Modena*, in *Lanfranco e Wiligelmo: il Duomo di Modena*, Panini, Modena 1984, p. 844.

⁵In 1224, the city's dominant faction took over the Tower with armed force. The Church could not prevent the take-over; in 1306, banished from Modena Azzo d'Este, two soldiers were assigned to always guard the Tower as a strategic place; in 1742, the Austrian-Sardinians used the Tower as a viewpoint to bomb the citadel during the war of Austrian succession. See: Tassoni, Alessandro, Bazzano, Giovanni and Morano, Bonifazio, *Cronache modenesi*, edited by Luigi Vischi, Tommaso Sandonini and Odoardo Raselli, Soliani, Modena

1888, pp. 32-33; Dondi, *Notizie storiche ed artistiche del Duomo* quot., pp. 248-249; Valdrighi, *La Torre Maggiore di Modena* quot., p. 19; Id., *Dizionario storico-etimologico delle contrade* quot., pp. 246 and 248.

⁶ASCMo, *Statuta Civitatis Mutine*, 1327-28; Campori, Cesare, *Del governo a comune in Modena secondo gli Statuti ed altri documenti sincroni*, in *Statuta Civitatis Mutine*, Fiaccadori, Parma 1864, pp. 36-37; Bonacini, Pierpaolo, *Il Registrum Communis Mutinae, 1299: politica e amministrazione corrente del Comune di Modena alla fine del XIII secolo*, Archivio Storico, Modena 2002, pp. 15-24, in particular p. 21.

⁷ASCMo, *Archivio della Torre*, in *Ex-Actis 1578*.

⁸Baracchi, Orianna, *Rinnovamenti e restauri architettonici nel Duomo, nelle sagrestie e nella torre*, in Baracchi, Orianna e Giovannini, Carlo, *Il Duomo e la Torre di Modena. Nuovi documenti e ricerche*, Aedes Muratoriana, Modena 1988, pp. 143-206, in particular pp. 160-162.

The presence of the *torresani* and their ongoing residence in the Tower is documented by all the *Vacchette* and *Ex-Actis* (in ASCMo) without interruption from the 15th to the mid 19th century.

⁹ACMo, *Statuti 1538-1539, 1542*, cc. 4v., 5r.; ASCMo: *Vacchetta 1542*, 24 April; *Vacchetta 1547*, 19 September and 17 October. De' Bianchi, known as De' Lancillotti, Tommasino, *Cronaca modenese (1547-1548)*, IX, in *Monumenti di Storia Patria delle Province Modenesi, Serie delle cronache*,

Ciononostante il Comune era fortemente convinto che la proprietà dell'edificio non comportasse l'onere delle spese di riparazione e manutenzione, in quanto tali spese rientravano nei compiti spettanti alla Fabbriceria, organismo che tramite i redditi derivanti dalla gestione del proprio patrimonio provvedeva alla conservazione degli edifici di culto⁹. Gli obblighi legali di competenza del Comune e del Capitolo vennero chiariti in seguito a un'accesa controversia verificatasi intorno agli anni '60 del Cinquecento a causa di nuove spese per lavori di manutenzione. Da un'attenta analisi, svolta dal Cancelliere comunale Gian Maria Barbieri sulla documentazione esistente, risultò che la Fabbriceria aveva il dovere di utilizzare le rendite e le offerte di cui disponeva per il mantenimento e la riparazione della cattedrale e della torre, mentre il Comune, pur detenendo la proprietà dell'edificio non aveva obbligo alcuno e aveva sempre partecipato volontariamente alle spese. Le due parti in causa firmarono un compromesso il 27 giugno 1569 sulla cui base il Consiglio comunale erogò i fondi per il restauro della torre. In seguito il Comune si accollò in modo definitivo tutte le spese per le riparazioni¹⁰. L'ingente quantità di denaro che occorreva costantemente per la manutenzione della torre aveva infine spinto il Comune a cederne la proprietà allo Stato nel 1803. Con quello che sembrerebbe uno stratagemma per ottenere un contributo alle spese da parte del Governo ha inizio una fitta corrispondenza tra Stato e Comunità sulle condizioni della torre e sugli interventi necessari. Vengono realizzate varie perizie e relazioni di restauro fino al 1809, quando lo Stato propone di restituire la proprietà dell'edificio al Comune mediante una cessione gratuita della torre e dei relativi oneri, impegnandosi in cambio a partecipare alle spese di manutenzione¹¹.

Nonetheless, the Commune was firmly convinced that owning the building did not entail the expense of repair and maintenance as these expenditures would be the responsibility of the Fabbriceria, an office that used profit from managing its patrimony to conserve religious edifices⁹. The legal obligations of the Commune and the Chapter were clarified after a heated controversy around the 1560s caused by new maintenance expenses. Communal Chancellor Gian Maria Barbieri's close study of existing documentation showed that the Fabbriceria had the responsibility to use its profits and donations for the maintenance and repair of the Cathedral and the Tower. The Commune, despite keeping ownership of the edifice, had no obligation at all and had always voluntarily contributed to the expenditures. The two disputing parties signed

a compromise on 27 June 1569 on the basis of which the Communal Council dispensed funds to restore the Tower. The Commune then definitively took over the responsibility for all repair expenses¹⁰. The great sums of money continuously needed to maintain the Tower led the Commune to turn over its ownership to the State in 1803. What began as an apparent strategy to get a contribution to the expenses from the government was the start of active correspondence between the State and Commune about the condition of the Tower and needed repairs. Numerous restoration assessments and reports were drafted until 1809, when the State suggested returning the Tower's ownership to the Commune through a free transfer of the Tower and related duties, committing in exchange to contribute to the maintenance costs¹¹.

Patria delle Province Modenesi, Serie delle cronache, Fiacadori, Parma 1876, X, pp. 163 e 179-181.
⁹BEMO, Barbieri, Gian Maria, *Memorie storiche che incominciano col 1099 sulle origini della Fabbrica del Duomo e Torre della Fabbrica di S. Geminiano per certa pretesa intentata contro la Comunità dal Vescovo, Canonici e Massaro, riguardante il pagamento di annue l. 50 asserto promessoglij per un Palio in obblazione ed onore di detto Santo, compilate e scritte di proprio carattere dal Sig. Gio. M.a Barbieri Cancelliere perpetuo della Comunità*, 1574, Fondo Sorbelli 48. Biondi, Grazia, *La "lite del pallio": un conflitto giuridico tra il Comune di Modena e la Fabbrica del duomo al tempo del cardinal Morone*, in *Domus clari Geminiani: il Duomo di Modena*, a cura di Elena Corradini, Elio Garzillo e Graziella Polidori, Silvana Editoriale, Modena 1998, pp. 291-308. I compili della Fabbrica erano stabiliti da un'antica costituzione del 1306 (ACMo, Cod. O. III. 32, c. 1r) sancita dal vescovo Jacopo da Ferrara (1290-1311). Cfr. Barbieri, Alberto, Leonelli, Antonino e Montanari, Giancarlo, *Storia dell'arcidiocesi di Modena-Nonantola*, Tipolitografia Paltrinieri, Modena 1997, I, p. 371. Riguardo alla figura e al ruolo del Massaro della Fabbrica cfr. Dondi, *Notizie storiche ed artistiche del Duomo cit.*, pp. 142-153; Barbieri, Leonelli, Montanari, *Storia dell'arcidiocesi di Modena cit.*, I, p. 187. Biondi, Albano, *La Comunità e il Santo nel Cinquecento*, in *Civitas Geminiana. La città e il suo patrono*, a cura di Francesca Piccinini, Panini, Modena 1997,

pp. 36-46, in part. p. 43.
¹⁰ASCMo, *Prodotte degli Atti della Municipalità dal 13 agosto al 30 settembre 1803*, f. 79 (LXXVIII), 29 agosto; ASMo, *Archivio Napoleonico*, s. 56, busta 1325, fasc. 1657, 29 agosto 1803. ASCMo, *Atti di Amministrazione Generale, Registro Protocollo 1804*, n. 257, 24 gennaio; ASMo, *Archivio Napoleonico*, s. 56, busta 1325, fasc. 1657, 20 luglio 1804. ASCMo, *Prodotte degli Atti della Municipalità*, luglio 1807, f. 123 (CXXII), 21 luglio; *Prodotte degli Atti della Municipalità*, settembre 1807, f. 125 (CXXIV), 29 settembre; *Prodotte degli Atti della Municipalità*, dicembre 1808, f. 140 (139), 28 dicembre; *Prodotte degli Atti della Municipalità*, gennaio 1809, f. 141 (140/I), 2 gennaio; *Prodotte degli Atti della Municipalità*, dicembre 1809, f. 154 (151), 5, 9, 11 dicembre; *Prodotte degli Atti della Municipalità*, gennaio 1810, f. 155 (152/I), 2 gennaio; *Prodotte degli Atti della Municipalità*, settembre 1810, f. 165 (160), 11 settembre. Riguardo alle perizie e relazioni di restauro si veda: ASCMo, *Prodotte degli Atti della Municipalità*, settembre 1804, f. 89 (LXXXVIII), 24 settembre; *Prodotte degli Atti della Municipalità*, febbraio 1807, f. 118 (CXVII), 13 febbraio; *Prodotte degli Atti della Municipalità*, novembre 1807, f. 127 (CXXVI), 10 novembre; ASMo, *Archivio Napoleonico*, s. 56, busta 1325, fasc. 1657, 26 maggio 1807. Giovannini, Carlo, *Vicende e restauri della Ghirlandina nei primi anni dell'800*, in Baracchi e Giovannini, *Il Duomo e la Torre di Modena cit.*, pp. 253-263.

Fiacadori, Parma 1876, X, pp. 163 and 179-181.
¹¹BEMO, Barbieri, Gian Maria, *Memorie storiche che incominciano col 1099 sulle origini della Fabbrica del Duomo e Torre della Fabbrica di S. Geminiano per certa pretesa intentata contro la Comunità dal Vescovo, Canonici e Massaro, riguardante il pagamento di annue l. 50 asserto promessoglij per un Palio in obblazione ed onore di detto Santo, compilate e scritte di proprio carattere dal Sig. Gio. M.a Barbieri Cancelliere perpetuo della Comunità*, 1574, Fondo Sorbelli 481. Biondi, Grazia, *La "lite del pallio": un conflitto giuridico tra il Comune di Modena e la Fabbrica del duomo al tempo del cardinal Morone*, in *Domus clari Geminiani: il Duomo di Modena*, edited by Elena Corradini, Elio Garzillo and Graziella Polidori, Silvana Editoriale, Modena 1998, pp. 291-308. The Fabbrica's responsibilities were established by an early constitution from 1306 (ACMo, Cod. O. III. 32, c. 1r) ratified by bishop Jacopo da Ferrara (1290-1311). See: Barbieri, Alberto, Leonelli, Antonino and Montanari, Giancarlo, *Storia dell'arcidiocesi di Modena-Nonantola*, Tipolitografia Paltrinieri, Modena 1997, I, p. 371. Regarding the figure and role of the Massaro della Fabbrica, see: Dondi, *Notizie storiche ed artistiche del Duomo quot.*, pp. 142-153; Barbieri, Leonelli, Montanari, *Storia dell'arcidiocesi di Modena quot.*, I, p. 187. Biondi, Albano, *La Comunità e il Santo nel Cinquecento*, in *Civitas Geminiana. La città e il suo patrono*, edited by Francesca Piccinini, Panini, Modena 1997, pp. 36-46, in particular p. 43.

¹¹ASCMo, *Prodotte degli Atti della Municipalità dal 13 agosto al 30 settembre 1803*, f. 79 (LXXVIII), 29 August; ASMo, *Archivio Napoleonico*, s. 56, envelope 1325, rec. 1657, 29 August 1803. ASCMo, *Atti di Amministrazione Generale, Registro Protocollo 1804*, n. 257, 24 January; ASMo, *Archivio Napoleonico*, s. 56, envelope 1325, rec. 1657, 20 July 1804. ASCMo, *Prodotte degli Atti della Municipalità*, July 1807, f. 123 (CXXII), 21 July; *Prodotte degli Atti della Municipalità*, September 1807, f. 125 (CXXIV), 29 September; *Prodotte degli Atti della Municipalità*, dicembre 1808, f. 140 (139), 28 December; *Prodotte degli Atti della Municipalità*, gennaio 1809, f. 141 (140/I), 2 January; *Prodotte degli Atti della Municipalità*, dicembre 1809, f. 154 (151), 5, 9, 11 December; *Prodotte degli Atti della Municipalità*, gennaio 1810, f. 155 (152/I), 2 January; *Prodotte degli Atti della Municipalità*, settembre 1810, f. 165 (160), 11 September. About restoration assessments and reports, see ASCMo, *Prodotte degli Atti della Municipalità*, settembre 1804, f. 89 (LXXXVIII), 24 September; *Prodotte degli Atti della Municipalità*, febbraio 1807, f. 118 (CXVII), 13 February; *Prodotte degli Atti della Municipalità*, novembre 1807, f. 127 (CXXVI), 10 November; ASMo, *Archivio Napoleonico*, s. 56, envelope 1325, rec. 1657, 26 May 1807. Giovannini, Carlo, *Vicende e restauri della Ghirlandina nei primi anni dell'800*, in Baracchi and Giovannini, *Il Duomo e la Torre di Modena quot.*, pp. 253-263.

2. Fasi e cronologie costruttive: il serrato dibattito critico

L'edificazione della Ghirlandina, avvenuta in fasi costruttive differenti, ha suscitato un vasto dibattito critico con tesi discordanti riguardo alla cronologia della realizzazione dei primi cinque piani della parte quadrata dell'edificio¹². Un riscontro con le fonti più antiche relative a queste fasi non è stato possibile a causa della distruzione di tale documentazione.

Gli studiosi sono concordi nell'affermare che la costruzione della torre, alle cui spese concorsero tanto il vescovo quanto la cittadinanza modenese¹³, ebbe inizio contemporaneamente all'edificazione della cattedrale, tra il 1099 e il 1106. Nei due cantieri, infatti, lavorano le medesime maestranze, legate inizialmente alla figura dell'architetto Lanfranco, e per entrambi gli edifici viene utilizzato lo stesso tipo di materiale, ovvero *marmi*¹⁴ e mattoni antichi, per lo più recuperati negli scavi delle rovine dell'antica *Mutina romana*¹⁵.

Più disparate sono, invece, le ipotesi riguardanti la conclusione di questa prima fase costruttiva che, secondo la tesi del canonico Dondi¹⁶, si collocherebbe entro il 1159, con l'elevazione del campanile fino al quinto piano, come previsto dal progetto iniziale, e con una copertura a spioventi di coppi¹⁷.

2. Construction phases and timelines: the intense critical debate

The building of the Ghirlandina, which took place in different construction phases, raised an extensive critical debate, with conflicting theories about the chronology of the first five floors of the Tower's square section¹². It was not possible to reference the oldest sources about these phases because the documentation had been destroyed. Scholars agree that the Tower's construction, whose expense was paid jointly by the bishop and Modenese citizens¹³, was started at the same time as the Cathedral, between 1099 and 1106. The same workers worked on both projects, initially linked by the architect Lanfranco. The same type of material, ancient

*marble*¹⁴ and bricks, were used for both buildings, mainly recovered from the excavation of ruins of ancient *Mutina Romana* [Roman Modena]¹⁵. Theories about the end of this first construction phase are more disparate. According to the theory of the canon Dondi¹⁶, it would be within 1159, with the extension of the bell tower to the fifth floor, as set in the original plan, and with a pitched curved tiled roof¹⁷. According to Dondi, the interruption of the Tower's construction at this point, between the fifth and sixth floor, could be easily seen even just by merely observing the outside of the Tower that shows at that height an attempt to correct its leaning.

¹²Il dibattito critico è stato ripercorso da Pezzini, *Osservazioni sulla torre di Lanfranco a Modena cit.*, pp. 835-845. La studiosa partendo dalle fonti più antiche a disposizione, le cronache, esamina la bibliografia sull'argomento mettendo in luce come il problema della datazione sia stato largamente affrontato e dibattuto. Inoltre sulla base delle tesi degli studiosi citati, concordando di volta in volta con le ipotesi dell'uno e dell'altro, avanza una serie di osservazioni riguardanti le varie parti della torre, le fondamenta, il rivestimento lapideo esterno, la muratura e la scala lignea interna.

¹³Tiraboschi, Gerolamo, *Codice Diplomatico*, in Id., *Memorie Storiche Modenesi col codice diplomatico*, Società Tipografica, Modena 1795, V, p. 62.

¹⁴Le analisi di laboratorio condotte sul rivestimento lapideo della torre negli anni '60 del Novecento e, successivamente, nel 2006-2008 da parte del dipartimento di Scienze della terra dell'Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia hanno evidenziato come il materiale marmoreo sia presente in piccole quantità (si veda il saggio di Lugli et al., in questo stesso volume). Il cosiddetto *marmo di Verona* è in realtà calcare ammonitico proveniente da cave presenti nella zona di Verona. È corretto quindi parlare di "materiale lapideo" e di "pietre"; la parola *marmo*, in corsivo, è stata riportata in questo modo quando è stata ripresa dalle fonti.

¹⁵Silingardi, *Catalogus omnium episcoporum cit.*, pp. 73-74; Vandelli, Domenico e Lucarelli, Eustachio, *Meditazioni sopra la vita di S. Geminiano vescovo e protettore di Modena scritta dal dottore Pellegrino Rossi modenese proposta in sei punti da due amici*, Francesco Pitteri, Venezia 1738, p. 158; Sossaj, Francesco, *Modena descritta da Francesco Sossaj*, Tipografia Camerale, Modena 1841², p. 136; Forni, Luigi, *Modena cento anni fa ossia cenno storico sopra gli edifici di Modena, in Modena a tre epoche. Descrizione del Conte Luigi Forni e del Marchese Cesare Campori*, Cappelli, Modena 1844, pp. 1-75, in partic. p. 47; Borghi, Carlo, *Il Duomo ossia cenni storici e descrittivi della Cattedrale di Modena*, Cappelli,

Modena 1845, p. 151, nota a; Cavedoni, Carlo, *Cenni Storici intorno alla vita ai miracoli ed al culto del glorioso San Geminiano vescovo e protettore principale della chiesa modenese compilati da D. Celestino Cavedoni sacerdote modenese*, Cappelli, Modena 1856, pp. 38-39; Dondi, *Notizie storiche ed artistiche del Duomo cit.*, p. 248; Crespellani, Arsenio, *Scavi del Modenese (1898)*.

Relazione, in "Atti e Memorie della Deputazione di Storia Patria per le Antiche Provincie Modenesi", 1900, s. V, I, pp. 259-265, in partic. p. 259 nota 2; Chellini, Leone e Pancaldi, Evaristo, *Guida storico-artistica di Modena e dintorni*, Cavallotti, Modena 1926, pp. 46-48; Panini, *Cronica della Città di Modena cit.*, pp. 42-43.

Girolamo Tiraboschi asseriva che la fabbrica della torre non poteva risalire a un periodo antecedente al 1099, visto lo stato infelice della città nelle epoche precedenti a tale data: Tiraboschi, *Memorie Storiche Modenesi cit.*, I, p. 136. Riguardo a Lanfranco di Facci, figlio di Faccio, o Romengardi cfr. Vandelli e Lucarelli, *Meditazioni sopra la vita di S. Geminiano cit.*, p. 157; Roli Guidetti, Clara, *Duomo di Modena*, in *Tesori d'arte cristiana*, Officine Grafiche Poligrafici il Resto del Carlino, Bologna 1966, I, pp. 449-475, in partic. p. 454; Panini, *Cronica della Città di Modena cit.*, p. 73.

¹⁶Dondi, *Notizie storiche ed artistiche del Duomo cit.*, pp. 244-247.

¹⁷Riguardo alla copertura della parte quadrata della torre durante le prime fasi costruttive vi è una osservazione riportata dagli studiosi Vandelli e Lucarelli secondo i quali dall'analisi della patina dei *marmi*, oltre che dall'architettura della torre, si poteva desumere che la direzione degli spioventi del tetto fosse verso est e verso ovest, deducendone quindi la presenza di un tetto a due spioventi. Cfr. Vandelli e Lucarelli, *Meditazioni sopra la vita di S. Geminiano cit.*, p. 156.

¹⁸Borghi, *Il Duomo ossia cenni storici cit.*, pp. 155-156 e p. 156 nota c. In realtà Borghi non è solo ad anticipare Dondi nell'osservazione della pendenza della torre, cfr. Adani, G., *Memorie storiche e artistiche della Cattedrale*

¹²The critical debate was summarized by Pezzini, *Osservazioni sulla torre di Lanfranco a Modena quot.*, pp. 835-845. He starts from the oldest available sources, the *Cronache*, and examines the bibliography on the subject, demonstrating how the dating issue was generally addressed and debated. Furthermore, on the basis of the theories by the mentioned scholars, according to the theory of each scholar in each case, he advances a series of observations about the different parts of the Tower, the foundation, the external stone cladding, the walling and the interior wood stairway.

¹³Tiraboschi, Gerolamo, *Codice Diplomatico*, in Id., *Memorie Storiche Modenesi col codice diplomatico*, Società Tipografica, Modena 1795, V, p. 62. "Laboratory analyses on the Tower's stone cladding in the 1960s and then in 2006-2008 by the Department of Earth Sciences at the University of Modena and Reggio Emilia showed that there were small amounts of marble material (see essay by Lugli et al. in this book). The "marble of Verona" is actually ammonite limestone from quarries in the Verona area. "Stone material" and "stones" would be accurate; the word *marble*, in italics, was kept when taken from sources.

¹⁴Silingardi, *Catalogus omnium episcoporum quot.*, pp. 73-74; Vandelli, Domenico and Lucarelli, Eustachio, *Meditazioni sopra la vita di S. Geminiano vescovo e protettore di Modena scritta dal dottore Pellegrino Rossi modenese proposta in sei punti da due amici*, Francesco Pitteri, Venice 1738, p. 158; Sossaj, Francesco, *Modena descritta da Francesco Sossaj*, Tipografia Camerale, Modena 1841², p. 136; Forni, Luigi, *Modena cento anni fa ossia cenno storico sopra gli edifici di Modena, in Modena a tre epoche. Descrizione del Conte Luigi Forni e del Marchese Cesare Campori*, Cappelli, Modena 1844, pp. 1-75, in particular p. 47; Borghi, Carlo, *Il Duomo ossia cenni storici e descrittivi della Cattedrale di Modena*, Cappelli, Modena 1845, p. 151, nota a; Cavedoni, Carlo, *Cenni Storici intorno alla vita ai miracoli ed al culto del glorioso San Geminiano vescovo e protettore principale*

della chiesa modenese compilati da D. Celestino Cavedoni sacerdote modenese, Cappelli, Modena 1856, pp. 38-39; Dondi, *Notizie storiche ed artistiche del Duomo quot.*, p. 248; Crespellani, Arsenio, *Scavi del Modenese (1898)*. *Relazione*, in "Atti e Memorie della Deputazione di Storia Patria per le Antiche Provincie Modenesi", 1900, s. V, I, pp. 259-265, in particular p. 259 nota 2; Chellini, Leone and Pancaldi, Evaristo, *Guida storico-artistica di Modena e dintorni*, Cavallotti, Modena 1926, pp. 46-48; Panini, *Cronica della Città di Modena quot.*, pp. 42-43.

Girolamo Tiraboschi asserted that the Tower's construction could not date to a period before 1099, considering the city's difficult situation in the eras before then: Tiraboschi,

Memorie Storiche Modenesi quot., I, p. 136. Regarding Lanfranco di Facci, son of Faccio, or Romengardi, see: Vandelli and Lucarelli, *Meditazioni sopra la vita di S. Geminiano quot.*, p. 157; Roli Guidetti, Clara, *Duomo di Modena*, in *Tesori d'arte cristiana*, Officine Grafiche Poligrafici il Resto del Carlino, Bologna 1966, I, pp. 449-475, in particular p. 454; Panini, *Cronica della Città di Modena quot.*, p. 73.

¹⁶Dondi, *Notizie storiche ed artistiche del Duomo quot.*, pp. 244-247.

¹⁷About the roof of the Tower's square part during the first construction phases, the scholars Vandelli and Lucarelli report an observation that the patina of the *marble*, as well as the Tower's architecture, could be inferred from the direction of the roof's slopes to the east and west, deducing from this that there had been a double-pitch roof. See: Vandelli and Lucarelli, *Meditazioni sopra la vita di S. Geminiano quot.*, p. 156.

¹⁸Borghi, *Il Duomo ossia cenni storici quot.*, pp. 155-156 and p. 156 note c. Borghi was not alone in preceding Dondi in observing the Tower's slope. See: Adani, G., *Memorie storiche e artistiche della Cattedrale di Modena*, s.n.t., Modena 1875, pp. 42-43 note 4; Sandonini, Tommaso, *Della torre della Cattedrale di Modena*,

L'interruzione dell'innalzamento dell'edificio a questo punto dei lavori, tra quinto e sesto piano, era, secondo il Dondi, chiaramente visibile anche tramite una semplice osservazione esterna della torre che rivelava a quell'altezza un tentativo di correzione della pendenza. La stessa osservazione sull'inclinazione della Ghirlandina era già stata fatta alcuni anni prima da Carlo Borghi¹⁸, il quale sosteneva che anche nella costruzione del prisma ottagonale si poteva notare un tentativo di correzione della pendenza, rivelatore di un'ulteriore interruzione. Riguardo poi alla datazione sostenuta dal Dondi, egli la motivava riferendo che il canonico Bassoli nella prima metà dell'Ottocento aveva attestato per primo la presenza, sul lato est della Ghirlandina sotto la cornice del secondo piano, di un'iscrizione graffita riportante l'anno 1159 come data conclusiva dei primi lavori¹⁹.

Concordano con tale datazione l'architetto Vincenzo Maestri e lo storico dell'arte Adolfo Venturi. Il primo, chiamato in causa durante i restauri alla torre di fine Ottocento, ripercorre la storia della Ghirlandina fin dall'epoca della sua fondazione. Riguardo ai tempi di edificazione, Maestri asserisce che, mancando documenti che attestino con certezza le varie fasi, le datazioni devono essere ricavate dallo stile, dagli elementi costruttivi, dai materiali e dalla loro composizione organica. Da ciò deduce che l'edificio fu eretto contemporaneamente al Duomo almeno fino al quinto piano; è possibile, poi, che per affrettare i lavori alla cattedrale i costruttori avessero interrotto momentaneamente l'innalzamento della torre proprio nell'anno 1159. Analizzando gli elementi decorativi dell'edificio, Maestri sostiene che gli archetti intersecati della prima cornice siano motivo assai ricorrente dell'epoca e debbano considerarsi una novità introdotta a Modena da Lanfranco. Nella parte soprastante, invece, è evidente come prevalgano stili ed elementi differenti che motivano interventi di epoca successiva²⁰.

Adolfo Venturi propende per la veridicità del riferimento al 1159 poiché, oltre all'iscrizione sull'epigrafe, tale data sarebbe la più vicina a quella della costruzione del pontile del Duomo che, iniziato tra 1160 e 1165 e concluso nel 1184 circa, mostrerebbe una certa somiglianza con i capitelli della cella campanaria attribuibili, secondo lo studioso, a un seguace del maestro del pontile²¹.

L'interpretazione della datazione graffita sul bassorilievo è stata in realtà molto discussa e controversa: alcuni studiosi hanno proposto e motivato letture diverse dell'epigrafe ipotizzando una definizione di tempi differenti per le fasi costruttive della torre.

A few years earlier, Carlo Borghi¹⁸ had made the same observation about the Ghirlandina's leaning. Borghi maintained that in the construction of the octagonal prism we also see an attempt at correcting the leaning, indicating another interruption. For the dating maintained by Dondi, which he supported by noting that in the first half of the 19th century the canon Bassoli had been the first to note, on the Ghirlandina's eastern side, under the second floor's cornice, a scratched inscription giving 1159 as the completion date of the first construction¹⁹. The architect Vincenzo Maestri and the art historian Adolfo Venturi agree with this date. Maestri, brought in during the late 19th-century restoration work on the Tower, recounted the history of the Ghirlandina since the period of its founding. As for the time of construction, Maestri maintains that, lacking documents that attest to the different phases with certainty, the dating should be inferred from the style, the construction elements, materials and their structural composition. He infers from these factors that the Tower was constructed at the same time as the Cathedral at least to the fifth floor.

di Modena, s.n.t., Modena 1875, pp. 42-43 nota 4; Sandonini, Tommaso, *Della torre della Cattedrale di Modena*, in "Atti e Memorie della Deputazione di Storia Patria per le Antiche Province Modenesi", 1894, s. IV, VI, pp. XV-XVI.

¹⁸Bassoli legge e interpreta l'epigrafe come: *MCLVIII Completa in nomine Domini ista turris*. Cfr. Dondi, *Notizie storiche ed artistiche del Duomo cit.*, p. 245. L'epigrafe vista da Bassoli si trova effettivamente nella parete esterna della torre rivolta verso est, dove, sotto la cornice che divide il secondo dal terzo piano, sono presenti tre frammenti di bassorilievi romani ornati con rami e foglie scolpiti: in quello centrale al di sopra e al di sotto di un ramo fiorito corre l'iscrizione graffita.

¹⁹Maestri, *L'architettura del Duomo di Modena e della Torre Ghirlandina cit.*

²⁰Venturi, Adolfo, *Storia dell'arte italiana. L'arte Romanica*, Hoepli, Milano 1904, III, pp. 262 e 272-274.

It is possible that the builders temporarily interrupted work on the Tower in the 1159 to hasten the construction of the Cathedral. Analyzing the Tower's decorative elements, Maestri maintains that the small intersecting arches of the first cornice are a fairly recurrent motif of the era and should be considered a new element that Lanfranco introduced to Modena. In the part above it, it is clear that there are different styles and elements, evidencing work from a subsequent period²⁰. Adolfo Venturi was inclined to accept the validity of the 1159 date because, in addition to the inscription, this date would be closest to that of the Cathedral's gallery, which began between 1160 and 1165 and was completed in approximately 1184. It shows a certain resemblance to the capitals of the bell chamber, which the Venturi says could be attributed to a follower of the gallery's master builder²¹. The interpretation of the scratched date on the low relief was indeed controversial and much debated. Scholars put forward and backed up different interpretations of the inscription, theorizing different times for the Tower's construction phases.

in "Atti e Memorie della Deputazione di Storia Patria per le Antiche Province Modenesi", 1894, s. IV, VI, pp. XV-XVI.

¹⁸Bassoli reads and interprets the inscription as: *MCLVIII Completa in nomine Domini ista turris*. See: Dondi, *Notizie storiche ed artistiche del Duomo* quot., p. 245.

The inscription seen by Bassoli is actually on the outside wall of the Tower facing east where, under the cornice dividing the second and third floors, there are three Roman bas-relief fragments adorned with sculpted branches and leaves. In the central fragment, above and below a flowering branch, is the engraved inscription.

¹⁹Maestri, *L'architettura del Duomo di Modena e della Torre Ghirlandina* quot.

²⁰Venturi, Adolfo, *Storia dell'arte italiana. L'arte Romanica*, Hoepli, Milan 1904, III, pp. 262 and 272-274.

Al di là delle posizioni di Giuseppe Fregni²², che inizialmente rileva la datazione 1106, o di Arsenio Crespellani²³, che vi legge la data 1209, la maggior parte delle ipotesi successive interpreta la datazione della lapide come 1169 o 1179²⁴.

De Francovich²⁵ concorda con la teoria di Venturi sulla vicinanza tra i capitelli della cella campanaria della torre e le sculture del pontile, ma, a suo parere, la datazione al 1159, che sarebbe effettivamente la più prossima alla costruzione del pontile, così come la data 1169 non sono corrette, poiché sarebbero entrambe troppo precoci. La data probabile gli appare invece il 1179, anno entro cui, secondo lo studioso, si compie l'innalzamento della torre fino al penultimo piano quadrato e vengono realizzati i due capitelli figurati posti internamente al quinto piano della torre sui lati meridionale e orientale. Lo scultore di questi due capitelli, che rappresentano David e la danza e i Giudici²⁶, mostra di appartenere alla tradizione delle sculture del pontile, anche se utilizza un linguaggio figurativo più avanzato. L'autore potrebbe pertanto essere un imitatore o un seguace della maestranza campionesa che in Duomo lavora al pontile. Ipotizzando una realizzazione del pontile tra 1160-1165 e 1170-1175 e tenendo conto delle leggere discrepanze con i capitelli della Ghirlandina, la datazione maggiormente accettabile sarebbe per l'appunto il 1179.

Anche le formelle che costituiscono l'apparato decorativo esterno del campanile mostrano una certa affinità con i capitelli

Excepting the positions of Giuseppe Fregni²², who originally suggested the 1106 dating and Arsenio Crespellani²³ who interpreted the date as 1209, most later theories interpret the dating on the plaque as 1169 or 1179²⁴.

De Francovich²⁵ agrees with Venturi's theory on the similarity of the capitals of the Tower's bell chamber and the gallery sculptures. However, in his opinion, the 1159 dating, which would be the closest to the gallery's construction, as well as the 1169 date, are not correct, both being too early. He considers 1179 a probable date. According to De Francovich, by this date, the Tower had been built up to the second-to-the-last square floor and the two small decorated capitals were made,

set internally on the Tower's fifth floor on the southern and eastern sides. The sculptor of these two capitals, representing *David and the Dance* and *The Judges*²⁶ appears to have been part of the tradition of the sculptures in the gallery, though it uses a more advanced figurative language. The artist might have been an imitator or follower of the Campionesa Masters who worked on the gallery in the Cathedral. If we hypothesize that the gallery was built between 1160-65 and 1170-75 and consider the slight discrepancies with the capitals of the Ghirlandina, the most acceptable dating would indeed be 1179. The bricks that make up the bell tower's exterior decorations also have a certain affinity with the interior capitals.

²²Giuseppe Fregni riprende l'iscrizione da Dondi e senza vederla dal vero la interpreta come "1106 vennero compiti codesto Duomo e questa torre". Cfr. Fregni, Giuseppe, *Dell'antica iscrizione esistente nel pulpito del Duomo di Modena*, Namias, Modena 1895, p. 41.

²³Arsenio Crespellani, sulla base di un calco dell'iscrizione realizzato nel 1898 (e conservato ora presso il Museo Civico d'Arte di Modena) la interpreta come *MCCVIII haec quoque III^a domus turris fuit facta arbor*, intendendo cioè che nel 1209 fu innalzata questa terza costruzione della torre, in seguito al Duomo del 1099 e al Palazzo Pubblico del 1194. L'espressione *fuit facta arbor* sta proprio a indicare, secondo Crespellani, che la torre non è stata terminata, così come un albero che continua a crescere nel corso degli anni. Cfr. Crespellani, *Scavi del Modenese (1898)*. Relazione cit., pp. 260-262.

²⁴Federico Patetta ha occasione di vedere dal vero l'iscrizione e la riporta come: *M.C.S.VIII / Q^a III Dom' / Isti TURRIS + / + FVIT FACTA. ARBOR*. L'attenta analisi dell'epigrafe lo porta a concludere l'impossibilità di un'interpretazione definitiva. Cfr. Patetta, *Note sopra alcune iscrizioni medievali* cit., pp. 34-39. Giulio Bertoni la riporta come: *M.C.S.VIII / Q^a III DOMUS / Istius TURRIS + / + FVIT FACTA. ARBOR*, propendendo l'interpretazione di S come *sexaginta o septuaginta*. Cfr. Bertoni, Giulio, *Atlante storico-paleografico del Duomo di Modena*, Orlandini, Modena 1909, tav. IV. Nel 1909 Fregni ritorna sull'argomento proponendo una nuova spiegazione delle parole dell'iscrizione e dando vita a un'accesa polemica, che ha luogo sulle pagine

del quotidiano "Il Panaro", 1900, n. 89-90-91, contro le interpretazioni di Pietro Zanfagnini e del professor Mario Martinozzi. Fregni riporta ora l'iscrizione come: *M. C. S.^a VIII / Q. Z.^a III Domus / Heic turris / fuit facta. Arbor*, ovvero che "nel 1100 la scala (S) dalla nona (VIII) fin giù (Q = usque) alla terza (III) che metteva in Duomo, di questa torre, fu fatta di legno", intendendo affermare che la scala che dalle campane scendeva alla porticina che metteva in Duomo era stata fatta di legno. Lo studioso critica aspramente Pietro Zanfagnini che aveva interpretato a sua volta l'iscrizione come "nell'anno 1169 del Signore, e 3° di questa torre, fu fatto quest'albero" alludendo al decoro scoltivo. L'interpretazione del professore Martinozzi, "la torre fu fatta albero", intendeva invece che erano stati aggiunti rami frondosi scolpiti nei marmi posti a rivestimento esterno. Cfr. Fregni, Giuseppe, *Sulla iscrizione posta a levante e al di fuori della nostra Ghirlandina, sotto la seconda cornice, nel mezzo, e all'altezza di circa 30 metri dal suolo. Riassunto della nostra polemica sul giornale "Il Panaro" e nuovi appunti in merito all'iscrizione stessa e di riscontro all signori Pietro Zanfagnini e Prof. Mario Martinozzi di Modena*, Ferraguti, Modena 1909, pp. 7-18. Infine Paolo Borghi propende per l'interpretazione 1179, data nella quale sarebbe stato terminato il terzo piano della parte quadrata della torre. In Borghi, Paolo, *I Palazzi del Comune di Modena nello scorcio del secolo XIII*, Cappelli, Modena 1943, pp. 7-9.

²⁵De Francovich, Géza, *Benedetto Antelami architetto e scultore e l'arte del suo tempo*, Electa,

²⁶Giuseppe Fregni takes up the inscription from Dondi and without seeing it in person interprets it as: *1106 vennero compiti codesto Duomo e questa torre*. See: Fregni, Giuseppe, *Dell'antica iscrizione esistente nel pulpito del Duomo di Modena*, Namias, Modena 1895, p. 41.

²³Arsenio Crespellani, on the basis of a mold of the inscription made in 1898 (and now at the Museo Civico d'Arte di Modena) interprets it as *MCCVIII haec quoque III^a domus turris fuit facta arbor*, meaning that in 1209 this third construction of the Tower was completed, after the Cathedral in 1099 and the Palazzo Pubblico in 1194. According to Crespellani, the expression *fuit facta arbor* means that the Tower was not completed, just as a tree continues to grow over the years. See: Crespellani, *Scavi del Modenese (1898)*. Relazione quot., pp. 260-262.

²⁴Federico Patetta had the chance to see the inscription in person and reported it as: *M.C.S.VIII / Q^a III Dom' / Isti TURRIS + / + FVIT FACTA. ARBOR*. A careful analysis of the inscription led him to conclude that it was impossible to interpret it definitively. See: Patetta, *Note sopra alcune iscrizioni medievali* quot., pp. 34-39. Giulio Bertoni reports it as: *M.C.S.VIII / Q^a III DOMUS / Istius TURRIS + / + FVIT FACTA. ARBOR*, suggesting the interpretation of S as *sexaginta o septuaginta*. See: Bertoni, Giulio, *Atlante storico-paleografico del Duomo di Modena*, Orlandini, Modena 1909, plate IV. In 1909, Fregni took back up the topic, suggesting a new explanation of the inscription's words and giving rise to a heated controversy, which unfolded in the

newspaper *Il Panaro*, 1900, n. 89-90-91, against the interpretations of Pietro Zanfagnini and Professor Mario Martinozzi. Fregni now reported the inscription as: *M. C. S.^a VIII / Q. Z.^a III Domus / Heic turris / fuit facta. Arbor*, "nel 1100 la scala (S) dalla nona (VIII) fin giù (Q = usque) alla terza (III) che metteva in duomo, di questa torre, fu fatta di legno", meaning that the stairway that went down from the bells small door to the Cathedral was made of wood. Fregni sharply criticized Pietro Zanfagnini who had interpreted the inscription as "nell'anno 1169 del Signore, e 3° di questa torre, fu fatto quest'albero" ["in the year 1169 of our Lord, and 3° of this tower, this tree was made"], alluding to the sculpted decoration. Professor Martinozzi's interpretation "the tower was made a tree" meant that leafy branches were added sculptured in marble on the external cladding. See: Fregni, Giuseppe, *Sulla iscrizione posta a levante e al di fuori della nostra Ghirlandina, sotto la seconda cornice, nel mezzo, e all'altezza di circa 30 metri dal suolo. Riassunto della nostra polemica sul giornale "Il Panaro" e nuovi appunti in merito all'iscrizione stessa e di riscontro all signori Pietro Zanfagnini e Prof. Mario Martinozzi di Modena*, Ferraguti, Modena 1909, pp. 7-18. Finally, Paolo Borghi favors the 1179 interpretation, which would be the date when the third floor of the Tower's square part would have been completed. In Borghi, Paolo, *I Palazzi del Comune di Modena nello scorcio del secolo XIII*, Cappelli, Modena 1943, pp. 7-9. ²⁵De Francovich, Géza, *Benedetto Antelami architetto e scultore e l'arte del suo tempo*, Electa, Milan-Florence

interni, ma allo stesso tempo si nota un appesantimento dei mezzi espressivi che porta De Francovich a credere che si tratti forse di un allievo del maestro dei capitelli che potrebbe averne utilizzato i disegni preparatori.

Le maestranze che lavorano prima al pontile e successivamente all'edificazione e realizzazione dell'apparato scultoreo della torre sono sempre state ritenute quelle campionesi.

Un documento risalente al 1244 attesta la presenza prolungata dei Campionesi nella Fabbrica del Duomo: si tratta del rinnovo di un contratto che aveva vincolato e vincolava nuovamente una famiglia di architetti e scultori, originari di Campione, alla Fabbrica del Duomo, quasi nel tentativo di assicurare una collaborazione qualificata e continua nel tempo.

Il patto, stretto inizialmente con Anselmo da Campione, a cui viene tradizionalmente riferito il pontile, viene rinnovato nel 1244 da Enrico (senior)²⁷. L'opera dei Campionesi si conclude con la figura di Enrico da Campione (junior), che nel 1322 realizza il pulpito nella cattedrale. Dato il contratto, ne consegue che tutte le opere realizzate in questo cantiere dalla seconda metà del XII al XIV secolo sono riferibili a maestranze legate a questa famiglia che, nelle sue realizzazioni, mostra una cultura provenzale ben differenziata dai motivi decorativi e stilistici propri della scuola emiliana.

Tornando all'iscrizione graffita sulla torre, Quintavalle²⁸ ne dà una lettura totalmente diversa: la presenza della lapide al secondo piano dell'edificio si spiega facendo riferimento non alla torre di per sé, che intorno agli anni 1169-1179 non sarebbe stata certamente terminata e che, anzi, proprio in quegli anni avrebbe subito innalzamenti da parte dei Campionesi, ma alla canonica o a qualche altro edificio relativo alla torre. Riguardo alla cronologia delle prime fasi costruttive le ipotesi avanzate da Quintavalle si basano sull'osservazione stilistica degli elementi decorativi della torre raffrontati con quelli della cattedrale, in particolare della zona absidale.

However, we can also see a heaviness of the expressive means that leads De Francovich to believe that this may be a student of the artist of the capitals, who might have used their preparatory drawings. The workers who worked first on the gallery and then on the building and sculptural decorations of the Tower are still considered to have been the Campionesi Masters. A document from 1244 documents the extended involvement of the Campionesi Masters in the Cathedral's construction. This involved the renewal of a contract that had bound, and was again binding, a family of architects and sculptors, originally from Campione, to the Cathedral's construction, as if to ensure quality and continuity. The agreement, which was originally formed with Anselmo da Campione, to whom the gallery is traditionally attributed, was renewed in 1244 by Enrico (Senior)²⁷. The Campionesi Masters' work ended with Enrico da Campione (Junior), who made the Cathedral's pulpit in

1322. Given this contract, it can be assumed that all the works made on this site from the second half of the 12th century until the 14th century can be attributed to workers connected to this family. In their works, we see a Provençal culture that is quite different from the Emilian school's decorative and stylistic motifs. Returning to the inscription scratched on the Tower, Quintavalle²⁸ gave it an entirely different interpretation. According to him, the presence of the plaque on the second floor of the Tower can be explained as referring not to the Tower itself, which in the years 1169-1179 would certainly not have been completed (in fact, in those years, it would have been extended by the Campionesi Masters), but to the parsonage or another building related to the Tower. As for the timeline of the first construction phases, Quintavalle's theories are based on observations of the style of the Tower's decorative elements compared with those of the Cathedral, particularly in the apse area.

Milano-Firenze 1952, I, pp. 53-58, nota 63 pp. 68-69.
²⁶Per la lettura iconografica delle scene rappresentate sul capitello dei Giudici si veda: Mor, Carlo Guido, *Un capitello della "Ghirlandina" e i primordi dello studio modenese*, in *Studi di storia e diritto in onore di Arrigo Solmi*, Giuffrè, Milano 1941, II, pp. 55-76; Santini, Giovanni, *Diritto comune e tendenze di scuola nel "Capitello dei Giudici" della Ghirlandina*, riedito in Id., *Università e società nel XII secolo: Pillio da Medicina e lo studio di Modena*, STEM-Mucchi, Modena 1979, pp. 17-59.
²⁷Bortolotti, Pietro, *Di un antico ambone modenese e di qualche altro patrio avanzo architettonico cristiano*, Soliani, Modena 1882, pp. 55-56; De Francovich, *Benedetto Antelami* cit., pp. 61-62;

Roli Guidetti, *Duomo di Modena* cit., p. 471; Grandi, Renzo, *I Campionesi a Modena*, in *Lanfranco e Wiligelmo* cit., pp. 545-570, in partic. pp. 545-546.
²⁸Quintavalle, Arturo Carlo, *La cattedrale di Modena. Problemi del romanico emiliano*, Bassi, Modena 1964-65, I, pp. 247-250. Il problema della cronologia delle fasi costruttive della torre viene affrontato anche in studi più recenti come Id., *Wiligelmo e Matilde. L'officina romanica*, Electa, Milano 1991. Secondo lo studioso l'iscrizione graffita deve essere interpretata come *domus istius turris fuit facta*, ovvero "la canonica (o altro edificio relativo alla torre) della torre fu fatta..." e non *turris domus istius fuit facta* cioè "la torre della cattedrale fu fatta..."

1952, I, pp. 53-58, nota 63 pp. 68-69.
²⁶For the iconographic interpretation of the scenes depicted on the *Capitello dei Giudici*, see: Mor, Carlo Guido, *Un capitello della Ghirlandina e i primordi dello studio modenese*, in *Studi di storia e diritto in onore di Arrigo Solmi*, Giuffrè, Milan, 1941, II, pp. 55-76; Santini, Giovanni, *Diritto comune e tendenze di scuola nel "Capitello dei Giudici" della Ghirlandina*, republished in Id., *Università e società nel XII secolo: Pillio da Medicina e lo studio di Modena*, STEM-Mucchi, Modena 1979, pp. 17-59.
²⁷Bortolotti, Pietro, *Di un antico ambone modenese e di qualche altro patrio avanzo architettonico cristiano*, Soliani, Modena 1882, pp. 55-56; De Francovich, *Benedetto Antelami* quot., pp. 61-62; Roli Guidetti,

Duomo di Modena quot., p. 471; Grandi, Renzo, *I Campionesi a Modena*, in *Lanfranco e Wiligelmo* quot., pp. 545-570, in particular pp. 545-546.
²⁸Quintavalle, Arturo Carlo, *La cattedrale di Modena. Problemi del romanico emiliano*, Bassi, Modena 1964-65, I, pp. 247-250. The issue of the Tower's construction phases' chronological order is also addressed in more recent studies, such as Id., *Wiligelmo e Matilde. L'officina romanica*, Electa, Milan 1991. According to the scholar, the scratched inscription should be interpreted as *domus istius turris fuit facta*, or "the parsonage (or other building related to the Tower) of the Tower was made..." rather than *turris domus istius fuit facta* or "the Tower of the cathedral was made...."

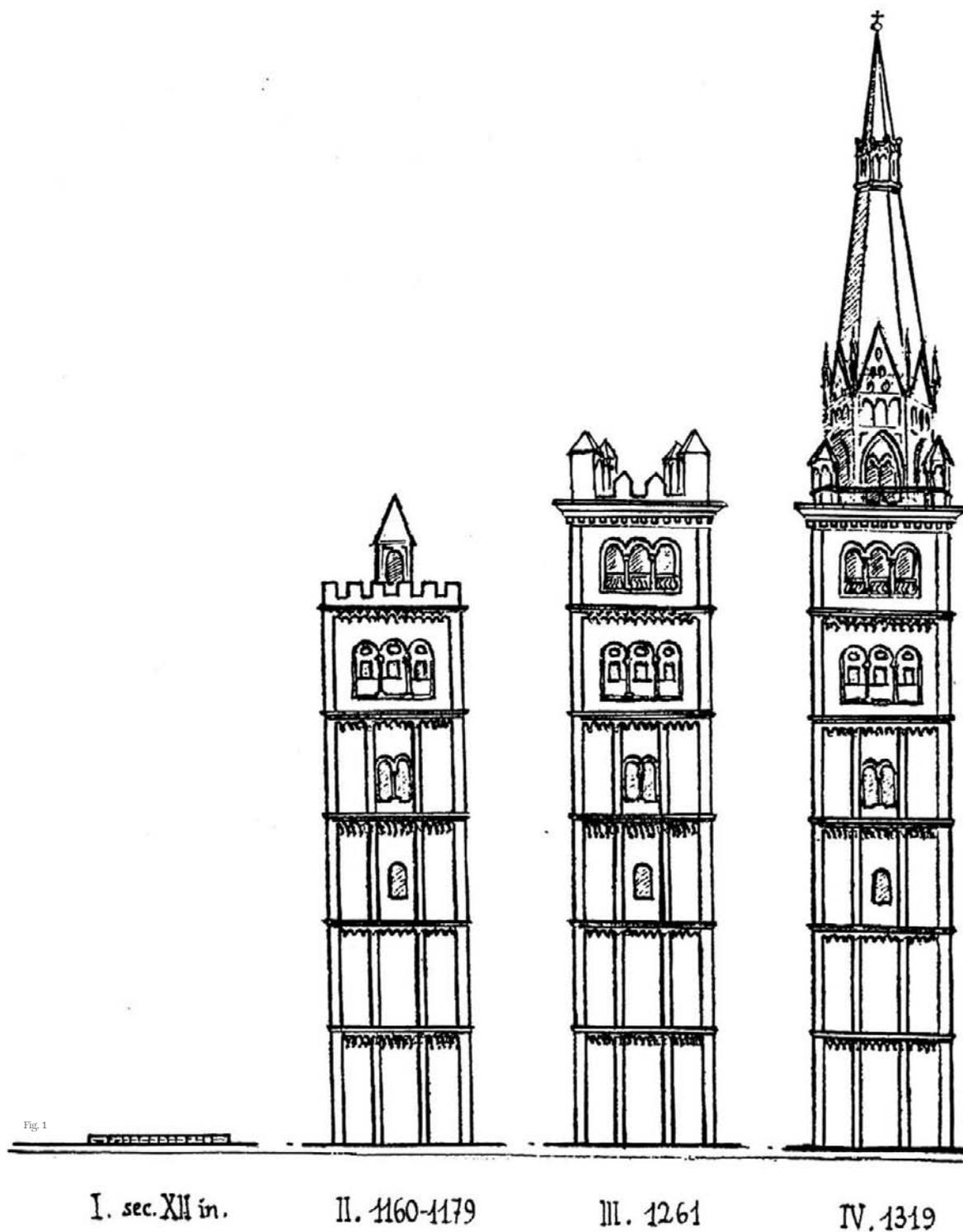
Secondo lo studioso, il progetto iniziale doveva prevedere solamente la costruzione dei primi quattro piani della torre, di cui il primo eretto entro il 1106 e gli altri databili entro il 1130, probabilmente in diretto rapporto modulare con le altimetrie e le proporzioni della zona absidale (fig. 1). Inoltre l'aspetto attuale della Ghirlandina, raggiunto in seguito a varie campagne lavorative, risulterebbe molto diverso da quello originariamente previsto da Lanfranco, anche se il suo primitivo carattere trasparirebbe ancora dalla struttura fortificata e merlata, con pochissime aperture nei primi due piani e con spesse mura. La differenziazione tra i primi quattro piani e il quinto, costruito successivamente, è resa manifesta dalla semplice osservazione della mancanza, in quest'ultimo, delle lesene, oltre al fatto che i capitelli delle trifore sono più tardi rispetto a quelli delle bifore sottostanti. Quintavalle sostiene poi che gli archetti presenti nel primo piano della torre, come quelli del Duomo, non sono un semplice elemento grafico per sottolineare le cornici, ma un elemento decorativo, poiché presentano alla base protomi umane e animali che riprendono quelle wiligelmiche presenti sulla cattedrale. Successivamente, in epoca campionesa, l'ornato plastico della Ghirlandina si sarebbe arricchito dal secondo piano in su e proprio a questa fase di ristrutturazione del paramento esterno sarebbero da attribuire numerose protomi degli archi e altre figure scolpite sul paramento esterno come la coppia con le mani nelle mani, il fromboliere e il suonatore di corno (identificati dallo studioso con Orlando e Olivieri), la figura con caprone (da altri interpretato come Sansone²⁹), David che suona e i capitelli della stanza dei torresani raffiguranti Davide e la danza e i Giudici.

Nella sua ricostruzione, quindi, Quintavalle sostiene che il quinto piano sia stato aggiunto dai Campionesi intorno agli anni 1160-1170, mentre il sesto sarebbe stato costruito entro il 1217, come attestano le cronache modenesi³⁰, che riportano per quell'anno la notizia di un fulmine che avrebbe colpito un *turricelum* o *torresello*; da ciò lo studioso deduce che il sesto piano con le torrette angolari era già stato realizzato. Quintavalle basa la sua ipotesi anche su una citazione, tratta dal Tiraboschi, secondo cui nel 1224 la parte quadrata della torre doveva essere già da qualche tempo compiuta³¹. Scelto da Lanfranco il luogo dove collocare la torre e gettate le fondamenta, secondo Roberto Salvini la costruzione nel suo complesso sarebbe stata totalmente campionesa, ovvero realizzata tra 1160 e 1179. L'unità di stile dei primi cinque piani lo spinge a rifiutare l'ipotesi di una fase costruttiva di epoca molto precedente, oltre al forte legame tra l'aspetto esteriore della torre e il transetto campionesa del Duomo datato 1179.

According to Quintavalle, the initial project would have only involved building the Tower's first four floors, the first of which was built by 1106, while the others are datable to before 1130, likely in a direct modular relationship with the apse area's heights and proportions (Fig. 1). The Ghirlandina's current appearance, achieved after numerous construction phases, would be very different from the one that Lanfranco planned, though its original character can still be discerned in the fortified, crenellated structure, with very few openings in the first two floors and with thick walls. The differentiation between the first four floors and the fifth floor, which was built later, is clear by simply observing the lack of pilasters on the fifth floor, as well as the fact that the capitals of the triple-lancet windows are more recent than those of the twin-lancet windows beneath them. Quintavalle maintains that the small arches on the Tower's first floor, like those in the Cathedral, are not a mere visual device for emphasizing the cornices. Rather they are a decorative element, as at the base they have human and animal protomes that echo those by Wiligelmo in the Cathedral. Later, in the Campionesa period, the Ghirlandina's sculptural decorations were added to from the second floor up. During this

stage of remodeling the exterior stonework, we can attribute the many protomes on the arches and other figures sculpted on the outside face, such as the couple holding hands, the slingman and horn player (identified by Quintavalle with Orlando and Olivieri), the figure with the billy goat (which others have interpreted as Samson²⁹), David Playing and the capitals of the *torresani's* rooms depicting *David and the Dance* and *The Judges*. In his reconstruction, Quintavalle maintains that the fifth floor would have been added by the Campionesi Masters around 1160-1170, and the sixth floor would have been built by 1217, as *Le Cronache Modenesi* attest³⁰, reporting the news from that year that lightning struck a *turricelum* or *torresello*; from this, Quintavalle infers that the sixth floor with the angular turrets had not yet been built. Quintavalle bases his theory partly on a quotation taken from Tiraboschi, according to which, in 1224, the square part of the Tower would have been complete for some time³¹. Though Lanfranco chose the site for the Tower and where to lay the foundation, according to Roberto Salvini, the Tower as a whole was completely the work of the Campionesi Masters, meaning it was completed between 1160 and 1179.

Fig. 1 Ipotesi delle fasi costruttive della torre secondo Arturo C. Quintavalle, (da Montorsi, William, *La Torre della Ghirlandina. Comacini e Campionesi a Modena, Aedes Muratoriana, Modena 1976*). Theory of the Tower's construction phases according to Arturo C. Quintavalle, (from Montorsi, William, *La Torre della Ghirlandina. Comacini e Campionesi a Modena, Aedes Muratoriana, Modena 1976*).



²⁸Vincenzo Maestri interpreta questo rilievo come Sansone che smascella il leone, pur con qualche incertezza dal momento che l'animale raffigurato non assomiglia a un leone. Il rilievo rappresenta una figura maschile barbata nell'atto di uccidere una capra o un caprone con un coltello.

²⁹Tassoni, Bazzano e Morano, *Cronache modenesi* cit., p. 28.

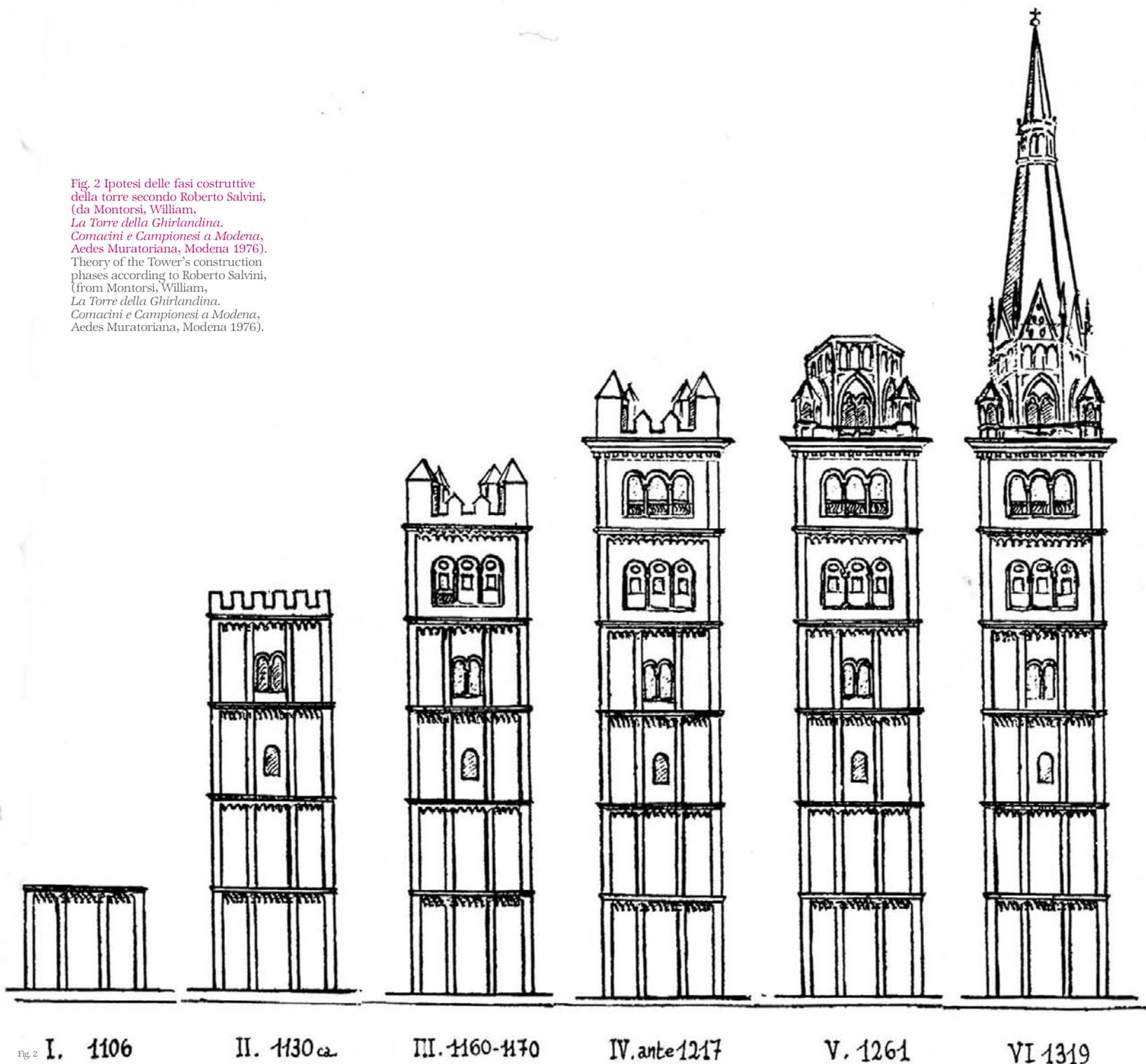
³⁰In realtà Tiraboschi non specifica fino a quale piano l'edificio fosse stato innalzato. Cfr. Tiraboschi, *Memorie Storiche Modenesi* cit., I, p. 136.

²⁸ Vincenzo Maestri interprets this relief as Samson tearing the lion's jaws, though with some doubt as the depicted animal does not look like a lion. The relief depicts a bearded male figure in the act of killing a goat or billy goat with a knife.

²⁹ Tassoni, Bazzano and Morano, *Cronache modenesi* quot., p. 28.

³⁰ In Tiraboschi does not actually specify to which floor the building was built. See: Tiraboschi, *Memorie Storiche Modenesi* quot., I, p. 136.

Fig. 2 Ipotesi delle fasi costruttive della torre secondo Roberto Salvini, (da Montorsi, William, *La Torre della Ghirlandina. Comacini e Campionesi a Modena, Aedes Muratoriana, Modena 1976*). Theory of the Tower's construction phases according to Roberto Salvini, (from Montorsi, William, *La Torre della Ghirlandina. Comacini e Campionesi a Modena, Aedes Muratoriana, Modena 1976*).



²²Salvini, Roberto, *Il Duomo di Modena e il Romanico nel modenese*, Cassa di Risparmio di Modena, Modena 1966, pp. 68-70.
 Del 12 maggio 1167 è una concessione rilasciata dal podestà imperiale di Modena e dai consoli ai massari *domus S. Geminiani* di scavare ed estrarre pietre lungo le strade e le piazze della città per soddisfare la grande necessità di materiale edilizio. Cfr. Vicini, Emilio Paolo, *Regesto della Chiesa Cattedrale di Modena*, Magliano, Roma 1936, II, n. 579, p. 42.
²³Orlandini, Maria Grazia e Ceccarelli, Carlo, *La Torre di Modena «La Ghirlandina»*, Artioli, Modena 1975, pp. 37-43.
²⁴Gandolfo, Francesco, *Problemi della Cattedrale di Modena*, in "Commentari: rivista di critica e storia dell'arte", 1971, XXII, pp. 124-155, in partic. pp. 152-155.

²⁵Montorsi, William, *La Torre della Ghirlandina. Comacini e Campionesi a Modena*, Aedes Muratoriana, Modena 1976.
 Nella parte finale della sua opera (pp. 296-303), Montorsi fa un interessante confronto riportando schematizzate in semplici prospetti le ipotesi formulate da Quintavalle e da Salvini oltre che la sua, accompagnate dalle rappresentazioni delle varie fasi d'innalzamento secondo le tre diverse teorie (si vedano le figg. 1-3).
²⁶Concorda con Montorsi anche il canonico Giuseppe Pistoni, che in una breve pubblicazione sul Duomo di Modena analizza in breve le varie fasi costruttive accettando la datazione 1169 come momento di interruzione dei lavori. Cfr. Pistoni, Giuseppe, *Duomo di Modena*, TEIC, Modena 1984, p. 41.

²⁷Salvini, Roberto, *Il Duomo di Modena e il Romanico nel modenese*, Cassa di Risparmio di Modena, Modena 1966, pp. 68-70.
 Dating 12 May 1167 is a concession issued by the imperial podestà of Modena and by the consuls to the *massari domus S. Geminiani* to excavate and extract stones along the city's streets and squares to meet the great demand for construction material. See: Vicini, Emilio Paolo, *Regesto della Chiesa Cattedrale di Modena*, Magliano, Roma 1936, II, n. 579, p. 42.
²⁸Orlandini, Maria Grazia and Ceccarelli, Carlo, *La Torre di Modena «La Ghirlandina»*, Artioli, Modena 1975, pp. 37-43.
²⁹Gandolfo, Francesco, *Problemi della Cattedrale di Modena*, in "Commentari: rivista di critica e storia dell'arte", 1971, XXII, pp. 124-155, in particular pp. 152-155.

³⁰Montorsi, William, *La Torre della Ghirlandina. Comacini e Campionesi a Modena*, Aedes Muratoriana, Modena 1976.
 In the final part of his work, (pp. 296-303), Montorsi makes an interesting comparison, briefly summarizing in simple tables the theories developed by Quintavalle and Salvini as well as his own, supported by depictions of the different phases of construction, according to the three different theories (see figures 1-3).
³¹The canon Giuseppe Pistoni also agreed with Montorsi. In a short publication about the Cathedral of Modena, he briefly analyzed the different construction phases, accepting the 1169 dating as the point at which construction was interrupted. See: Pistoni, Giuseppe, *Duomo di Modena*, TEIC, Modena 1984, p. 41.

In seguito, poi, la torre sarebbe stata sopraelevata nel 1261 di un piano, il sesto, munito di torrette angolari (fig. 2)³². Sostanzialmente concordi con l'idea di Salvini sono Maria Grazia Orlandini e Carlo Ceccarelli³³. L'unitarietà di stile dell'edificio li porta a ritenerlo costruito interamente nei suoi primi cinque piani tra 1160 e 1179, aggiungendo anche come siano ben visibili le presenze delle torrette angolari nella struttura muraria della stanza dei torresani.

Maggiormente interessato all'osservazione esterna della torre, Gandolfo³⁴ non entra nella disquisizione riguardante la possibile datazione tra il 1169 o il 1179. Il suo studio si focalizza su alcuni particolari strutturali: i primi tre cubi che compongono la torre sono perfetti, mentre il quarto è ribassato; le monofore del terzo piano sono molto più in alto vicino alla cornice marcapiano rispetto alle altre; nel quarto piano, poi, la bifora verso occidente viene tagliata internamente dalle scale mentre quella verso nord è murata per via della presenza del rampante della scala. Tutto ciò lo porta a pensare che i Campionesi abbiano messo mano a una costruzione che seguiva il progetto della ripetizione del modello cubico senza finestre. Nel subentrare ai lavori è probabile che la nuova maestranza abbia deciso di cambiare progetto aprendo le finestre, che sono evidentemente in contrasto con lo sviluppo interno delle scale. Analizzando poi l'inclinazione della torre Gandolfo constata che nei primi due piani la pendenza è uniforme, mentre nel terzo è massima e in questo piano ci sarebbe stata, secondo lo studioso, l'interruzione della mano lanfranchiana e il subentro di quella campionesa. Segue infatti il quarto piano, che non è più cubico, e l'introduzione delle finestre che potrebbero essere state un tentativo di alleggerimento della struttura. La correzione continua tra quarto e quinto piano e ancora di più tra quinto e sesto manifesta la presenza di interventi differenti.

Interamente dedicata alla torre Ghirlandina è l'opera del modenese William Montorsi del 1976³⁵. Analizzando le varie proposte avanzate dagli studiosi per l'interpretazione dell'iscrizione graffita presente sul lato est della torre, Montorsi accetta come veritiera quella che identifica il 1169 come anno di costruzione del quinto piano (*1169. Il quinto piano di questa torre fu costruito ed ornato*)³⁶. Lo studioso ipotizza che nel 1106 la torre lanfranchiana o comacina arrivasse al quarto piano e avesse una copertura a quattro spioventi di coppi; nel 1169 la torre doveva avere il quinto piano e una copertura a guglia piramidale o conica, mentre negli angoli della parte quadrata dovevano esserci edicolete minori (i *toreselli*). Nel 1261, poi, vennero aggiunti un sesto piano quadrato e un ulteriore piano a forma di prisma a base ottagonale con copertura a cuspide ed edicolete periferiche; contemporaneamente sarebbero stati

The unity of style for the first five floors prompts him to reject the theory that it was from a much earlier construction phase, backed by the strong connection between the Tower's exterior appearance and the Cathedral's Campionesa transept dated to 1179. At a later point, in 1261, the Tower would have been raised by a floor, the sixth one, with corner turrets (Fig. 2)³². Maria Grazia Orlandini and Carlo Ceccarelli³³ essentially agree with Salvini's idea. The Tower's unified style leads them to consider its first five floors to have been built entirely between 1160 and 1179, adding that there is also the clearly visible presence of corner turrets in the wall structure of the *toresani's* quarters. Gandolfo³⁴ is more interested in observing the Tower from the outside and does not enter into the lengthy debate about the possible 1169 or 1179 dating. His study focuses on certain structural specifics: the first three cubes of the Tower are perfect, while the fourth cube is dropped; the single-lancet windows of the third floor are much higher near the stringcourse than the others; on the fourth floor, the western-facing double-lancet window is cut internally by the stairways; and the northern-facing one is walled because of the flight of stairs. All this leads him to think that the Campionesi Masters had been involved in the construction that followed the plan for the repetition of the windowless cubic model. In taking over the work, it is likely that the new workers decided to change the design, opening the windows, which clearly

contrast with the stairways internal development. Analyzing the Tower's inclination, Gandolfo notes that the slope is uniform on the first two floors, while on the third it is a maximum slope. According to Gandolfo, on the third floor, Lanfranco's involvement was interrupted and replaced by the Campionesa Masters. It is followed by the fourth floor, which is no longer cubic. The introduction of the windows may have been an attempt to lighten the structure's weight. The constant correction between the fourth and fifth floor and even more between the fifth and sixth floor evinces the existence of different operations. A work by the Modenese art historian William Montorsi in 1976³⁵ is dedicated completely to the Ghirlandina Tower. Analyzing the different suggestions by scholars for interpreting the scratched inscription on the Tower's eastern side, Montorsi accepts the one identifying 1169 as the year of construction of the fifth floor as accurate (*1169. The fifth floor of this tower was built and decorated*)³⁶. He theorizes that in 1106 the Tower by Lanfranco or Comacini came to the fourth floor and had a curved tile roof with four slopes. In 1169, the Tower would have had the fifth floor and the roof with a spire in the form of a pyramid or cone, and the corners of the square part would have been small niches (the *toreselli*). In 1261, a square sixth floor was added along with another floor with a prisma form and octangular base with a cusp and small niches on the periphery;

realizzati internamente i pilastri angolari di consolidamento e sarebbero state impiantate le scale (fig. 3).

Verso una datazione prossima al 1179 si orienta invece Carlo G. Mor in uno studio risalente al 1941 dedicato al cosiddetto “capitello dei Giudici”, collocato al vertice di una colonnetta al quinto piano della torre, in relazione all’iconografia della giustizia che vi è rappresentata e al significato che rivestirebbe in rapporto alle tendenze della cultura giuridica che in quegli anni si sarebbe diffusa anche a Modena³⁷.

L’analisi della decorazione del rivestimento esterno compiuta da Luciano Serchia³⁸ lo porta a sostenere che la veste primitiva, conferita alla torre nel periodo lanfranchiano e quindi nei primi quattro piani, doveva essere abbastanza severa e probabilmente priva delle cornici marcapiano. Le paraste angolari si sarebbero raccordate a semplici fasce orizzontali a rilievo, scandite da archetti pensili privi di mensole. Addirittura le fasce non avrebbero dovuto necessariamente corrispondere ai ripiani interni, dato che, come già sostenuto anche da Arsenio Crespellani³⁹, la parte interna era un vano unico, con semplici scale di legno per salire alla zona delle campane. I rilievi del primo periodo, più elementari nei mezzi espressivi, si mostrerebbero perciò sensibilmente differenti da quelli della parte superiore dove, con l’avvento dei Campionesi, il paramento esterno si sarebbe modificato, arricchendosi di cornici e archetti pensili semplici e intrecciati. Del resto, la non perfetta corrispondenza tra paraste e arcature nei punti di intersezione dimostrerebbe proprio la presenza di queste modifiche e aggiunte posteriori.

La maggior parte degli studiosi attribuisce quindi la fine della prima campagna lavorativa agli anni tra il 1169-1170 e il 1179, corrispondente al periodo in cui i Campionesi risultano impegnati stabilmente sia nei lavori del Duomo che nella costruzione della torre. Un’ipotesi differente e tutta da verificare è quella che propone Saverio Lomartire sottolineando come la data 1169 o 1179 sia sempre stata considerata il momento di completamento dei primi cinque piani della torre, mentre potrebbe stare a indicare l’inizio dell’edificazione del terzo piano. La collocazione della lastra con l’iscrizione nella parte inferiore dell’edificio lo spinge infatti a dubitare che l’epigrafe faccia riferimento a una zona della torre così distante. Inoltre il mutamento nello stile delle sculture del terzo piano rispetto ai primi due, oltre che alcuni elementi della struttura architettonica, ovvero la posizione rialzata delle finestre monofore, conseguenza di una possibile variazione rispetto al progetto iniziale, e la correzione a questo livello della pendenza della torre, potrebbero sostenere questa nuova ipotesi⁴⁰.

at the same time, inside the corner reinforcement columns would have been built and the stairways would have been laid (Fig. 3).

Carlo G. Mor prefers a dating around 1179 in a study from 1941 focused on the *capitello dei Giudici* placed on the top of a small column on the Tower’s fifth floor based on the iconography of justice depicted on it and the meaning that it would have had in relationship to the trends of the legal culture which would have become widespread in Modena at that time³⁷. Luciano Serchia³⁸’s analysis of the outside cladding’s decoration led him to maintain that the original exterior, made for the Tower during the Lanfranco period, and therefore for the first four floors, must have been quite austere and likely lacking stringcourses.

The corner pilasters would have been connected to the simple horizontal relief bands, paced by small blind arches without consoles. The bands would in fact have corresponded to the interior shelves, given that the interior was a single compartment with simple wood stairs leading to bell area, as Arsenio Crespellani³⁹ has also said. The reliefs from the first period, which are more basic in their expressive tools, would therefore appear notably different than those on the upper part, where, with the arrival of the Campionesi Masters, the external stonework would have been modified, decorated by cornices

and simple, interwoven small blind arches. Moreover, the lack of perfect correspondence between the pilasters and small arches at the points of intersection would show the presence of these modifications and later additions. Ultimately, based on the analysis of the critical debate, the end of the first construction phase has been attributed by most scholars to the years between 1169-70 and 1179, corresponding to the period when the Campionesi Masters appear to have been regularly engaged in the construction of both the Cathedral and the Tower. Another theory, which is yet to be assessed, has been proposed by Saverio Lomartire, who emphasizes that though the 1169 or 1179 date was always considered the time of completion of the first five floors of the Tower, it could actually mark the start of construction of the third floor. The placement of the inscription slab on the lower part of the building leads him to doubt that the inscription would refer to such a distant part of the Tower. This new theory could also be supported by the change of the style in sculptures from the third floor compared to the first two, as well as some elements of the architectural structures, such as the raised position of the single-lancet windows, possibly the result of a variation from the original design, and the correction of the Tower’s slope at this level⁴⁰.

Fig. 3 Ipotesi delle fasi costruttive della torre secondo William Montorsi, (da Montorsi, William, *La Torre della Ghirlandina. Comacini e Campionesi a Modena, Aedes Muratoriana, Modena 1976*). Theory of the Tower's construction phases according to Roberto Salvini, (from Montorsi, William, *La Torre della Ghirlandina. Comacini e Campionesi a Modena, Aedes Muratoriana, Modena 1976*).

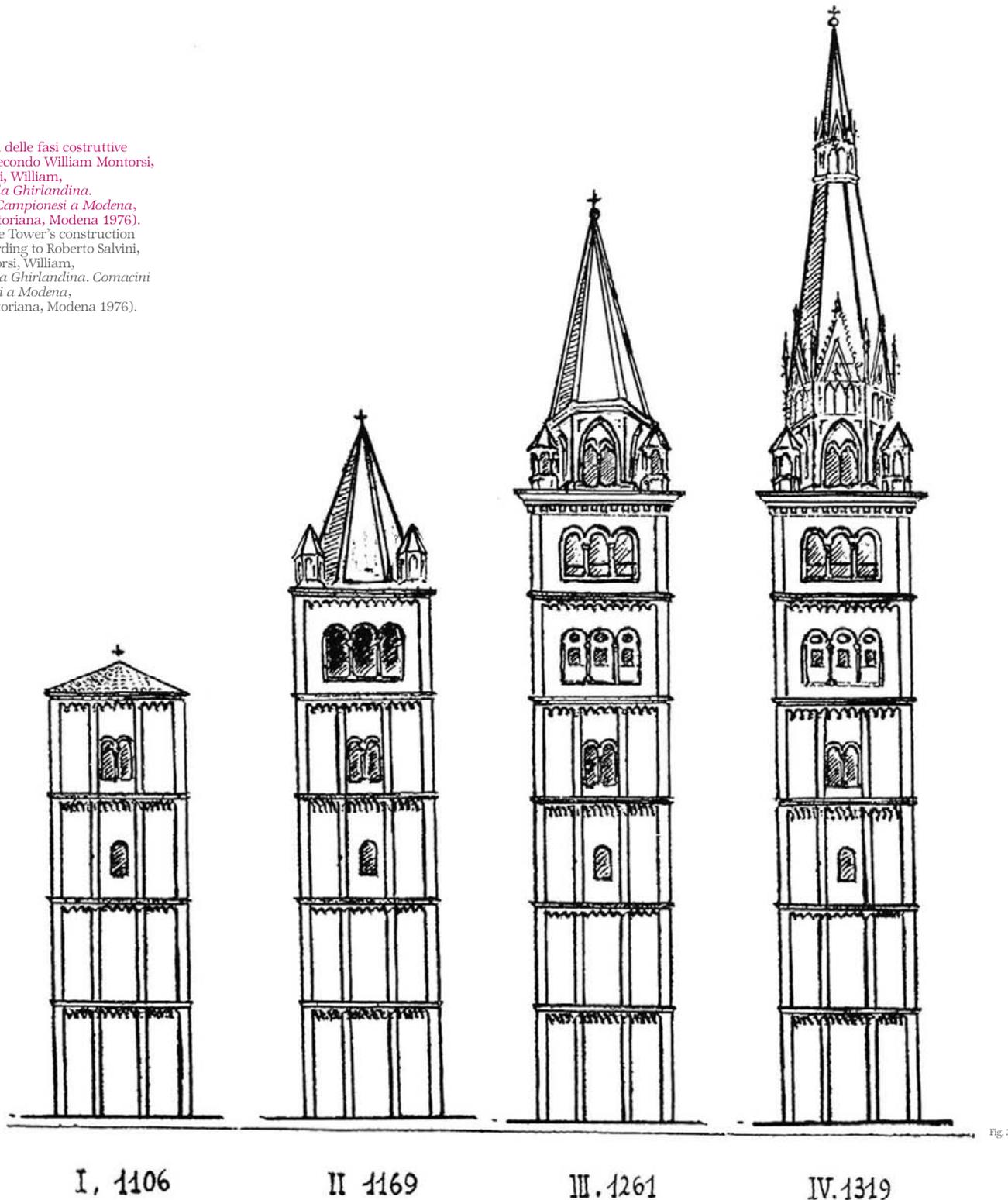


Fig. 3

²⁷Giovanni Santini, in anni più recenti, propende a datare tale manufatto tra il 1159 e il 1169, anticipando leggermente l'intervallo temporale (1169-79) verso il quale convergono maggiormente le analisi degli storici dell'arte. Cfr. nota 26.
²⁸Serchia, Luciano, *Studi e interventi sulla Ghirlandina*, in Acidini Luchinat Cristina, Serchia Luciano e Piconi Sergio, *I restauri del Duomo, 1875-1984*, Panini, Modena 1984, pp. 173-186, in partic. pp. 173-175 e pp. 186-187, nota 12; Grandi, *I Campionesi a Modena cit.*, pp. 545-570, in partic. p. 546.

²⁹Crespellani aggiunge anche che la torre aveva una scala in marmo che saliva fino all'abitazione del torresano, poi una scaletta a chiocciola fino alle campane e infine una scala interna di legno fino all'ultima ghirlandina. Cfr. Crespellani, *Guida popolare di Modena cit.*, p. 63; Id., *Scavi del Modenese (1898). Relazione cit.*, pp. 263-264.
³⁰Lomartire, Saverio, *I Campionesi al Duomo di Modena*, in *I Maestri Campionesi*, a cura di Rossana Boscaglia e Gian Alberto Dell'Acqua, Edizioni Bolis, Bergamo 1992, pp. 37-81.

³¹Giovanni Santini, in more recent years, prefers dating the construction between 1159 and 1169, slightly earlier than the period (1169-79) towards which most art historians' analyses converge. See: note 26.
³²Serchia, Luciano, *Studi e interventi sulla Ghirlandina*, in Acidini Luchinat Cristina, Serchia Luciano and Piconi Sergio, *I restauri del Duomo, 1875-1984*, Panini, Modena 1984, pp. 173-186, in particular pp. 173-175 and pp. 186-187, note 12; Grandi, *I Campionesi a Modena quot.*, pp. 545-570, in particular p. 546.

³³Crespellani adds that the Tower had a marble stairway that went up to the torresani lodging, then a spiral stairway to the bells and finally an internal wood stairway up to the last ring. See: Crespellani, *Guida popolare di Modena quot.*, p. 63; Id., *Scavi del Modenese (1898). Relazione quot.*, pp. 263-264.
³⁴Lomartire, Saverio, *I Campionesi al Duomo di Modena*, in *I Maestri Campionesi*, edited by Rossana Boscaglia and Gian Alberto Dell'Acqua, Edizioni Bolis, Bergamo 1992, pp. 37-81.

Fig. 4 Bottega degli Erri, *Pala dell'Oratorio della Morte*, (part.), 1461-1466, Modena, Galleria Estense, (da Benati, Daniele, *La bottega degli Erri e la pittura del Rinascimento a Modena*, Modena 1988). Bottega degli Erri, *Pala dell'Oratorio della Morte*, (part.), 1461-1466, Modena, Galleria Estense.



3. Ultime fasi costruttive

Le fasi successive dell'evoluzione dell'edificio non sono state oggetto di dibattito, in quanto la presenza di più circostanziate fonti scritte ha permesso di conoscere con certezza gli interventi apportati alla torre nei periodi successivi.

Tra le primissime informazioni desunte dalle cronache modenesi si viene a sapere che la Ghirlandina era stata dotata di una campana portata come trofeo di guerra dal castello di Ponte Duca nel 1214⁴¹. Un'altra notizia, già presa in considerazione da Quintavalle⁴², riguarda i primi danni alla torre avvenuti nel 1217 e ci informa che la Ghirlandina, anche nelle fasi intermedie di innalzamento, era coronata da quattro torrette angolari i cui lati esterni, come riporta il Sandonnini, erano pieni, mentre gli altri due presentavano arcate sostenute da una colonna di marmo di forme arcaiche⁴³.

Riguardo ai successivi interventi sono ancora una volta le cronache modenesi che ci attestano con sicurezza che nel 1261 si era conclusa la seconda fase costruttiva nella quale il campanile aveva raggiunto il sesto piano d'altezza (1261. *Eodem anno elevata fuit turris... a quadro supra ubi sunt campanae...*) e che alle dimensioni definitive della torre si era arrivati solo nel 1319, quando Enrico da Campione aveva portato a compimento la parte terminale ottagonale sormontata da una sfera di rame dorato (1319. *Eodem anno campanile turris Maioris Ecclesie Mutine expletum fuit et pomum deauratum in sumitate positum...*)⁴⁴.

Gli studiosi sono poi concordi nel sostenere che al XIV secolo risalgono anche le decorazioni di gusto gotico un tempo presenti nella parte piramidale della torre: le edicolette cuspidate poste ai quattro angoli sopra al basamento quadrato e, ancora più in alto, sopra la loggia ottagonale, i frontoni a timpano isoscele con pinnacoli (fig. 4)⁴⁵. Infine, ancora dalle cronache si apprende che nel 1338 la torre venne congiunta al Duomo tramite arcate volte probabilmente anche a rallentarne l'inclinazione in direzione della cattedrale⁴⁶.

⁴¹Tassoni, Bazzano, Morano, *Cronache modenesi* cit., p. 28; Panini, *Cronica della Città di Modena* cit., pp. 65-66. Le altre campane erano state collocate successivamente, nel 1279, nel 1342 e nel 1348, cfr. Tassoni, Bazzano, Morano, *Cronache modenesi* cit., p. 236. Il campanone o campana di S. Omobono di Battista Censore risale al 24 settembre 1639, cfr. Chellini e Pancaldi, *Guida storico-artistica di Modena* cit., p. 48.

⁴²Quintavalle, *La cattedrale di Modena* cit., I, p. 250.

⁴³Tassoni, Bazzano e Morano, *Cronache modenesi* cit., p. 28; Sandonnini, *Della torre della Cattedrale* cit., p. XVI; Cavani, Francesco, *Pendenza, stabilità e movimento delle torri. La Garisenda di Bologna e la Ghirlandina di Modena*, Tipografia Gamberini

e Parmeggiani, Bologna 1903, tavola n. III.

⁴⁴Tassoni, Bazzano e Morano, *Cronache modenesi* cit., pp. 59 e 133.

⁴⁵Montorsi, *La Torre della Ghirlandina* cit., p. 300; Giovannini, Carlo, *L'attività dei Maestri Campionesi sulla Ghirlandina agli inizi del Trecento: documenti inediti*, in Baracchi e Giovannini, *Il Duomo e la Torre di Modena* cit., pp. 19-28, in partic. pp. 23-24. Nel corso del XVII secolo le modifiche e i restauri apportati alla parte superiore dell'edificio comportarono la rimozione dell'ornamentazione gotica più appariscente. Si veda negli allegati la sezione riguardante i restauri antichi della torre.

⁴⁶Tassoni, Bazzano e Morano, *Cronache modenesi* cit., p. 230.

3. Final construction phases

The final phases of the building's construction have not been a subject of debate as there are circumstantial written sources that let us know with certainty about the work done on the Tower in later periods. Among the earliest information found in the *Cronache Modenesi* we learn that the Ghirlandina was equipped with a bell taken as war spoils from the castle of Ponte Duca in 1214⁴¹. Another piece of news, which Quintavalle⁴² already considered, has to do with the first damage to the Tower in 1217, which informs us that in the intermediate construction phases, the Ghirlandina was already topped with four corner turrets whose exterior sides, as Sandonnini notes, were solid; the other two sides had arcades supported by a marble column of archaic forms⁴³. About subsequent work, the *Cronache Modenesi* once again inform us with certainty that in 1261 the second construction phase was completed in which

the bell tower had reached the sixth floor (1261. *Eodem anno elevata fuit turris... a quadro supra ubi sunt campanae...*) and that the Tower's final size was only achieved in 1319, when Enrico da Campione completed the last octagonal part topped by a golden copper sphere (1319. *Eodem anno campanile turris Maioris Ecclesie Mutine expletum fuit et pomum deauratum in sumitate positum...*)⁴⁴. Scholars agree that the gothic-style decorations that were once on the Tower's pyramidal section also date to the 14th century. They included cusped small niches on the four corners above the square base, and further up, under the octagonal loggia, the pediments with the isosceles tympanum with pinnacles (Fig. 4)⁴⁵. Finally, the *Cronache* also tell us that in 1338 the Tower was joined by the Cathedral through arched vaults, likely to help slow its leaning in the direction of the Cathedral⁴⁶.

⁴¹Tassoni, Bazzano, Morano, *Cronache modenesi* quot., p. 28; Panini, *Cronica della Città di Modena* quot., pp. 65-66. The other bells were placed later, in 1279, 1342 and 1348, see: Tassoni, Bazzano, Morano, *Cronache modenesi* quot., p. 236. The great bell or S. Omobono bell by Battista Censore dates to 24 September 1639, see: Chellini and Pancaldi, *Guida storico-artistica di Modena* quot., p. 48.

⁴²Quintavalle, *La cattedrale di Modena* quot., I, p. 250.

⁴³Tassoni, Bazzano e Morano, *Cronache modenesi* quot., p. 28; Sandonnini, *Della torre della Cattedrale* quot., p. XVI; Cavani, Francesco, *Pendenza, stabilità e movimento delle torri. La Garisenda di Bologna e la Ghirlandina di Modena*, Tipografia Gamberini e Parmeggiani, Bologna 1903, plate n. III.

⁴⁴Tassoni, Bazzano e Morano, *Cronache modenesi* quot., p. 59, p. 133.

⁴⁵Montorsi, *La Torre della Ghirlandina* quot., p. 300; Giovannini, Carlo, *L'attività dei Maestri Campionesi sulla Ghirlandina agli inizi del Trecento: documenti inediti*, in Baracchi and Giovannini, *Il Duomo e la Torre di Modena* quot., pp. 19-28, in particular pp. 23-24. During the 16th century, the modifications and restoration done on the building's upper part led to removing the most conspicuous gothic ornamentation. See appendices in the section about the Tower's historic restorations.

⁴⁶Tassoni, Bazzano e Morano, *Cronache modenesi* quot., p. 230.

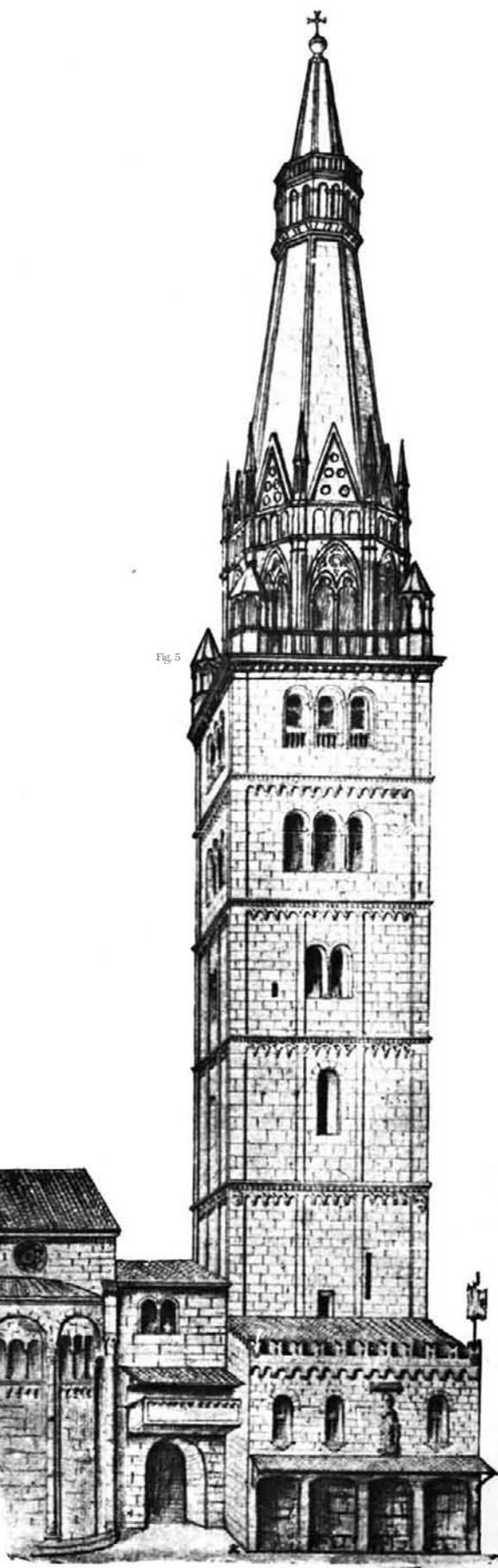


Fig. 5

Fig. 5 Torre di Modena,
(da Cavani, Francesco, *Pendenza,
stabilità e movimento
delle torri. La Garisenda di Bologna
e la Ghirlandina di Modena*,
Tip. Gamberini e Parmeggiani,
Bologna 1903).

Tower of Modena, before 1261
and before it was connected
to the Cathedral, (from Cavani,
Francesco, *Pendenza, stabilità
e movimento delle torri.
La Garisenda di Bologna
e la Ghirlandina di Modena*,
Tip. Gamberini e Parmeggiani,
Bologna 1903).

Nella pagina a fianco:
*Sezione e pianta del sotterraneo
della Ghirlandina, Modena,*
Archivio Storico Comunale,
Cartografia 7 bis, fasc. VII bis.

Front page:
*Section and plan of Ghirlandina's
basement, Modena,*
Archivio Storico Comunale,
Cartografia 7 bis, fasc. VII bis.

⁴⁷Dondi, *Notizie storiche ed artistiche
del Duomo* cit., p. 263.
⁴⁸Spinelli, Alessandro Giuseppe,
*Gli archi fra il Duomo e la Ghirlandina
di Modena*, in "La Provincia di Modena",
9-10 luglio 1903, pp. 5-8.
⁴⁹Cavani, *Pendenza, stabilità
e movimento delle torri* cit., tavole II, III, IV, V.

⁴⁷Dondi, *Notizie storiche ed artistiche
del Duomo* quot., p. 263.
⁴⁸Spinelli, Alessandro Giuseppe,
*Gli archi fra il Duomo e la Ghirlandina
di Modena*, in "La Provincia di Modena",
9-10 luglio 1903, pp. 5-8.
⁴⁹Cavani, *Pendenza, stabilità
e movimento delle torri* quot., plates II, III, IV, V.

Dondi riferisce che sopra agli archi a sesto acuto e tra i due muri di congiunzione erano stati edificati una piccola sagrestia e un ambiente di passaggio tra Duomo e torre. Per accedere alla sagrestia dal piano superiore della basilica era comunque necessario percorrere una scala e forse proprio per questo motivo nel 1544 si effettuarono dei lavori per abbassare le volte delle arcate all'altezza del piano della basilica e costruire una camera inferiore e una superiore, in cui si trasferì l'archivio⁴⁷.

Alessandro Giuseppe Spinelli sostiene l'esistenza di documenti, di cui però non fornisce gli estremi, che proverebbero la presenza degli archi, per la cui costruzione fu ordinato materiale a Verona, già alla metà del XIII secolo⁴⁸. Dello stesso parere è Francesco Cavani⁴⁹, che nel suo studio sulla stabilità della torre realizza delle tavole nelle quali pone a confronto le varie fasi di costruzione della Ghirlandina e, in particolare, il cambiamento nel corso del tempo della struttura di congiunzione con il Duomo. Tale struttura sarebbe stata edificata prima del 1261 e sarebbe stata caratterizzata da archi a sesto acuto e da una finestra bifora. Tra il 1319 e la fine del XVI secolo la zona di congiunzione avrebbe presentato archi a tutto sesto, un balcone e una bifora; l'altezza della costruzione tuttavia non sarebbe cambiata.

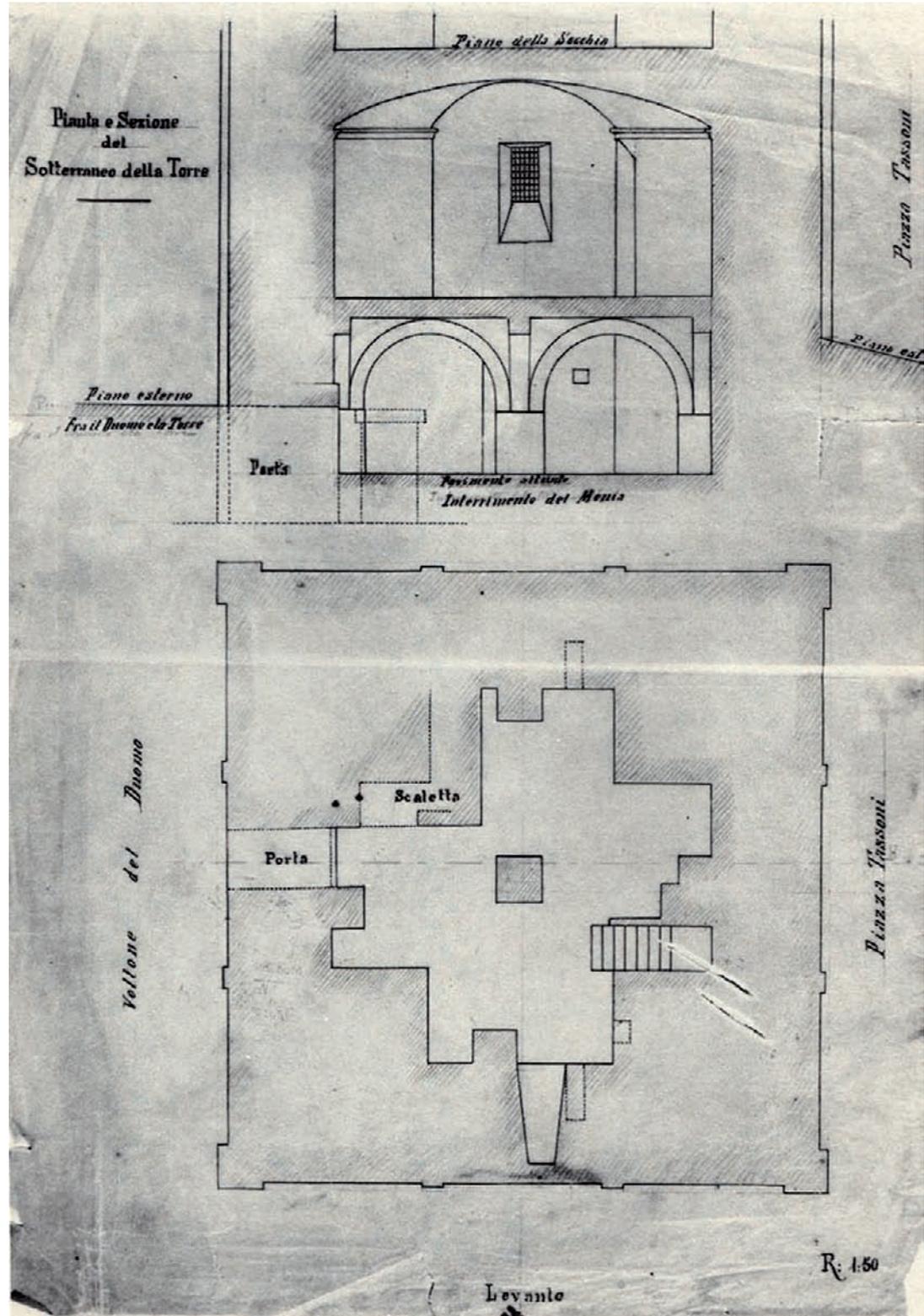
Dalla fine del XVI secolo fino al momento precedente alla trasformazione del fabbricato, nel 1900, la struttura avrebbe mantenuto gli archi a tutto sesto, ma, essendo stata innalzata di un piano, avrebbe avuto una finestra a tutto tondo al posto del balcone e un'altra finestra a tutto sesto nella parte superiore (fig. 5). Dalla fine del Quattrocento è iniziata per la torre Ghirlandina una fase nuova, segnata dai numerosi e continui interventi di restauro che si sono susseguiti fino ai giorni nostri e che vengono documentati nella sezione riguardante le campagne di manutenzione e restauro inserita tra gli allegati multimediali al presente volume.

Dondi tells us that above the pointed arches and between the two joining walls, a small sacristy and a passage between Cathedral and Tower had been built.

A stairway had to be used to access the sacristy from the basilica's upper floor. Perhaps for this reason, in 1544, work was

done to lower the arcades' vaults to the height of the basilica's floor and build one lower room and one upper room to which the archive was moved⁴⁷. Alessandro Giuseppe Spinelli maintains that there were documents, for which he does however not provide the specifics, which would prove

that the arches were already there in the middle of the 13th century, and that material for them was ordered from Verona⁴⁶. Francesco Cavani⁴⁹ shares this opinion. In his study on the Tower's stability, he makes tables in which he compares the different construction phases of the Ghirlandina, particularly the change over time of the structure connecting it to the Cathedral. This structure would have been built before 1261, featuring pointed arches and a twin-lancet window. Between 1319 and the late 16th century, the connection area would have had round arches, a balcony and a twin-lancet window; however, the structure's height would not have changed. From the end of the 16th century until right before its modification in 1900, the structure would have still had its round arches. Though, as it had been raised by a floor, it would have had a round window in place of the balcony and another round window in the upper part (Fig. 5). Starting in the late 15th century, a new phase began for the Ghirlandina Tower marked by numerous, ongoing restoration projects that continue until the present day and are documented in the section about the maintenance and restoration phases included in the multimedia attachments to this book.



IL CONTRIBUTO DELL'ARCHEOLOGIA ALLA LETTURA DI UN MONUMENTO

ARCHEOLOGY'S CONTRIBUTION TO UNDERSTANDING A MONUMENT

Donato Labate

Fig. 1 Via Lanfranco (scavi del 1989), muri di fondazione: in primo piano muro curvilineo altomedievale; in mezzo, muro rettilineo della cattedrale prelanfranchiana; sullo sfondo muro di fondazione del Duomo (Foto Soprintendenza per i Beni Archeologici dell'Emilia-Romagna).

Via Lanfranco (1898 excavations), foundation walls: in the foreground is the late medieval curved wall; in the middle, the straight wall of the pre-Lanfranco cathedral; in the background the Cathedral's foundation wall (Photo from the Superintendency for the Archeological Heritage of Emilia-Romagna)



Fig. 1

Premessa

Nel 1899 la realizzazione di un sondaggio di accertamento ai piedi della Ghirlandina mise in luce sia il paramento delle fondazioni, realizzate con il reimpiego di laterizi di età romana (la cui base fu intercettata a circa 5,4 m di profondità), sia il basolato di una strada romana rinvenuto a circa 4,9 m di profondità. Nell'esposizione degli scavi Tommaso Sandonnini focalizza la sua attenzione al paramento murario delle fondazioni, regolare nella parte superiore irregolare in quella inferiore, ravvisando in quest'ultimo la testimonianza di una torre più antica, da lui ritenuta di età longobarda, e utilizzata come base per la costruzione della Ghirlandina¹.

Il basolato della strada romana riferito all'antica Via Emilia² è stato inoltre intercettato a circa 5,2 m in un carotaggio meccanico effettuato nel 1981 sul lato orientale della torre³. Questi dati correlati ad altre indagini archeologiche condotte tra il 1987 e il 1989 in piazza Torre, via Lanfranco (figg. 1, 4, 10) e Piazza Grande, ad altri rinvenimenti di piazza Mazzini (1938), piazza XX settembre (1997) e via Selmi (1985-1986), e a diversi carotaggi meccanici effettuati nella stessa zona nel 1984⁴, sono stati integrati dalle nuove indagini (2007-2008), consistenti in quindici carotaggi meccanici (figg. 1, 2a), che il Comitato scientifico per il restauro della Ghirlandina ha richiesto per definire con maggiore dettaglio il quadro conoscitivo del sottosuolo: la successione stratigrafica dei depositi antropici e naturali e le loro caratteristiche geotecniche, gli elementi distintivi delle fondazioni della torre, la determinazione dello sprofondamento e dell'assestamento della Ghirlandina (cfr. *infra* contributo di Renato Lancellotta).

Il contributo dell'archeologia alla lettura del monumento si è articolato su tre finalità: lettura dei depositi antropici conservati nel sottosuolo per determinare la cronologia e comprendere l'evoluzione del tessuto urbanistico nell'area del complesso monumentale (Duomo-Ghirlandina); specificazione, tramite la lettura delle stratigrafie archeologiche, della quota del piano di calpestio dell'XI-XII secolo, relativo al momento di costruzione del Duomo e della Ghirlandina, per valutare con maggiore dettaglio l'entità dell'assestamento e sprofondamento della Ghirlandina; lettura archeologica degli alzati per precisare le principali fasi costruttive della Ghirlandina.

Introduction

In 1899, an investigatory survey performed at the base of the Ghirlandina revealed both the face of the foundations, made reusing Roman era bricks (whose base was found at approximately 5.4 m deep) and the flagstones of a Roman road (found about 4.9 m deep). Tommaso Sandonnini's examination of the excavations focuses on the foundations' wall face, which are regular on the upper part and irregular on the lower part, where he sees evidence of an older tower, which he believes is from the Longobard age and was used as the base to build the Ghirlandina¹.

The flagstones of the Roman road from the historic Via Emilia² were also found at about 5.2 m in a mechanical core sampling in 1981 on the Tower's eastern side³.

These data were correlated to other archeological investigations between 1987 and 1989 in Piazza Torre, Via Lanfranco (Figs. 1, 4, 10) and Piazza Grande and other discoveries in Piazza Mazzini (1938), Piazza XX Settembre (1997) and Via Selmi (1985-1986), as well as to several mechanical core samplings from the same area done in 1984⁴.

They were supplemented by new surveys (2007-2008) involving 15 mechanical core samplings (Fig. 1, 2a). The Scientific Committee for the Ghirlandina's restoration ordered these samplings to define the knowledge base about the subsurface in greater detail, including the stratigraphic succession of man-made and natural deposits and their geotechnical characteristics, the

distinctive elements of the Tower's foundation, and determination of the Ghirlandina's sinking and settlement (see Renato Lancellotta in this publication). Archeology's contribution to understanding this monument had three objectives: to interpret the man-made deposits preserved in the subsurface to determine their chronology and understand the development of the urban system in the area of the monument complex (the Cathedral and the Ghirlandina); to specify, by reading archeological stratigraphies, the level of the walking surface in the 11th-12th century, in relationship to when the Cathedral and the Ghirlandina were built, to determine in greater detail the Ghirlandina's degree of sinking and settling; archeological interpretation of the elevations to determine the Ghirlandina's main construction phases.

¹Sandonnini 1983, pp. 22-24; i rilievi sono riportati in Acidini Luchinat, Serchia, Piconi 1984, in partic. cfr. pp. 168-174.

²Sandonnini 1983, pp. 22-24.
³Profili dei carotaggi realizzati nel 1981, nel 1984 dall'Intergeo in Piazza Grande, piazza Torre e piazza delle Ove, Archivio Soprintendenza per i beni archeologici

dell'Emilia-Romagna, Modena B/5, Piazza Grande (tavole senza relazione).

⁴Iv, Bergonzini et al. 1988; Cremaschi-Gasperini 1988; Gelichi 1988; Malnati 1988; Cerchi-Losi-Sghedoni 1998; Cattani 1988; Labate-Malnati 1988; Giordani 1998; Cardarelli et al. 2001.

¹Sandonnini 1983, pp. 22-24; The surveys are reported in Acidini Luchinat, Serchia, Piconi 1984, in particular See: pp. 168-174

²Sandonnini 1983, p. 22-24
³Profili dei carotaggi realizzati nel 1981, nel 1984 dall'Intergeo in Piazza Grande, Piazza Torre e Piazza delle Ove, Archivio

Soprintendenza per i Beni Archeologici dell'Emilia Romagna, Modena B/5, Piazza Grande (Tables without report).

⁴Iv, Bergonzini et al. 1988; Cremaschi-Gasperini 1988; Gelichi 1988; Malnati 1988; Cerchi-Losi-Sghedoni 1998; Cattani 1988; Labate-Malnati 1988; Giordani 1998; Cardarelli et al. 2001.

Il sottosuolo

Sulla base di tutta la documentazione disponibile è stato possibile ricostruire un profilo stratigrafico dell'area di Piazza Grande-torre Ghirlandina e indicare la successione e lo spessore dei depositi alluvionali e antropici dall'età romana all'età contemporanea (fig. 2). A questo elaborato si fa riferimento per la descrizione del sottosuolo.

The subsurface

Based on all available documentation, a stratigraphic profile of the Piazza Grande – Ghirlandina Tower could be reconstructed, showing the succession and depth

of flood and man-made deposits from the Roman age to the contemporary one (Fig. 2). The description of the subsurface is based on this document.

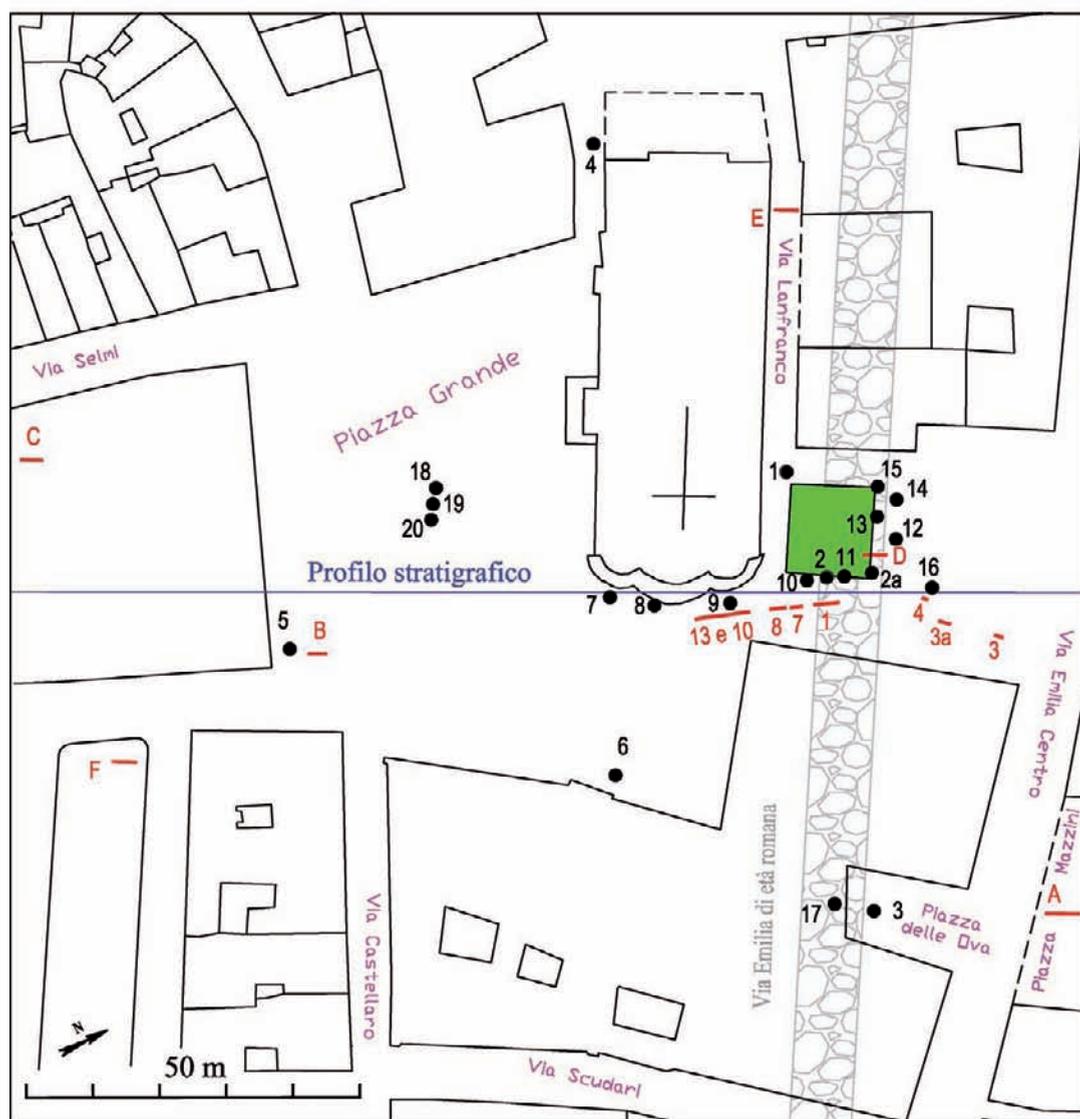


Fig. 2a

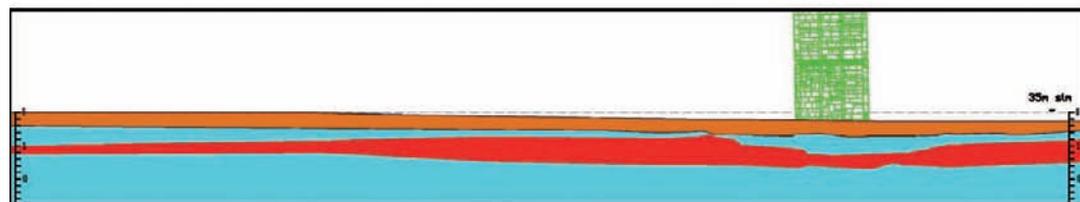


Fig. 2b

Fig. 2a Planimetria con ubicazione degli scavi (in rosso, scavi A-F, sezioni 1-13) e dei carotaggi (in nero, 1-20) presi in esame per ricostruire il profilo stratigrafico del sottosuolo. I carotaggi 7-20 sono stati realizzati nel 2007-8. In verde è indicata la Ghirlandina costruita sopra la via antica Emilia.

Fig. 2b Profilo stratigrafico del sottosuolo: sono indicati in rosso i depositi archeologici di età romana, in marrone i depositi archeologici di età medievale/moderna, in azzurro i depositi alluvionali. In verde la Ghirlandina.

Fig. 3 Carotaggio meccanico obliquo ai piedi della Ghirlandina (2007). Oblique mechanical core sampling at the base of the Ghirlandina (2007).

Fig. 4 Via Lanfranco (scavo del 1989), muro curvilineo altomedievale tagliato dal muro rettilineo della cattedrale prelanfranchiana (foto Soprintendenza per i Beni Archeologici dell'Emilia-Romagna. Via Lanfranco (1989 excavations), late medieval curved wall cut by the straight wall of the pre-Lanfranco cathedral (Photo from the Superintendency for the Archeological Heritage of Emilia-Romagna).

Fig. 5 Foto aerea del centro storico di Modena. In rosso - Perimetro della città romana (Mutina); in azzurro tracciato dell'antica via Emilia; in giallo - perimetro della città medievale al momento della costruzione della Ghirlandina (XII sec.). Con la lettera A è indicata Piazza Grande con il Duomo e la Ghirlandina.

L'età romana

L'area della Ghirlandina, baricentro della città di Modena dal Medioevo a oggi, è collocata in rapporto al perimetro della città romana di *Mutina* fuori dalle mura⁵ a poche decine di metri dalla porta occidentale (fig. 5), in una zona percorsa dall'antica strada consolare di Marco Emilio Lepido (187 a.C.) il cui basolato è stato intercettato anche nei recenti sondaggi meccanici a carotaggio continuo realizzati ai piedi della torre (fig. 3).



Fig. 3



Fig. 4

⁵Per la proposta dell'impianto urbano di *Mutina* cfr. Bottazzi 1986 e Malnati 1988.

⁶For a suggested city plan of *Mutina*, see Bottazzi 1986 and Malnati 1988.

The Roman Age

The Ghirlandina area has been the center point of Modena since the Middle Ages. It is set in relationship to the perimeter of the Roman city, *Mutina*, outside of the walls⁵ and a few dozen meters from the western gate

(Fig. 5), in an area crossed by the historic consular road Marco Emilio Lepido (187 BC) whose flagstones were also found in recent continuous mechanical core samplings taken at the base of the Tower (Fig. 3).



Fig. 5

I resti di età romana sono stati identificati a partire da circa 6-6,5 m di profondità, da questa quota sono pertanto documentate le prime attestazioni del popolamento antico.

Poco prima della fondazione di *Mutina* nel 183 a.C., in una zona già abitata da popolazioni etrusche e galliche fu costruita la Via Emilia, principale arteria stradale della regione.

La strada realizzata in ciottoli e ghiaia, come è stato possibile verificare nei carotaggi, doveva essere larga nel primo impianto circa 4,5 m⁶. Ai lati della strada, fiancheggiata da marciapiedi e canali di scolo⁷, si innalzavano i monumenti funerari, peculiari delle necropoli documentate subito all'esterno del pomerio urbano delle città romane. All'età augustea è da riferire una ristrutturazione della strada, con ciottoli e ghiaia, che verrà probabilmente allargata in concomitanza dell'ingrandimento della città romana. All'inizio dell'età imperiale l'area di Piazza Grande fu trasformata in area residenziale con ricche *domus* dotate di pregevoli mosaici⁸.

Tra il III e il IV secolo una nuova trasformazione interessò la zona, che ritornò a essere occupata da un'ampia necropoli il cui sviluppo è attestato verso mezzogiorno oltre l'attuale piazza XX Settembre⁹.

Anche la Via Emilia fu rinnovata con la realizzazione di una nuova massiciata in basole di trachite¹⁰.

Nell'area prospiciente la strada furono innalzati nuovi monumenti funerari. In uno di questi furono verosimilmente inumate, alla fine del IV secolo, le spoglie di San Geminiano, vescovo della città: qui si propone sia stata eretta in quel momento una basilica cimiteriale extramuranea¹¹.

La città di *Mutina* era tornata a raccogliersi entro il perimetro delle mura repubblicane¹² ancora in piedi e rimaste in vita fino all'inizio dell'alto Medioevo¹³. La nuova necropoli occidentale di *Mutina* fu utilizzata fino all'inizio del periodo longobardo come testimonierebbero due sepolture rinvenute in un sarcofago messo in luce nel 1987 in Piazza Grande¹⁴.

Complessivamente il deposito archeologico che si è formato in età romana varia da uno spessore di circa 1,5 m, a sud di Piazza Grande, a circa 4 m in prossimità delle absidi del Duomo per ridursi a circa un 1,6 m in corrispondenza della Ghirlandina e aumentare fino a uno spessore di circa 3,5 metri poco più a nord (fig. 2b). L'avvallamento in corrispondenza della Ghirlandina è da mettere in correlazione alla presenza dell'antica Via Emilia, che a differenza delle aree a essa prospicienti non è stata soggetta a rialzamenti di terreno dovuto a demolizioni e riporti che si sono succeduti nel corso dell'età romana.

The Roman era remains were identified starting at a depth of approximately 6-6.5 m.

At this level, the first evidence of the ancient population is also documented. Shortly before *Mutina's* foundation in 183 BC, in an area already inhabited by Etruscan and Gaulic people, the Via Emilia road was built as the region's main traffic thoroughfare.

The road was made with pebbles and gravel (as evidenced by core samplings) and must have been approximately 4.5 meters wide in its first version.⁶

On the sides of the street, flanked by sidewalks and drainage ditches⁷, there were unique funeral monuments from the necropolises documented right outside of the *pomerium* of the Roman cities.

A rebuilding of the road with pebbles and gravel can be attributed to the Augustan era.

It was likely widened at the time of the Roman city's growth. At the beginning of the imperial age, the Piazza Grande area was turned into a residential area with lavish *domus* decorated with fine mosaics⁸.

Between the 3rd and 4th centuries, the area underwent a new transformation and again became the site of a large necropolis whose development is shown to have extended southwards beyond the current Piazza XX Settembre⁹. Via Emilia was also remade with a new roadbed of Trachyte flagstones¹⁰.

In the area facing the street, new funeral monuments were built. In one of these, at the end of the 4th century, the remains of St. Geminianus, the city's bishop, were likely buried. It has been suggested that at this time a cemetery basilica was built outside of the walls¹¹.

The city of *Mutina* had returned to being contained within the Republican city wall's perimeter¹².

The wall was still standing and remained so until the start of the late Middle Ages¹³.

Mutina's new western necropolis was used until the start of the Longobard period, as evidenced by two burials found in a sarcophagus discovered in Piazza Grande in 1987¹⁴.

The archeological deposit that formed in the Roman Age varies from about a total of 1.5 m thick, to the south of Piazza Grande, to about 4 meters thick near the Cathedral's apses, down to 1.6 m at the Ghirlandina, and up to about 3.5 meters slightly further north (Fig. 2b).

The depression around the Ghirlandina can be correlated with the presence of the historic Via Emilia, which unlike the areas facing it, did not have its land level raised due to demolitions and fillings that took place throughout the Roman Age.

Le alluvioni

I depositi archeologici di età romana risultano coperti da sedimenti alluvionali, pareggiando l'irregolarità sottostanti e quindi colmando la depressione in corrispondenza della Ghirlandina e formando un nuovo piano di calpestio a circa 1,7-2 m di profondità dall'attuale. Si tratta quasi certamente di depositi da riferire a diverse alluvioni verificatisi a Modena a cominciare dalla fine del IV-inizio V secolo fino all'alto Medioevo¹⁵.

Il medioevo

Al tetto dei depositi alluvionali sono documentati i resti dell'insediamento medievale. Questi depositi sono documentati a partire da circa 1,7-2 m di profondità fino a toccare in alcune zone l'attuale piano di calpestio. Nel corso dell'alto Medioevo la massicciata dell'antica Via Emilia fu spostata poco più a nord su un terreno evidentemente più compatto. È in questo periodo che il baricentro della città si sposta più a ovest attorno alla cattedrale *ad corpus* di San Geminiano¹⁶. Ampie porzioni della città romana saranno abbandonate e l'area di Piazza Grande tornerà a essere insediata e nel contempo utilizzata come area cimiteriale di pertinenza della nuova cattedrale fabbricata verosimilmente sulle rovine della precedente. A questa nuova costruzione sono da riferire con ogni probabilità alcuni resti strutturali, relativi ai muri di fondazione dell'abside¹⁷ e della facciata¹⁸, messe in luce rispettivamente nel 1919 e nel 1913 nel corso dei lavori di restauro del Duomo ai quali sarebbe da aggiungere il lacerto di un muro con andamento curvilineo rinvenuto nei recenti scavi di via Lanfranco, pertinente forse a un battistero staccato dalla cattedrale¹⁹.

¹⁵La massicciata della Via Emilia è stata identificata in alcuni carotaggi realizzati nel 2007, in particolare nel sondaggio E2 ed E3, dove sono state evidenziate tre massicciate la prima a circa 4,9 m di profondità in basoli di trachite, la seconda e la terza, rispettivamente a 5,2 e a 6,1 m di profondità in ghiaia (Labate 2008). La larghezza della strada che passerà da 4,5, al momento della costruzione, a 6 m in età augustea, fino a raggiungere nel tardoantico l'ampiezza di circa 12 m, è stato possibile riscontrarla in uno scavo realizzato a est della città (Barreca, Labate, Marchi 2009).

¹⁶L'ampiezza complessiva della strada con i marciapiedi ed i canali di scolo è stata riscontrata a est della città e è pari a circa 28 metri (*ivi*).

¹⁷Malnati 1988.

¹⁸Labate, Malnati 1988, Giordani 1998.

¹⁹La massicciata in trachite potrebbe corrispondere agli interventi di età costantiniana (cfr. *supra* nota 6) non è tuttavia da escludere che possa essere riferita al momento di ampliamento della città.

¹⁷Trovabene, Serrazanetti 1984, p. 265. Di questa basilica *ad corpus* non si conserva nessuna testimonianza, a esclusione forse di un'iscrizione funeraria longobarda, non in giacitura primaria, conservata nella cripta del Duomo.

In due carotaggi effettuati sotto i muri delle absidi del Duomo (sondaggi S3 e S4) sono stati rinvenuti resti di murature in mattoni romani, dei quali non è possibile stabilire la pertinenza a strutture di età romana o tardoantiche.

¹⁸Malnati 1988.

¹⁹Labate, Pellegrini 2008. Le indagini archeologiche condotte in piazza Roma hanno evidenziato che le mura repubblicane di Mutina erano ancora in vita all'inizio dell'alto Medioevo.

¹⁶Malnati 1988; Gelichi 1988.

¹⁷Labate-Malnati c.s.

¹⁸Gelichi 1988.

¹⁹Sandonnini 1983, p. 112; Acidini Luchinat, Serchia, Piconi 1984, figg. 189 e 220.

¹⁹Acidini Luchinat, Serchia, Piconi 1984, figg. 182, 189. Il muro in laterizi fu rinvenuto a circa 50 cm sotto la quota del vecchio pavimento del Duomo che corrisponde grosso modo alla quota del ritrovamento delle tombe della basilica prefranchiana. Il muro apparteneva a una costruzione precedente riferita dal Sandonnini a fortificazioni altomedievali, e dal Serchia alla basilica *ad corpus* tardoantica (*ivi* con bibl. prec.).

¹⁹Cerchi, Losi, Sghedoni 1998, p. 55, figg. 10-12.

Floods

The Roman era archeological deposits are covered by flood sediments, evening out the irregularity underneath them and filling in the depression at the Ghirlandina, forming a new ground surface about 1.7-2 m

The Middle Ages

The remains of the medieval settlement are documented on top of the flood deposits. These deposits are documented starting at approximately 1.7-2 m deep up the current ground surface in some areas. During the Middle Ages, the old Via Emilia's roadbed was shifted slightly to the north to an apparently more compact terrain. In this period the city's center point shifted further west around the cathedral on the tomb of St. Geminianus¹⁶. Large sections of the Roman city were abandoned and the Piazza Grande area was again inhabited and also used as a cemetery

¹⁵Via Emilia's roadbed was identified in some core samplings made in 2007, particularly in the E2 and E3 survey where three roadbeds were identified.

The first is approx. 4.9 m deep in Trachyte flagstones; the second and the third are 5.2 and 6.1 m deep, respectively, in gravel (Labate 2008). The width of the street went from 4.5 m when it was built to 6 m in the Augustan age, to reach a late-antiquity width of approximately 12 m. It was found in an excavation made to the east of the city (Barreca, Labate, Marchi 2009).

¹⁶The total width of the street with the sidewalks and drainage ditches was measured to the east of the city, equalling approximately 28 meters (*ibid*).

¹⁷Malnati 1988.

¹⁸Labate, Malnati 1988, Giordani 1998.

¹⁹The Trachyte roadbed might correspond to Constantine age construction (see above, note 6), though it is not to be excluded that it could be from the time of the city's expansion.

¹⁷Trovabene, Serrazanetti 1984, p. 265. There is no trace remaining of this basilica built on the tombs, with the possible exception of a Longobard funerary inscription, not in the primary layer, conserved in the Cathedral's crypt. The two core samplings made under

below the current one.

These are almost certainly deposits from the many floods that took place in Modena starting from the late 4th-early 5th century until the late Middle Ages¹⁵.

area for the new cathedral, which was likely built on the ruins of the earlier one.

In all probability, some structural remains can be attributed to this new construction, including the foundation walls of the apse¹⁷ and the façade¹⁸, discovered in 1919 and 1913, respectively, when restoration was being done on the Cathedral.

We can add the fragment of a curved wall found in recent excavations of Via Lanfranco, which might have been part of a baptistery set apart from the cathedral¹⁹.

the walls of the Cathedral's apses (survey S3 and S4) revealed the remains of walling in Roman brick. It cannot be determined whether they belonged to structures from the Roman era or late Antiquity.

¹⁷Malnati 1988.

¹⁸Labate, Pellegrini 2008. Archeological surveys in Piazza Roma have shown the Republican walls of *Mutina* were still standing at the start of the late Middle Ages.

¹⁹Malnati 1988; Gelichi 1988.

¹⁶Labate - Malnati c.s.

¹⁷Gelichi 1988.

¹⁹Sandonnini 1983, p. 112; Acidini Luchinat, Serchia, Piconi 1984, figs. 189 and 220.

¹⁹The brick wall was discovered approximately 50 cm below the level of the Cathedral's old floor, roughly corresponding to the level at which the tombs of the pre-Lanfranco basilica were found.

The wall was part of a previous construction that Sandonnini identified as late-medieval fortifications and Serchia identified as the late-antiquity basilica (*ibid* prev. bibl.).

¹⁹Cerchi, Losi, Sghedoni 1998, p. 55, figs. 10-12.

Si tratterebbe di una cattedrale, in asse con quella attuale, lunga 32 m e larga 18, con un battistero rotondo del diametro di circa 8 m (fig. 6). Il muro curvilineo riferito al battistero con sottofondazione in pali di legno e realizzato con il reimpiego di laterizi romani, ha la risega di fondazione a circa 1 metro di profondità, quota da riferire al piano di calpestio esterno di questa cattedrale altomedievale la cui datazione potrebbe essere riportata all'VIII-IX secolo se si accetta, come è molto plausibile, di ricondurre a questa chiesa i diversi elementi di arredo rinvenuti nel corso dei lavori di restauro del Duomo e ora conservati presso il Museo Lapidario del Duomo²⁰. Gli scavi di via Lanfranco hanno inoltre messo in luce un altro tratto di muro di fondazione che taglia quello curvilineo ed è a sua volta tagliato dal muro di fondazione del Duomo²¹.

Questa nuova struttura in laterizi di reimpiego di età romana, la cui risega di fondazione è di una dozzina di centimetri superiore a quella del muro curvilineo, è da ricondurre a un tratto del perimetrale settentrionale della cattedrale prelafranchiana i cui resti sono stati evidenziati nel 1913 nel corso dei lavori di restauro all'interno del Duomo (fig. 6)²². Il rinvenimento è di particolare interesse in quanto avvalorava l'ipotesi di una cattedrale prelafranchiana a cinque navate avanzata dal Porter e ripresa dal Peroni i quali concordano nel datarla all'XI secolo²³, datazione plausibile anche in rapporto alla tipologia delle sepolture rinvenute all'interno e all'esterno del Duomo²⁴.

Con la demolizione della cattedrale prelafranchiana il piano di calpestio fu innalzato di circa 80 cm fino a raggiungere grosso modo la quota attuale (34 m slm).

Da questa quota iniziarono i lavori per l'edificazione del Duomo e della Ghirlandina le cui fondazioni raggiungono rispettivamente quota -1,5 e -3,6 m (fig. 7). Al momento della costruzione della Ghirlandina, la fossa di fondazione raggiunse i depositi alluvionali postantichi senza intercettare i depositi archeologici di età romana presenti a quote molto inferiori (fig. 8a). La torre fu per di più edificata esattamente al di sopra di una serie di massicciate dell'antica Via Emilia il cui basolato è stato intercettato come già accennato a circa 4,9 m di profondità. Detto ciò si può escludere che la Ghirlandina sia stata costruita, come ipotizzato, su un edificio di età romana²⁵. È da abbandonare anche l'ipotesi che la Ghirlandina sia stata edificata al di sopra di una torre longobarda²⁶ come è stato possibile stabilire tramite un sondaggio meccanico che ha consentito la lettura del muro di fondazione della torre, riferibile a un'unica fase edilizia²⁷.

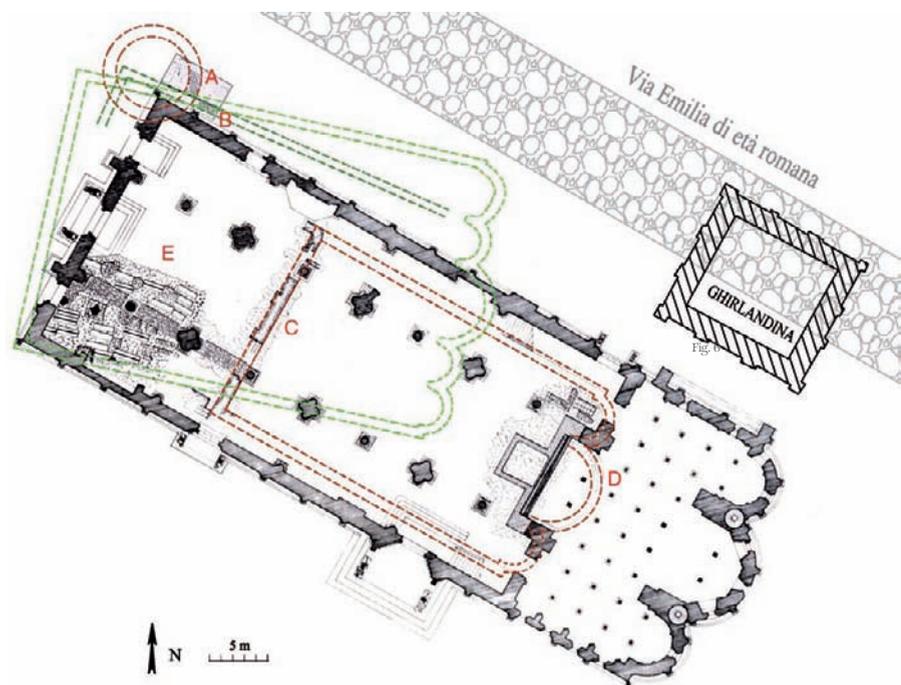


Fig. 6 - Fasi costruttive del Duomo di Modena in rapporto all'orientamento dell'antica via Emilia: in marrone - ipotesi ricostruttiva del perimetro della cattedrale altomedievale con il battistero circolare; in verde chiaro - ipotesi ricostruttiva del perimetro della cattedrale prelafranchiana sulla base degli scavi del 1913; in verde scuro - nuovo orientamento della cattedrale prelafranchiana sulla base degli scavi del 1989; A - muro curvilineo rinvenuto in scavo (1989) e riferibile al battistero altomedievale; B - muro rettilineo rinvenuto in scavo (1989) e riferibile al perimetro settentrionale della cattedrale prelafranchiana, C - muro di fondazione rinvenuto nel 1913, D - muro di fondazione curvilineo rinvenuto nel 1919, E - scavi del 1913. Come base è stata utilizzata una pianta elaborata da L. Serchia (Acidini Luchinat, Serchia, Piconi 1984, fig. 189)

Construction phases of the Cathedral of Modena in relationship to the orientation of the old Via Emilia: in brown - theoretical reconstruction of the late medieval cathedral's perimeter with the circular baptistery; in light green - theoretical reconstruction of the pre-Lanfranco cathedral's perimeter based on the 1913 excavations; in dark green - new orientation of the pre-Lanfranco cathedral based on 1989 excavations; a - curved wall discovered in 1989 excavation, associated with the late medieval baptistery; b - straight wall found in 1989 excavation and associated with the northern perimeter of the pre-Lanfranco cathedral, c - foundation wall discovered in 1913, d - curved foundation wall discovered in 1919, e - 1913 excavations. Based on a plan developed by L. Serchia (Acidini Luchinat, Serchia, Piconi, 1984, fig. 189)

This cathedral would have been in line with the current one, 32 m wide and 18 m long, with a round baptistery about 8 m in diameter (Fig. 6). The curved wall for the baptistery with a wood pile sub-foundation was made reusing Roman bricks. It has a foundation recess about 1 meter deep, which would have been the external ground surface of this late medieval cathedral which can be dated to the 8th-9th century if we accept, as is highly plausible, the attribution to this church the various furnishing elements found during restoration on the Cathedral, now kept at the Museo Lapidario del Duomo²⁰.

The Via Lanfranco excavations also revealed another section of

the foundation wall that intercepts the curved wall and is in turn intercepted by the Cathedral's foundation wall²¹.

This new structure is made of reused brick from the Roman area. Its foundation recess is a dozen centimeters above that of the curved wall, and can be connected to a section of the northern perimeter of the pre-Lanfranco cathedral, whose remains were found in 1913 during restoration work on the Cathedral's interior (Fig. 6)²². The discovery is particular interest because it backs up the theory that there was a pre-Lanfranco cathedral with five naves, which Porter had proposed and Peroni had supported.

They agree in dating it to the 11th

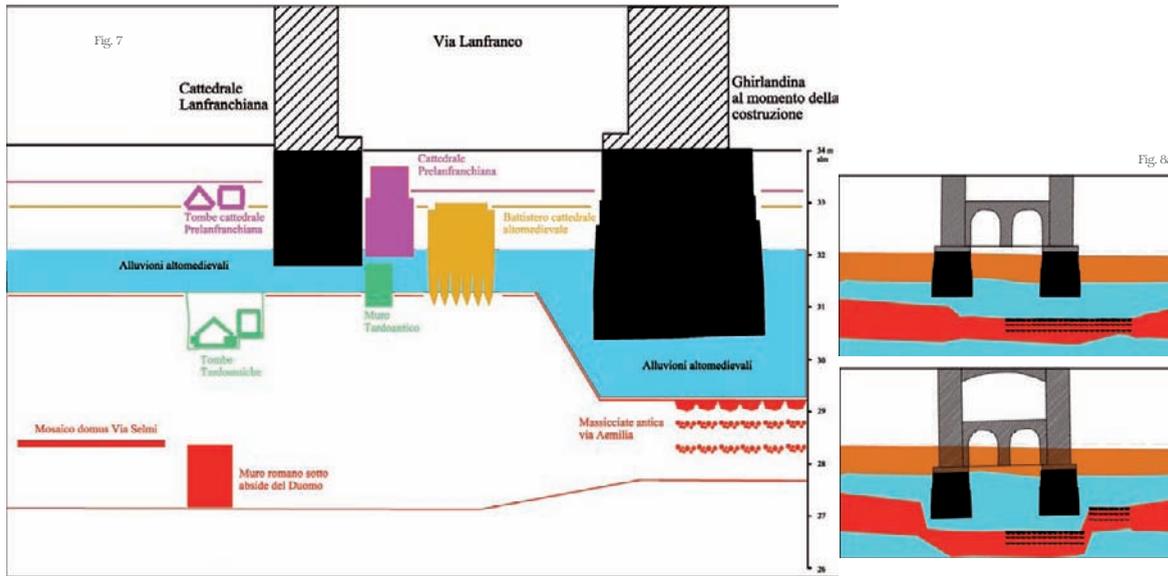


Fig. 7 Ricostruzione del profilo stratigrafico delle strutture sepolte in rapporto alle fondazioni del Duomo e della Ghirlandina al momento della costruzione.

Reconstruction of stratigraphic profile of structures buried in relationship to the foundations of the Cathedral and the Ghirlandina at the time of construction.

Profilo stratigrafico delle fondazioni della Ghirlandina in rapporto ai depositi antropici di età romana (in rosso, le massicciate dell'antica via Emilia sono indicate in nero), di età medievale/moderna (in marrone) e alluvionali (in azzurro): a - al momento della ostruzione; b - dopo l'assestamento

I sondaggi hanno inoltre evidenziato che il basolato dell'antica Via Emilia, con l'assestamento della Ghirlandina, è stato dislocato per compressione due metri più in basso (fig. 7b). L'archeologia in questo caso è stata d'aiuto ai tecnici per determinare l'entità dell'abbassamento della Ghirlandina che può essere stimato attorno ai 2 m sul lato nord della torre e attorno ai 2,3 m sul lato sud (cfr. *infra* contributo di Renato Lancellotta)²⁶.

century²³, which is plausible considering the type of burials found inside and outside of the cathedral²⁴. With the demolition of the pre-Lafranco cathedral, the ground surface was raised by about 80 cm to reach roughly the current level (34 m slm). From this level, construction on the Cathedral and the Ghirlandina started; their foundations are -1.5 and -3.6 m, respectively (Fig. 7). When the Ghirlandina was built,

the foundation ditch reached the post-antiquity flood deposits but did not reach the Roman era archaeological deposits at a much lower level (Fig. 8a). The Tower was also built exactly above a series of roadbeds of the historic Via Emilia road whose flagstones were found at approximately 4.9 m deep, as mentioned. Given this, we can exclude that the Ghirlandina was built on a Roman era building, as had been suggested²⁵.

Stratigraphic profile of the Ghirlandina's foundations related to Roman-era, man-made deposits (in red, the roadbeds of the old Via Emilia are indicated in black), the medieval/modern age (brown) and flood deposits (blue): a - at the time of construction; b - after settling.

We can likewise discard the theory that the Ghirlandina had been built on top of a Longobard tower²⁶.

This was verified through a mechanical survey that examined the Tower's foundation wall, which could be attributed to a single construction phase²⁷.

The surveys also revealed that the flagstones of the old Via Emilia, due to the Ghirlandina's settling, have been displaced two meters lower by compression (Fig. 8b). In this instance, archeology was useful in helping experts determine the level of the Ghirlandina's sinking, which can be estimated around 2 m on the Tower's northern side and around 2.3 m on its southern side. (See Renato Lancellotta in this publication)²⁸.

²⁰ Trovabene 1984, *Eadem* diverse schede relative a frammenti di pilute, di cibori, di pilastri e di lastre datate al IX-X secolo, in Frugoni 1999, I, pp. 487 ss.

²¹ Cerchi, Losi, Sghedoni 1998, p. 52, figg. 9-10.

²² Bertoni 1914, Peroni 1984, Gelichi 1988.

²³ Peroni 1984, *ivi* bib. prec. Gandolfo 1989.

²⁴ Gelichi 1988, p. 570-573; Cerchi, Losi, Sghedoni 1998, p. 52, Fase D.

²⁵ Pezzini 1984, p. 844.

²⁶ Sandonini 1983, p. 24; Borghi.

²⁷ Il carotaggio G4 ha attraversato diagonalmente per una lunghezza di 2,6 metri la fondazione che si evidenzia realizzata in maniera unitaria con l'impiego di laterizi di modulo romano uniti da una malta molto tenace. I carotaggi G1, G2, G3 e G5 hanno inoltre evidenziato l'assenza di palificazioni lignee e stabilito che le fondazioni (lo spessore è stimabile attorno ai 3 m) sono state realizzate in trincea.

²⁸ La stima dell'assestamento è stata fissata, ipotizzando come quota di campagna relativa al momento della costruzione del Duomo e della Ghirlandina quella rilevata al piede dello zoccolo del Duomo corrispondente a 34 m slm. Attualmente il piano di calpestio in prossimità della Ghirlandina è a circa 20 cm al di sotto di tale quota, situazione dovuta all'abbassamento del manto stradale di via Lanfranco dopo i lavori di demolizione operati alla fine dell'800. Tale circostanza è possibile riscontrarla in prossimità della Porta della Pescheria dove si vedono esposte alla base dello zoccolo, per circa 20 cm, le fondazioni in laterizio del Duomo. Anche la Ghirlandina come il Duomo aveva quasi certamente esposto lo zoccolo, la cui presenza è stata riscontrata nei sondaggi praticati nel 1899. Riportando la base dello zoccolo della Ghirlandina alla quota della base dello zoccolo del Duomo si ottiene la stima dello sprofondamento della Ghirlandina che risulta molto diversa da quella ipotizzata in passato: di 0,7 m (Sandonini 1883, p. 23) o 1,78 m (Serchia in Acidini Luchinat, Serchia, Piconi 1984, p. 171).

²⁰ Trovabene 1984, *Eadem*, several entries about fragments of *plutei*, *ciboria*, small columns and slabs dated to the 9th-10th century, in Frugoni 1999, I, pp. 487 ss.

²¹ Cerchi, Losi, Sghedoni 1998, p. 52, figs. 9-10

²² Bertoni 1914; Peroni 1984; Gelichi 1988

²³ Peroni 1984, *ibid* prev. bibl. Gandolfo 1989

²⁴ Gelichi 1988, p. 570-573; Cerchi, Losi, Sghedoni 1998, p. 52, Phase D.

²⁵ Pezzini 1984, p. 844.

²⁶ Sandonini 1983, p. 24; Borghi.

²⁷ The G4 core sampling diagonally crossed the foundation for 2.6 meters in length. The foundation appears to have been made in one phase with the use of bricks with the Roman module joined by a very strong mortar. The G1, G2, G3 and G5 core samplings also showed the absence of wood piling and that the foundations (estimated around 3 m thick) were made in trenches.

²⁸ The settling estimate was determined by assuming the relative land level at the time the Cathedral and the Ghirlandina as measured at the bottom of the Cathedral's base equally 34 m slm. The current ground surface by the Ghirlandina is approximately 20 cm below that level. This was caused by the lowering of Via Lanfranco's road surface after the demolitions in the late 19th century. This circumstance can be seen near the Porta delle Pescherie where the Cathedral's brick foundations are exposed at the bottom of the base for approximately 20 cm. The Ghirlandina, like the Cathedral, almost certainly had its base revealed. It was discovered in surveys in 1899. Bringing the bottom of the Ghirlandina's base to the level of the Cathedral's base, we can estimate the degree of sinking of the Ghirlandina, quite different than those suggested in the past: 0.7 m (Sandonini 1883, p. 23) or 1.78 m (Serchia in Acidini Luchinat, Serchia, Piconi 1984, p. 171).

Le fasi costruttive

Sulle fasi costruttive della Ghirlandina si sono avanzate diverse ipotesi (cfr. *infra* la sintesi nel contributo di Cristina Dieghi)²⁹. Tramite la lettura archeologica degli alzati si ritiene opportuno offrire un nuovo approccio alla comprensione delle diverse fasi che hanno contrassegnato la costruzione della torre³⁰.

I fase

A questa prima fase sono da riferire le fondazioni e la base della Ghirlandina fino all'inizio del fusto, che corrisponde alle prime file di conci lapidei subito al di sopra della prima cornice. Complessivamente si tratta di un'altezza di circa 13 metri a cui si devono aggiungere le fondazioni, affini come tecnica costruttiva a quelle del Duomo.

Questa prima fase è caratterizzata dall'utilizzo prevalente di frammenti di laterizi di reimpiego di età romana uniti da malta, che costituiscono la componente principale della muratura.

Il paramento interno e i quattro pilastri in muratura che contengono la scala, sono realizzati quasi esclusivamente con mattoni romani sesquipedali rifiniti a martellina nella stessa maniera dei laterizi di reimpiego utilizzati nella costruzione delle absidi del Duomo³¹. Con gli stessi materiali è realizzata la copertura a volta della scala che gira attorno alle pareti.

La muratura esterna della torre è rivestita con conci lapidei, anche questi di reimpiego (essenzialmente pietra d'Istria e pietra di Vicenza, cfr. *infra* contributo di Stefano Lugli). I conci hanno una tessitura irregolare anche in corrispondenza delle buche pontate, disposte su sei o sette file con uno schema diverso da quello documentato nella fase successiva (fig. 9).

Questa prima fase, anche in considerazione degli elementi scultorei di scuola wiligelmica presenti negli angoli della torre in corrispondenza della prima cornice, è da mettere in correlazione al cantiere lanfranchiano-wiligelmico.

I motivi per cui furono sospesi i lavori di costruzione della torre non sono conosciuti, l'ipotesi, suggerita da Renato Lancelotta³², che furono interrotti a causa dei cedimenti del terreno e dell'assestamento della torre, pare plausibile³³. A questo proposito si confronti *infra* il contributo di Carlo Blasi sulla diversa evoluzione dell'inclinazione della torre in rapporto alle diverse fasi costruttive della Ghirlandina.

The Construction Phases

Varying theories have been proposed about the Ghirlandina's construction phases (see Cristina Dieghi in this publication for a summary of theories)²⁹.

Through the archeological interpretation of the elevations, we can offer a new way to understand the different phases that marked the Tower's construction³⁰.

Phase I

The first phase pertains to Ghirlandina's foundations and base up to the shaft, corresponding to the first rows of stone blocks above the first cornice. The total height is approximately 13 meters, to which the foundations are added, which use a similar construction technique as the Cathedral.

This first phase involved primarily reusing brick fragments from the Roman era combined with mortar, which is the main component of the walling. The interior face and the four stonework pilasters contain the stairway.

They are made almost exclusively of 60-cm Roman bricks bush-hammered in the same style as the reused bricks for the construction of the Cathedral's apses³¹. The vault roof of the stairway that wraps around the walls is made of the same materials. The Tower's outside wall is covered with stone blocks, which were also reused (mainly *pietra d'Istria* and *pietra di Vicenza*

stones; see Stefano Lugli in this publication).

The stones have an irregular texture including at the putlog holes, arranged in six or seven rows with a different layout than that described in the subsequent phase (Fig. 9).

This first phase, considering the sculptural elements from the Wiligelmo school at the Tower's corners at the first cornice, can be related to the Lanfranco-Wiligelmo construction.

The reasons that the Tower's construction was interrupted are unknown.

The theory that Renato Lancelotta³² has advanced, that it was due to the ground yielding and the Tower's settling, seems plausible³³. On this subject, see Carlo Blasi's piece in this publication about the changing development of the Tower's slope in relationship to the Ghirlandina's different construction phases.

BUCHE PONTAIE - PUTLOG HOLES

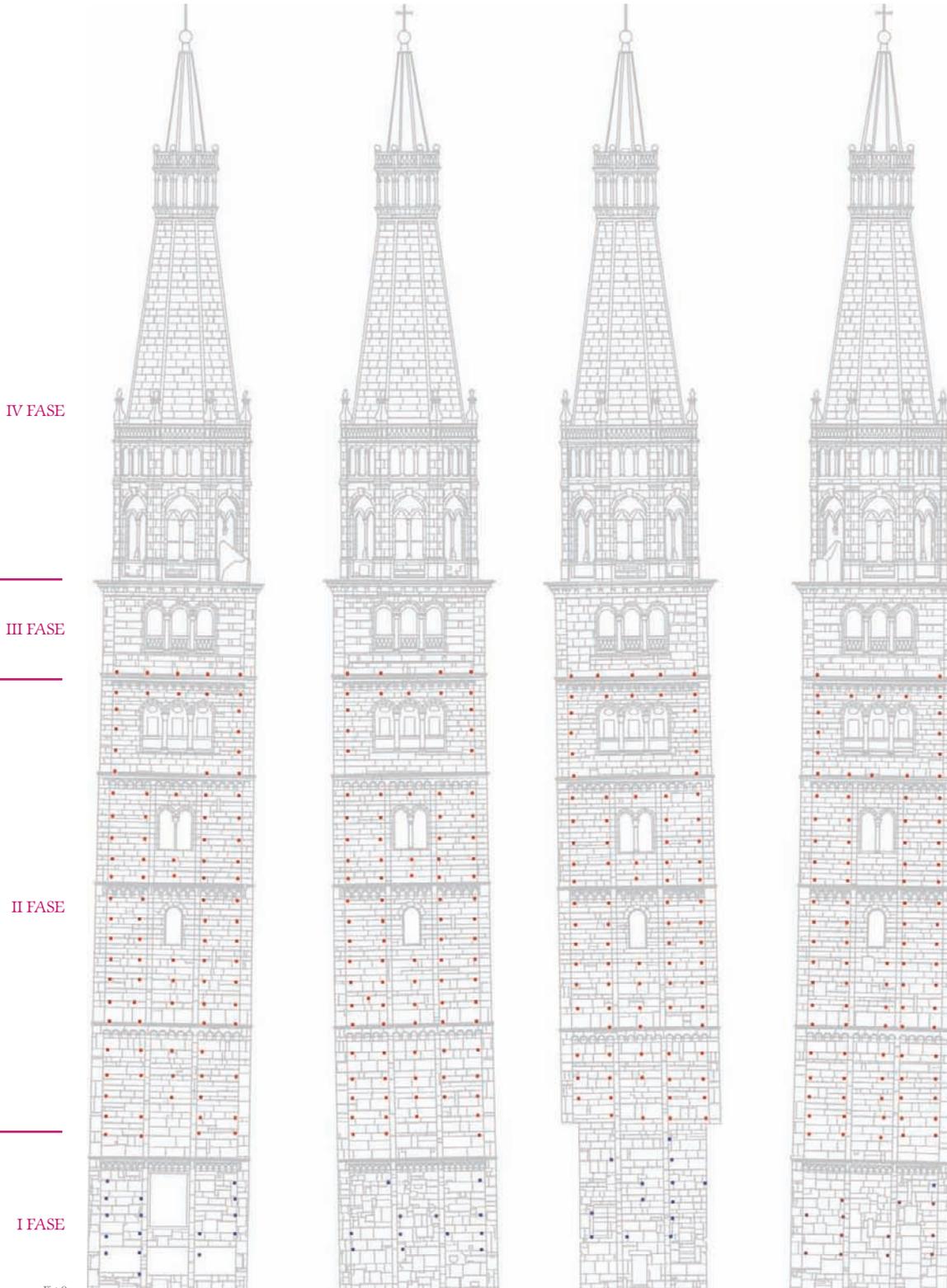


Fig. 9 Fasi costruttive della Ghirlandina con indicazione a colore delle buche pontaiie di I e II fase. Ghirlandina's construction phases, colors indicating the putlog holes in phase I and II.

²⁹ In particolare Montorsi 1976, Pezzini 1984 (vi bib. prec.).

³⁰ Il lavoro di lettura dei paramenti murari è ancora in corso e sarà integrato dalle analisi delle malte da parte di Stefano Lugli.

³¹ La muratura delle absidi del Duomo è realizzata con il reimpiego di mattoni romani, a differenza dei muri laterali e di facciata realizzati di mattoni nuovi di modulo medievale.

³² Ipotesi avanzata nel 2008 nel corso del convegno di studi dedicato alla Ghirlandina.

³³ L'ipotesi è molto credibile anche in considerazione del fatto che con le tecniche costruttive dell'epoca per la costruzione della Ghirlandina, dalle fondamenta al tetto della prima loggia sarebbero occorsi pochi anni.

Per la costruzione della torre potevano lavorare contemporaneamente otto costruttori (due per lato) più un capomastro. Questi con l'aiuto di altrettante maestranze (per impastare la calce, per il trasporto dei materiali, scapellini per rifinire le pietre e per realizzare gli ornamenti) potevano mettere in opera circa 8 metri cubi di muratura al giorno. Se si calcola un'altezza della torre di 46 metri, corrispondenti a circa 3680 metri cubi di muratura, di cui 3000 di laterizi e 680 di rivestimento lapideo, e si considerano nove mesi lavorativi all'anno (esclusi i mesi invernali) per circa venti giornate lavorative al mese, in un anno si potevano costruire 1440 metri cubi di muratura. Per costruire la torre e le fondamenta, corrispondenti ad altri 450 metri cubi di laterizi, con la materia prima già trasportata sul posto sarebbero occorsi circa tre anni.

L'interruzione del cantiere deve pertanto essere riferita a circostanze di forza maggiore come quella del possibile cedimento del terreno in corso d'opera.

²⁹ In particular, Montorsi 1976; Pezzini 1984 (*ibid* prev. biblio.)

³⁰ The work of surveying the wall faces is still underway and will be combined with Stefano Lugli's mortar analyses.

³¹ The walling of the Cathedral's apses was made reusing Roman bricks, in contrast to the side and façade walls made with new bricks based on the medieval module.

³² Theory advanced in 2008, during a conference about studies of the Ghirlandina.

³³ This is a very plausible theory, considering that few years would have been needed using the period's construction techniques for building the Ghirlandina, from the foundation to the roof of the first loggia. Eight builders (two per side) plus a master builder could have worked at the same time building the Tower. These workers, joined with another eight (to mix the limestone, to transport the materials, stonecutters to finish the stones and make the decorations) could finish 8 cubic meters of stonework a day. If we calculate the Tower height to be 46 meters, equalling approximately 3680 square meters of stonework, with 3000 square meters for bricks and 680 for stone cladding, and we consider nine working months (excluding the winter) for approximately 20 work days a month, 1440 cubic meters of stonework could have been built in a year. It would have taken about three years to build the tower and the foundations, which equal another 450 cubic meters of brick, with the material already transported on site. The interruption in construction would have to be due to *force majeure* circumstances, such as the possible yielding of the land during construction.

II fase

A questa fase è riconducibile la costruzione del fusto e della prima loggia fino alla quinta cornice, per un'altezza di circa 32 m. Anche questa fase è contraddistinta principalmente dall'utilizzo di laterizi di reimpiego di età romana, molti dei quali contrassegnati da rigature generate dall'uso della sega, molto evidenti sui mattoni utilizzati negli archetti che sormontano le scale, negli angoli degli stipiti e dei pilastri (fig. 10), nelle arcate che sorreggono la scala in muratura, nonché nei mattoni che disegnano il contorno delle bifore e delle trifore. Nella prima loggia sono invece utilizzati sia laterizi di reimpiego di età romana sia mattoni medievali di uso primario con un modulo, 27,5 x 14 x 5,9 cm, molto vicino a quello documentato nei mattoni medievali utilizzati nella costruzione del paramento interno dei muri perimetrali del Duomo con modulo 27,5 x 13,5 x 5,7³⁴. Anche le pareti della scala a chiocciola che collega la prima loggia alla seconda sono realizzate con laterizi di reimpiego di età romana modellati a martellina o segati. Le pareti interne del fusto hanno inoltre un'ordinata tessitura di buche pontaiate disposte su file corrispondenti a quelle esterne.

La muratura esterna del fusto e della prima loggia è rivestita con conci lapidei di reimpiego (principalmente pietra d'Istria e in misura molto minore trachite e pietra di Vicenza, cfr. *infra* contributo di Stefano Lugli). I conci che hanno una tessitura molto regolare e le buche pontaiate disposte su cinque file ben allineate fino all'altezza della quinta cornice³⁵ mostrano un piano di lavoro unitario di questa seconda fase di cantiere (fig. 9). Altro elemento distintivo di questa seconda fase è l'apparato scultoreo, presente all'altezza della seconda e della quarta cornice, attribuito a maestranze campionesi, come pure quella dei capitelli presenti nella prima loggia, la cui datazione è riconducibile per nessi stilistici e paleografici al momento della realizzazione, attorno al 1184, del pontile campioneso all'interno del Duomo³⁶. Un altro indizio è inoltre offerto da un graffito tracciato su una pietra di reimpiego murata nel paramento esterno della Ghirlandina, all'altezza della seconda cornice, che riporta la data 1169 con riferimento alla costruzione del terzo piano della torre³⁷. La datazione della seconda fase è pertanto ascrivibile a un periodo compreso tra il 1169 e il 1184.

³⁴Con la costruzione del Duomo appaiono a Modena per la prima volta i mattoni di modulo medievale la cui iniziale produzione è pertanto da riferire a un periodo compreso tra la fine dell'XI o tutto al più all'inizio del XII secolo. Non è da escludere che la loro introduzione sia dovuta al genio dell'architetto Lanfranco che li utilizza per la prima volta nel cantiere del Duomo. Restano da capire le ragioni per cui non si sono utilizzati mattoni medievali per la costruzione del fusto della Ghirlandina. Evidentemente i laterizi da reimpiego di età romana offrivano, collaudati dal tempo, maggiore garanzia di solidità. Altra ipotesi plausibile è quella che nel corso della ricerca di elementi lapidei di età romana da utilizzare per il rivestimento della Ghirlandina siano stati recuperati in grande quantità anche

i laterizi. Una chiara testimonianza di questa pratica di recupero di materiali antichi è stata offerta in due recenti scavi (piazza Roma e Via Emilia est), che hanno evidenziato la presenza di ampie trincee, scavate verosimilmente nel corso del Medioevo, per il recupero dei mattoni dalle fortificazioni di *Mutina* (Labate, Pellegrini 2008, Idem 2009) e di materiali lapidei e laterizi dalla necropoli orientale di *Mutina* (Labate, Palazzini 2009).

³⁵Le buche pontaiate più esterne sono oblique, attraversano tutta la muratura e sono visibili all'interno del fusto in corrispondenza dell'angolo interno dei pilastri lungo la scalinata.

³⁶Lomartire 1984b, ivi bib. prec.

³⁷Lomartire 1984a, ivi bib. prec.

Phase II

This phase included construction of the shaft and the first loggia up to the fifth cornice, for a height of about 32 m.

This phase also reused Roman era bricks, many of which are marked by lines from the use of a saw, which are very clear on the bricks in the small arches above the stairways, in the corners of the jambs and columns (Fig. 10), in the arcades that support the stonework stairway, as well as the bricks that define the edges of the twin- and triple-lancet windows.

The first loggia uses both Roman era reused bricks and first-use medieval bricks with a 27.5 x 14 x 5.9 cm module very close to that of the medieval bricks used to build the interior face of the Cathedral's perimeter walls with a 27.5 x 13.5 x 5.7 cm module³⁴.

The walls of the spiral stairway leading from the first loggia to the second are also made of reused Roman era brick, shaped with bush hammers or saws. The interior walls of the shaft also have an orderly pattern of putlog holes arranged in rows corresponding to the exterior ones.

The exterior walling of the shaft and the first loggia is clad with reused stone blocks (primarily *pietra d'Istria* stone and much smaller amounts of Trachyte and *pietra di Vicenza* stone; see Stefano Lugli in this publication).

The blocks have a highly regular pattern and the putlog holes are arranged in five well-aligned rows up to the fifth cornice³⁵.

They demonstrate a unified construction plan for this second construction phase (Fig. 9).

Another distinctive element of this second phase is the sculptural decorations at the second and fourth cornice.

They have been attributed to the Campionesi Masters, as were the capitals in the first loggia. Their dating to around 1184 is based on stylistic and paleographic connections to the Campionesi gallery inside the Cathedral³⁶.

Another piece of evidence is an inscription scratched on a reused stone embedded in the Ghirlandina exterior face, at the second cornice, which gives 1169 as the date for the construction of the Tower's third floor³⁷. The second phase can be dated to a period between 1169 and 1184.

³⁴With the construction of the Cathedral, medieval module bricks appeared in Modena for the first time. Therefore, the start of their production could be attributed to a period between the end of the 11th century or, at the latest, the beginning of the 12th century.

It is possible that they were introduced at the will of the architect Lanfranco who used them for the first time in the Cathedral's construction. We have yet to understand the reasons for which medieval bricks were not used to build the Ghirlandina's shaft. Seemingly, the reused Roman bricks ensured greater solidity, having stood the test of time. Another plausible theory is that during the search for Roman era stone pieces to use for cladding the Ghirlandina, a large amount of brick material

was also found. Two recent excavations (Piazza Roma and Via Emilia est) offer clear evidence of this practice of recovering ancient materials.

They revealed large trenches, likely dug during the Middle Ages to recover bricks from the *Mutina's* fortifications (Labate, Pellegrini 2008, *Idem* 2009) and stone and brick from the eastern necropolis of *Mutina* (Labate, Palazzini 2009).

³⁵The outermost putlog holes are oblique and cross the entire stonework. They are visible inside the shaft at the internal corner of the columns along the stairway.

³⁶Lomartire 1984b, *ibid.*, prev. biblio.

³⁷Lomartire 1984a, *ibid.*, bib. prec.

III fase

A questa fase è da riferire la costruzione della seconda loggia il cui paramento esterno è realizzato con l'utilizzo, come pietra di rivestimento, dell'Ammonitico veronese (cfr. *infra* contributo di Stefano Lugli) e non sono avvertibili le buche pontae. L'interno, intonacato non offre la possibilità di verificare il tipo di mattone utilizzato, tuttavia le fonti documentarie forniscono come data di costruzione il 1261 (cfr. *infra* contributo di Cristina Dieghi).

IV fase

Anche per la costruzione di quest'ultima fase, che completa con la guglia la costruzione della torre, viene utilizzato come rivestimento lo stesso materiale della fase precedente, mentre per l'apparecchiatura muraria si utilizza un nuovo tipo di mattone con un modulo, 27,5 x 12,5 x 4,7 cm, leggermente più piccolo di quello, come sopra accennato, utilizzato nel Duomo e nella prima loggia. Anche per questa fase la data di costruzione al 1319 è fornita dalle fonti documentarie (cfr. *infra* contributo di Cristina Dieghi).

Phase III

The construction of the second loggia is attributed to this phase. Its outside face is made with the use of Veronese Ammonite stone for the cladding (see Stefano Lugli in this publication) and no putlog holes are seen. The plastered interior does not let us see the kind of brick used. Documentary sources set the date of construction at 1261 (see Cristina Dieghi in this publication).

Fig. 10 Via Lanfranco (scavi del 1987), resti di strutture e di tombe rinvenute tra il lato sud della Ghirlandina e il lato nord del Duomo. (Foto Soprintendenza per i Beni Archeologici dell'Emilia-Romagna).
Via Lanfranco (1987 excavations), remains of structures and tombs found on the southern side of the Ghirlandina and the north side of the Cathedral. (Photo from the Superintendency for the Archeological Heritage of Emilia-Romagna).

Phase IV

This phase, which completes the Tower's construction with the spire, used the same cladding material the previous phase. For the wall system a new type of brick was used with a 27.5 x 12.5 x 4.7 cm module that is slightly smaller than the one used for the Cathedral and the first loggia. The construction date for this phase, 1319, is also supplied by documentary sources (see Cristina Dieghi in this publication).

Fig. 11 Ghirlandina, fusto, spigolo di pilastro con reimpiego di laterizi romani tagliati a sega. Ghirlandina, shaft, corner of column with reused Roman bricks, cut by saw.



Fig. 10



Fig. 11

IL RILEVAMENTO DELLA TORRE GHIRLANDINA

THE SURVEYING OF GHIRLANDINA TOWER

Paolo Giandebiaggi, Andrea Zerbi
Alessandro Capra

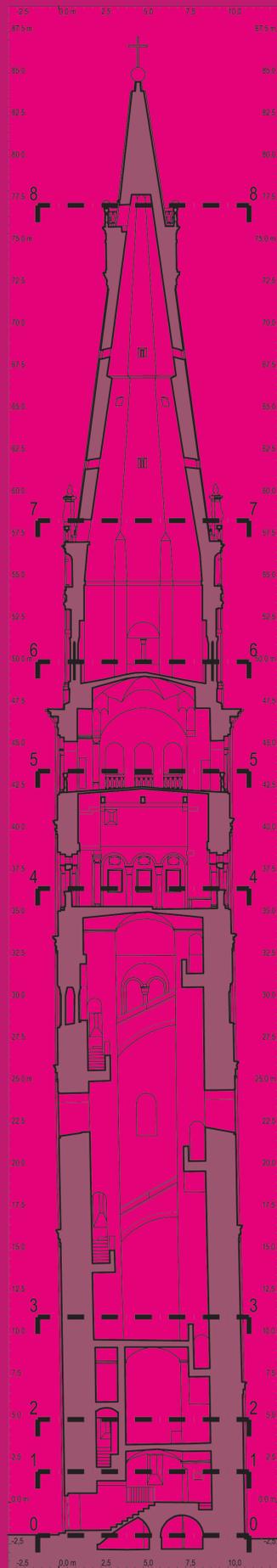


Fig. 1

Fig. 1 Sezioni orizzontali ai diversi livelli.
Horizontal sections at different levels.

Fig. 2 Sezione di riferimento.
Reference section.

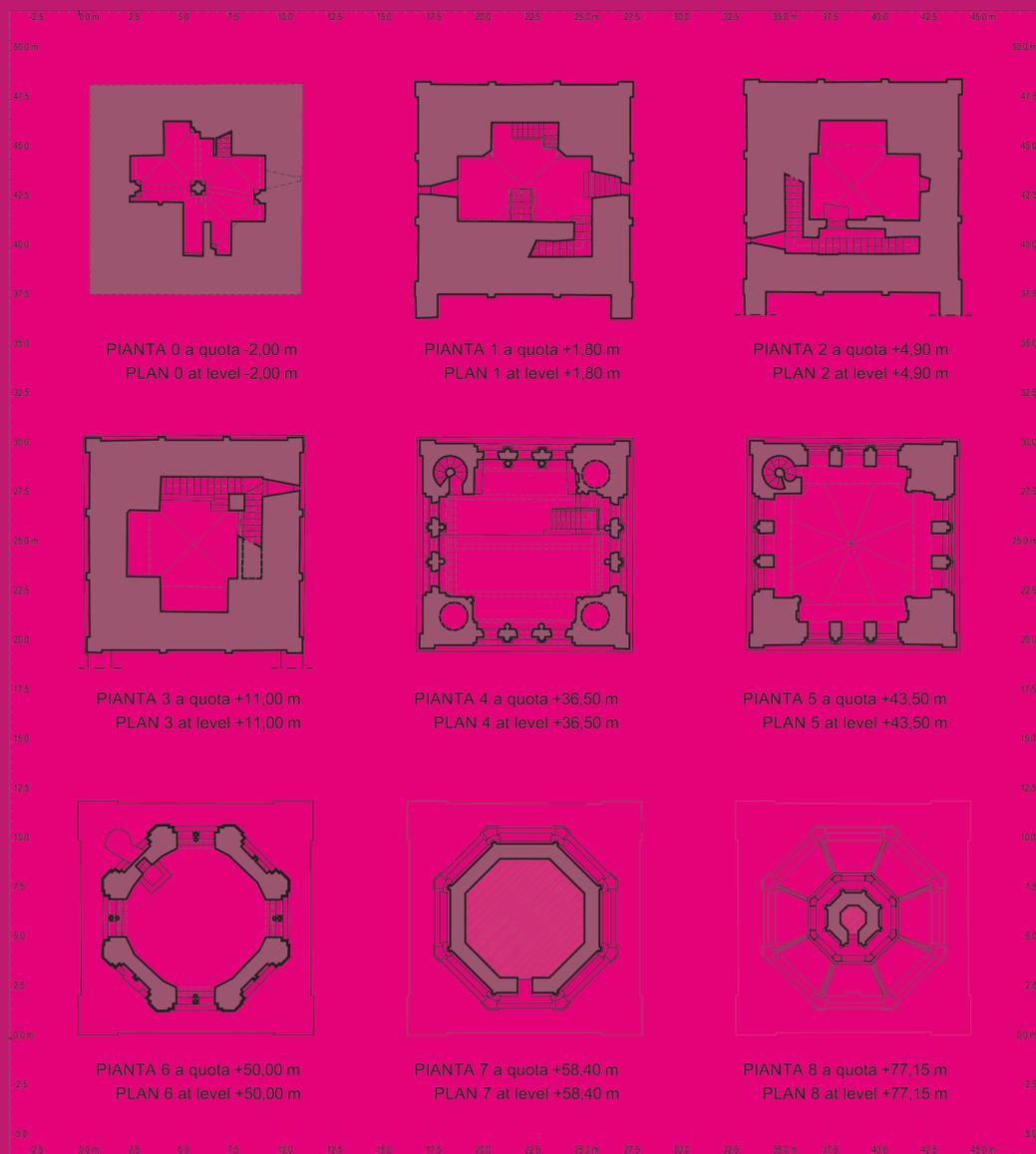


Fig. 2

1. Rilievo metrico e fotogrammetrico

La necessità di realizzare importanti restauri sulla torre del campanile del Duomo di Modena ha portato all'esigenza di dotarsi di un valido supporto su cui poter basare l'intervento.

In questo senso il rilievo viene a presentare una duplice finalità: da un lato deve fornire un'esauritiva documentazione di carattere metrico e geometrico che consenta di definire con precisione l'esatta morfologia del manufatto per poter svolgere attente analisi di carattere statico e strutturale, dall'altro deve configurarsi come l'indispensabile supporto per la realizzazione di una precisa catalogazione dell'intero apparato lapideo di rivestimento. Al fine di poter ottemperare a queste richieste si è stabilito di realizzare un rilievo basato sull'utilizzo di diverse metodologie di rilevamento strettamente integrate fra loro. Data la complessità del manufatto, caratterizzato da una spiccata elevazione in verticale che non consente di raggiungere direttamente la maggior parte delle strutture, per il rilievo degli esterni si è stabilito di utilizzare prevalentemente metodi indiretti, mentre per gli interni, caratterizzati da ambienti di dimensioni planimetricamente limitate, si è optato per l'utilizzo dei tradizionali metodi di rilevamento diretto. Quale metodo di rilievo per gli esterni si è scelto di utilizzare la fotogrammetria. Grazie all'ausilio di una piattaforma mobile è stato infatti possibile effettuare fotogrammi a quote elevate e raccogliere quindi informazioni di carattere dimensionale di quasi tutte le parti della torre, limitando al minimo le zone d'ombra intrinsecamente legate a questa metodologia. La fotogrammetria inoltre garantisce un'ottima definizione dell'apparato lapideo di rivestimento, permettendo di individuare con una certa precisione ogni singolo concio e di conseguenza effettuare la richiesta mappatura dei materiali. La campagna di rilevamento è stata iniziata nel febbraio del 2006 e ha visto come prima operazione la realizzazione di un rilievo topografico di inquadramento geometrico e di appoggio che fungesse da supporto tanto al rilievo fotogrammetrico degli esterni quanto al rilievo diretto degli ambienti interni. Le operazioni topografiche sono state eseguite con teodoliti-distanziometri o stazioni totali in grado di raccogliere misure anche senza prisma. È stata realizzata una poligonale principale chiusa, composta da nove stazioni all'esterno della torre campanaria, alla quale sono stati aggiunti ulteriori cinque vertici all'interno, di cui il più alto collocato sulla scala a chiocciola che sale lungo la cuspide; dalla poligonale principale sono stati poi misurati altri quattordici punti di raffinamento all'interno. Da sette di tali stazioni topografiche sono stati quindi determinati i punti di appoggio per l'asservimento dei fotogrammi, misurati per irraggiamento utilizzando il distanziometro laser, in ragione di circa cinque punti per ogni coppia stereoscopica, per un totale di 160 punti.

1. Metric and photogrammetric survey

The geometrical survey conducted on the building had a double purpose: it should not only provide an exhaustive metric and geometric documentation which would precisely define the exact building morphology.

In order to carry out a deep structural analysis, but it should also represent a fundamental background for a detailed cataloguing of the global external stone facing. In order to answer to these requests, a particular survey has been conducted, which uses different methodologies that are strictly connected with each other. The survey of this building was quite problematic; in fact, its extreme height didn't allow for the direct measuring of most parts of the architectural elements. Thus, in order to measure the outside of the building, indirect methods were performed, while a traditional direct survey was used for the interior spaces, characterized by small planimetric dimensions. A photogrammetric survey was conducted on the exterior of the building. Images were taken at high level by a mobile platform; in this way dimensional information was gathered for each part of the Tower by minimizing the twilight zones, which is typical of this methodology. Moreover, photogrammetry assures a good definition of the facing stone apparatus, by allowing quite a detailed characterization

of each single ashlar, which is useful for subsequent material mapping. The survey fieldwork started in February 2006. The first step was the establishment of a global topographic network that has constituted the base for the subsequent external photogrammetric operations and for the internal direct ones. The topographic network was set by using total stations that are able to record measurements even without using a prism. A principal closed polygon network was made using nine stations around the bell tower; to this main network, five more internal measuring points were added, the highest of which was located on the spiral staircase which rises in the cusp. Furthermore, fourteen refinement points were measured in the interior. Then, the leaning points for the photogrammetric operations were located by seven topographic stations; these points were measured by distance-measurer laser radiation, in about five points for each stereoscopic couple ratio; at the end, about 160 points were defined.

Il rilievo fotogrammetrico ha avuto la durata di circa un mese ed è cominciato con la presa dei fotogrammi della parte bassa del fabbricato, realizzati posizionando la macchina direttamente al suolo. Per l'esecuzione delle prese metriche delle parti più elevate della torre si è reso necessario l'utilizzo di una piattaforma elevatrice che ha consentito di salire fino a un'altezza di circa 45 m. Purtroppo, per motivi legati alla portanza del terreno circostante il Duomo e il campanile, non è stato possibile utilizzare una piattaforma mobile che arrivasse a quote superiori, e di conseguenza è stato inevitabile avere qualche zona d'ombra dove la torre da quadrata diventa ottagonale e in corrispondenza delle balaustre poste sulla cuspide. Le prese sono state eseguite con camere metriche WILD modello P31 con diversa lunghezza focale. Questo è stato reso necessario dal fatto che la collocazione spaziale della torre e degli edifici immediatamente all'intorno imponeva di utilizzare, per ciascun lato, distanze di presa diversificate. L'uso di più focali ha consentito di ottenere una scala fotogramma media di 1:250, necessaria a garantire la precisione del rilievo. Il rilievo fotogrammetrico ha permesso di realizzare, per ciascun lato, tre coppie stereoscopiche orizzontali alle quote di 2, 24 e 44 m dal suolo, e due coppie inclinate verso l'alto per arrivare alla sommità della torre; questo schema di base è stato integrato, nel lato sud, da altre prese fotogrammetriche realizzate dal suolo e dalla piattaforma, al fine di coprire anche la parte di edificio altrimenti nascosta dalla presenza del Duomo.

Le operazioni di stereorestituzione sono state eseguite tramite un fotorestitutore analitico di prim'ordine. In particolare sono state restituite le linee fondamentali della torre (aperture, cornici, lesene, ecc.) e tredici profili orizzontali da utilizzare per la restituzione delle piante ai diversi livelli. Analogamente, su ciascun fronte dell'edificio, è stato realizzato un profilo verticale centrale per la realizzazione delle sezioni. Per finire, la restituzione del rilievo fotogrammetrico ha portato alla realizzazione dei fotopiani relativi alle quattro facciate della Ghirlandina. Contemporaneamente alle operazioni di rilievo fotogrammetrico si è proceduto, tramite rilievo diretto, alla raccolta delle misure degli ambienti interni alla torre. Al fine di poter garantire una precisa corrispondenza fra le parti esterne e quelle interne, nonché il corretto posizionamento delle piante dei diversi livelli, anche in questa fase del rilievo ci si è appoggiati alla rete topografica sviluppata all'interno della torre. In totale, dalle diverse stazioni collocate nei locali interni sono stati misurati oltre 1500 punti, utilizzati per garantire un adeguato livello di precisione anche per le misure raccolte con i tradizionali strumenti di rilievo. terminate le operazioni di misurazione è stato possibile procedere alla restituzione dei dati raccolti, i quali hanno permesso di realizzare, oltre ai quattro fotopiani, anche il disegno vettoriale degli stessi quattro prospetti. Sono state altresì allestite nove piante ai diversi livelli (le prime sette in corrispondenza degli altrettanti piani di calpestio, le ultime due in corrispondenza delle balaustre collocate all'interno della cuspide di coronamento e raggiungibili solamente attraverso la scala lignea interna) e quattro sezioni verticali. L'intero rilievo è stato terminato nel luglio del 2006.

The photogrammetric survey was performed in one month; as a first step, the lower part of the building was photogrammetrically monitored by the camera on ground. A mobile platform was used for defining the upper part of the building; this instrument, in fact, was able to reach an altitude of 45 meters. Unfortunately, bearing capacity problems of the soil around the Tower bell did not allow for the use of a more efficient mobile platform (which would have reached higher levels) and some twilight zone was unavoidable at the area of the cusp balustrade (where the Tower plan turns from square to octagonal). The photogrammetric surveys were obtained using metric cameras WILD, model P31, with different focal lengths; in fact, the spatial disposition of the Tower determined the need for different capture distance for each side of the Tower. The use of different focal lenses made it possible to achieve a frame average scale of 1:250, which is essential to the survey accuracy. The photogrammetric survey permitted the definition, for each side of the building, of three horizontal stereoscopic couples, at 2, 24 and 44 meters, and two couples leaning up toward the top of the tower. This basic scheme was then integrated, on the south side, with other photogrammetric stations, both on the ground and on the platform, in order to reach as well the part of the building hidden by the Cathedral.

The stereo-restitution operations were performed by an automated analytical photo-renderer. In particular, the fundamental lines of the tower were rendered together with thirteen horizontal profiles, which have been used for each level's planimetric definition. Similarly, for each side of the building, a vertical central profile was defined in order to gain vertical sections. In conclusion, the rendering of the photogrammetric survey made possible the completion of the corrected images of the four Ghirlandina façades. Along with the photogrammetric survey, a direct survey was performed on the internal spaces of the Tower. In order to obtain the perfect correspondence between the external and internal measurements, and the correct position of the different levels plans, the direct survey was related to the topographic network, which was established inside the Tower. Finally, more than 1500 points were measured by the different internal stations; these points guarantee a good accuracy level even as compared to the measurements reached by the traditional survey method. After the measuring campaign, the subsequent rendering operations were conducted and, together with the four rectified images, the four main vectorial views were also set up. Moreover, four vertical sections and nine plans were defined; the plans were set at different levels. The whole survey was completed in July 2006.

Fig. 3 Sezioni verticali. Da sinistra: sezione nord-sud rivolta verso est, sezione est-ovest rivolta verso nord, sezione nord-sud rivolta verso ovest e sezione est-ovest rivolta verso sud.

Vertical sections. From the left: North-South section looking East, East-West section looking North, North-South section looking West and East-West section looking South.

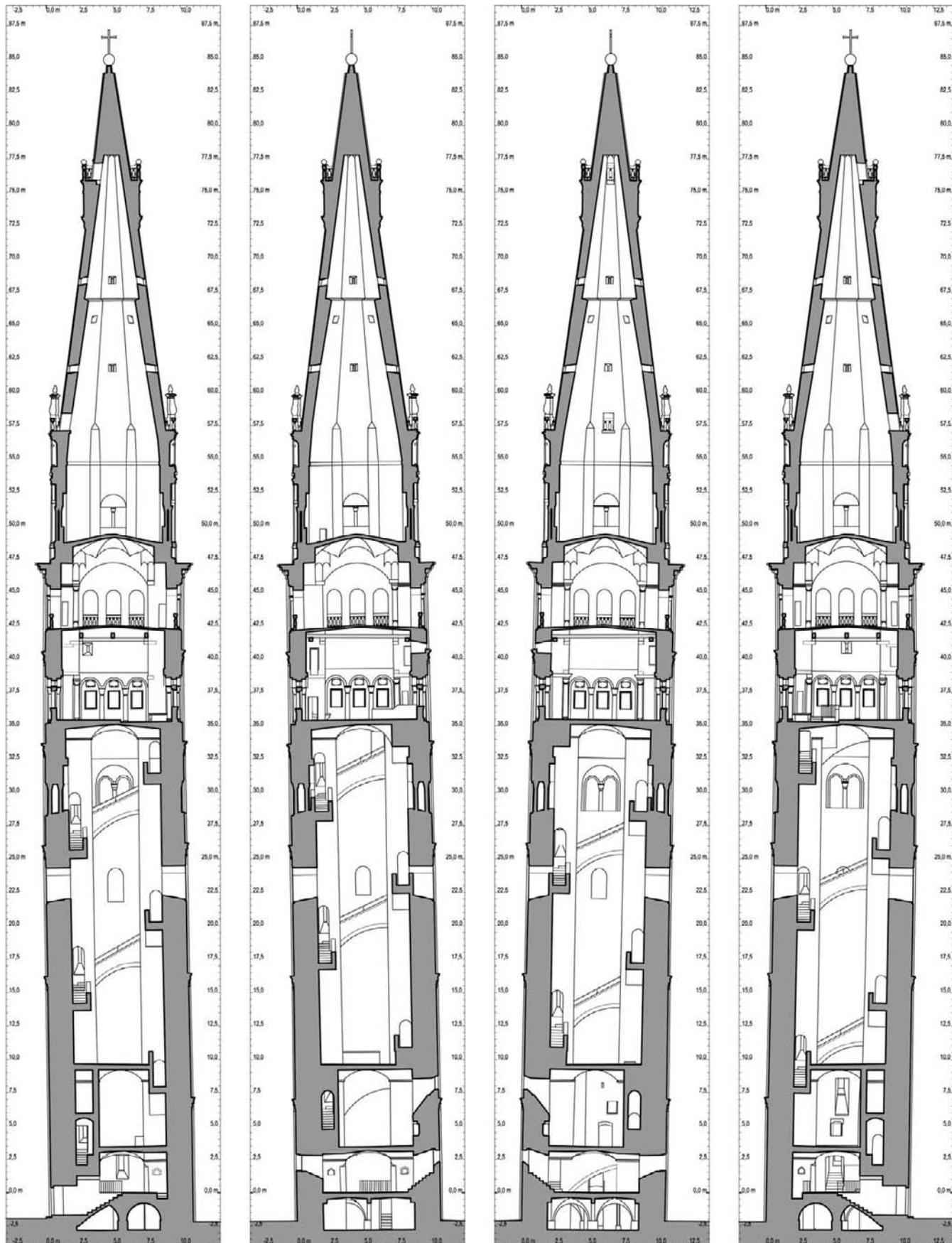


Fig. 5 Prospetti. Da sinistra:
prospetto est, prospetto sud,
prospetto ovest e prospetto nord.

Front views. From the left:
East view; South view;
West view; North view.

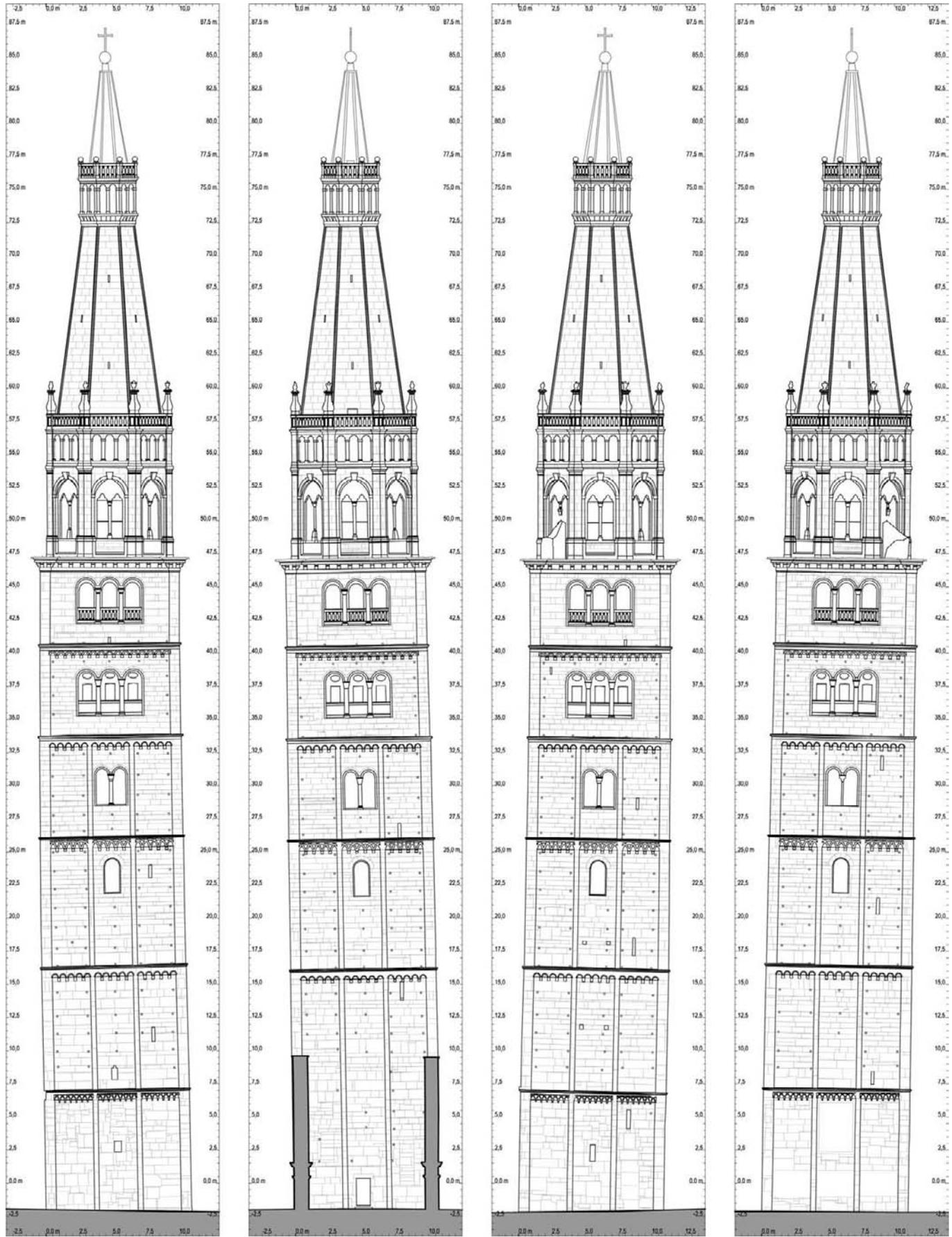
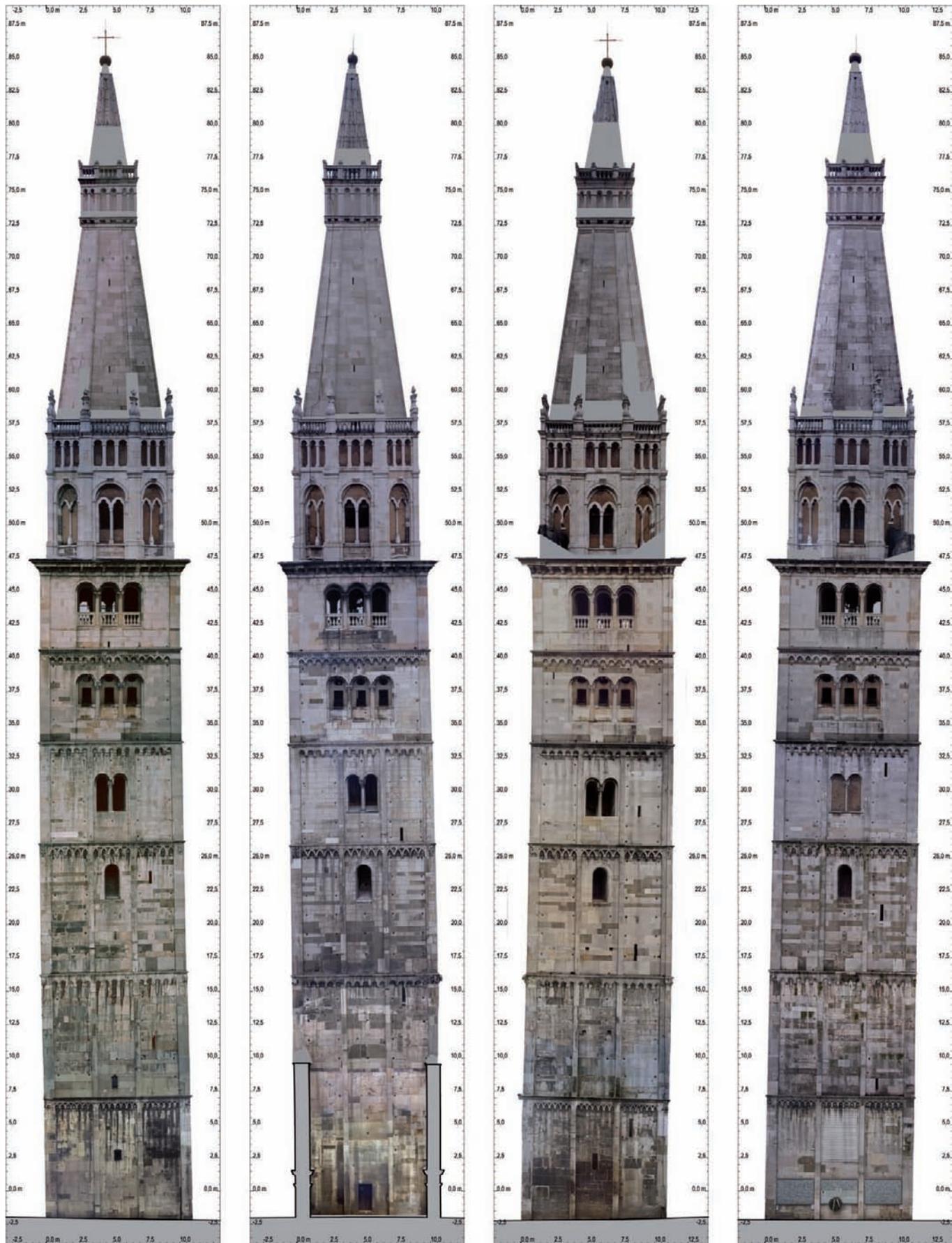


Fig. 4 Fotopiani. Da sinistra: prospetto est, prospetto sud, prospetto ovest e prospetto nord.

Image rectifications. From the left: East view, South view, West view, North view.



2. Rilevamento laser scanner terrestre e immagini termografiche.

La restituzione tridimensionale della Ghirlandina è stata realizzata attraverso un rilievo con strumentazione laser scanner terrestre. Il modello tridimensionale è stato generato attraverso l'elaborazione dei dati acquisiti ad alta risoluzione; il passo di campionamento era mediamente di 5 mm in coordinate oggetto e le prese sono state effettuate da distanze che hanno raggiunto i 300 m. Al fine di evitare zone d'ombra che avrebbero impedito la restituzione e visualizzazione dell'intera struttura, sono state eseguite diverse prese da punti di stazione a terra e da punti di stazione collocati in posizione elevata da edifici situati intorno alla torre Ghirlandina e alla Piazza Grande.

Le diverse scansioni laser sono state composte attraverso una mosaicatura che è stata possibile utilizzando punti segnalizzati (marker) e collocati sui monumenti in modo che fossero univocamente distinguibili nelle varie scansioni. La precisione della restituzione è dell'ordine di grandezza del centimetro.

Il risultato della prima fase del rilievo è stata la cosiddetta "nuvola di punti", costituita da tutti i punti oggetto che hanno riflesso il raggio laser in coordinate tridimensionali.

Successivamente è stato possibile estrarre sezioni e prospetti e realizzare un modello composto da superfici nello spazio per dare leggibilità al rilievo e anche per avere dati tecnici di ausilio per progettisti e restauratori.

Sono state eseguite delle prese con camera termografica delle facciate della torre prima degli interventi di restauro in fase di realizzazione. Alla fine dei lavori di restauro si potranno eseguire prese termografiche che verranno georiferite nello stesso sistema di riferimento. Il confronto tra le immagini termografiche delle superfici realizzate adesso e dopo il restauro, sovrapposte alla mappatura del materiale e del degrado delle superfici delle pareti della torre, fornirà un'ulteriore elemento per determinare un quadro dettagliato dello stato di conservazione del materiale del rivestimento e per valutare l'incidenza degli interventi di restauro.

2. Terrestrial laser scanner surveying and thermal images.

A tridimensional reconstruction of Ghirlandina Tower has been realized with terrestrial laser scanner instrument.

The 3D model was generated from high-resolution acquired data; rate sampling was about 5 mm in object coordinates and scanning stations were placed up to 300 m.

In order to avoid twilight zone that would not permit the reconstruction of the whole structure, several, scanning stations were made either from ground or from high-elevation sites that were located on buildings around the Tower and Piazza Grande.

Different laser scanings were connected through a mosaic that could be realized using signalized points (markers) that were located on monuments in positions that allow clear differentiations among the different scanning. The precision of the reconstitution is at centimeter level. The first result of the survey was the so-called "cloud of points" that is made

by all the points that reflected laser rays in tridimensional coordinates. Subsequently, it was possible to extract sections and prospects and to realize a model composed from spatial surfaces that allowed analysis of the object and the ability to furnish technical information for designers and for technicians involved in restoration. Thermal images were carried out on side surfaces of the Tower before restoration activity. After that restoration works is concluded, thermal images will again be acquired and they will be referred to in the same system. The comparison between thermal images of the structure surfaces, overlapped with material map and side surface deterioration, could allow an ulterior element to determine a more detailed state of conservation of covering material and to evaluate the effects of restoration activity.



Torre Ghirlandina e strumento laser scanner (laser scanner terrestre HDS Scanstation2 della Leica Geosystems). Ghirlandina Tower and laser scanner instrument (HDS Scanstation2 terrestrial laser scanner from Leica Geosystems).

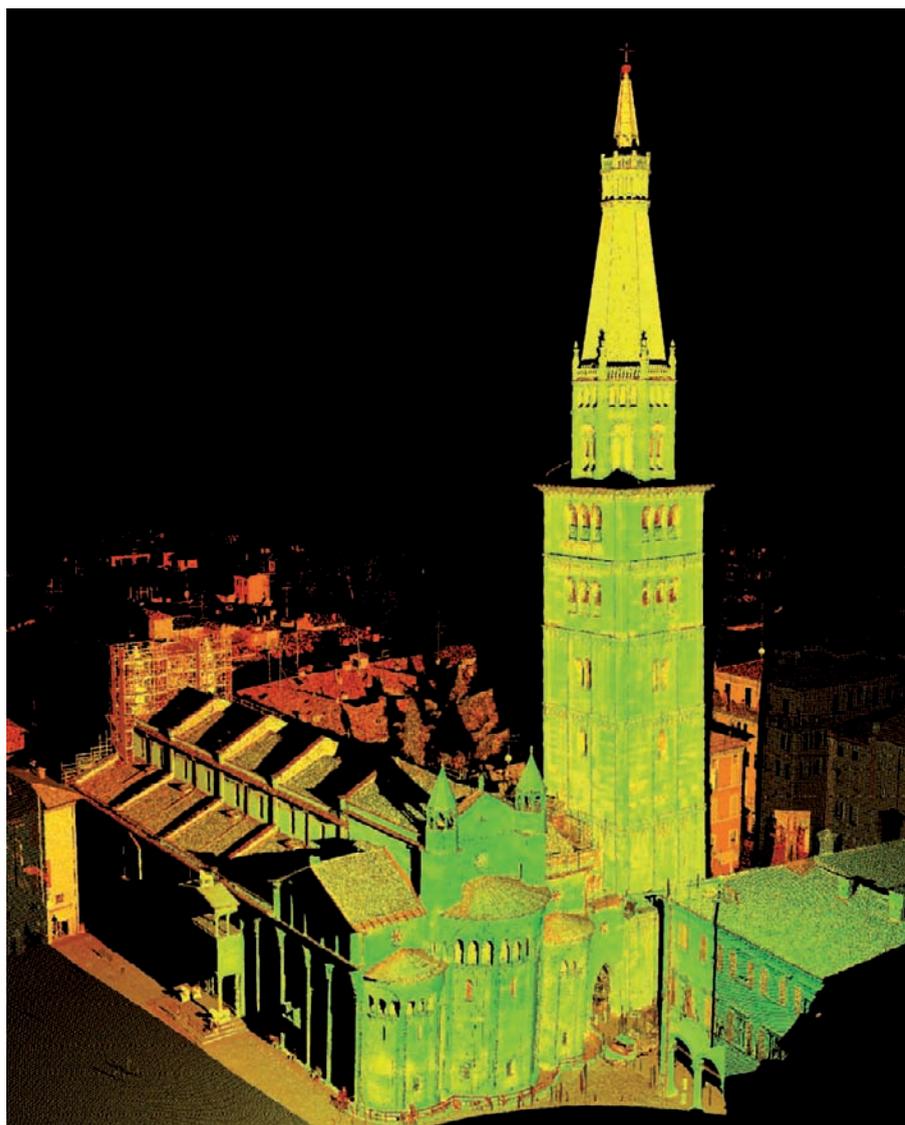
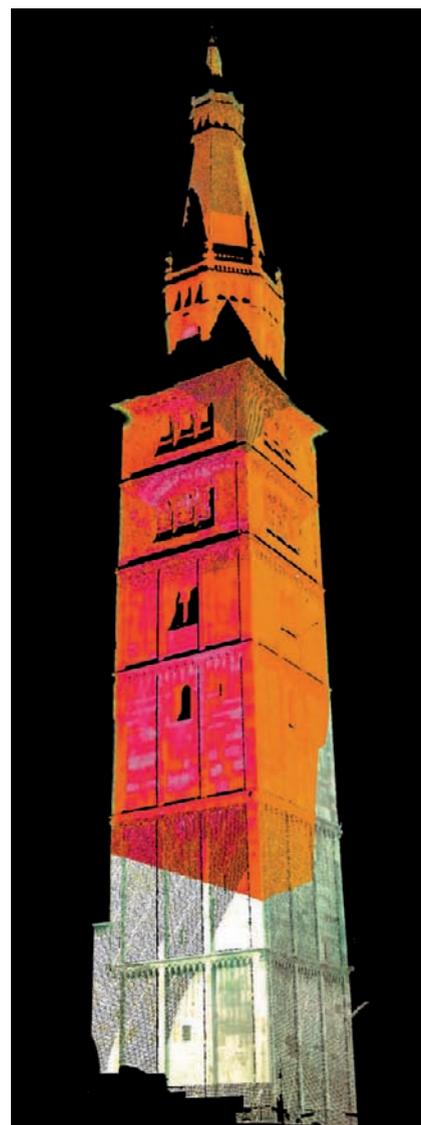
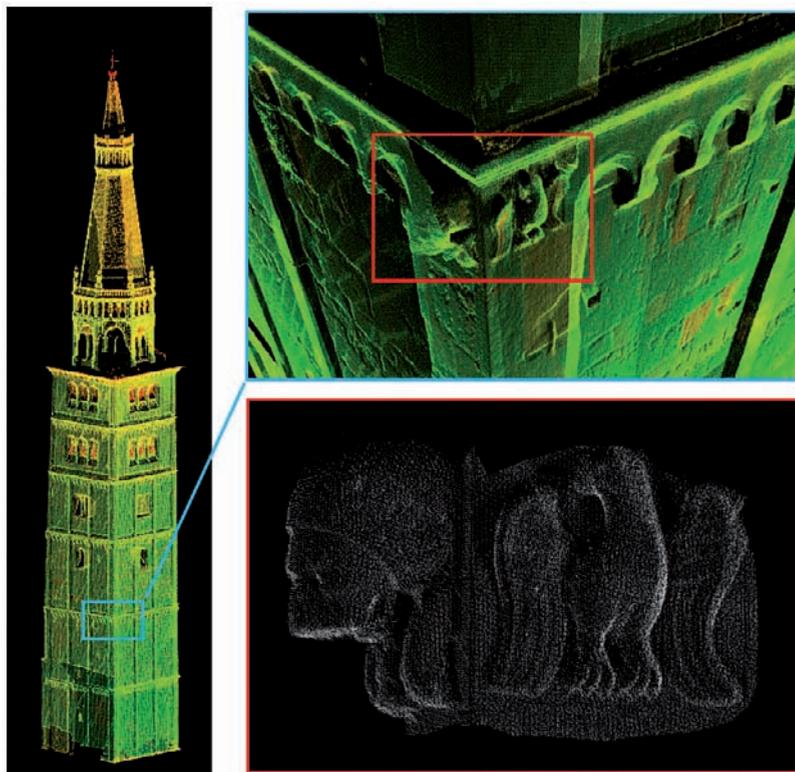


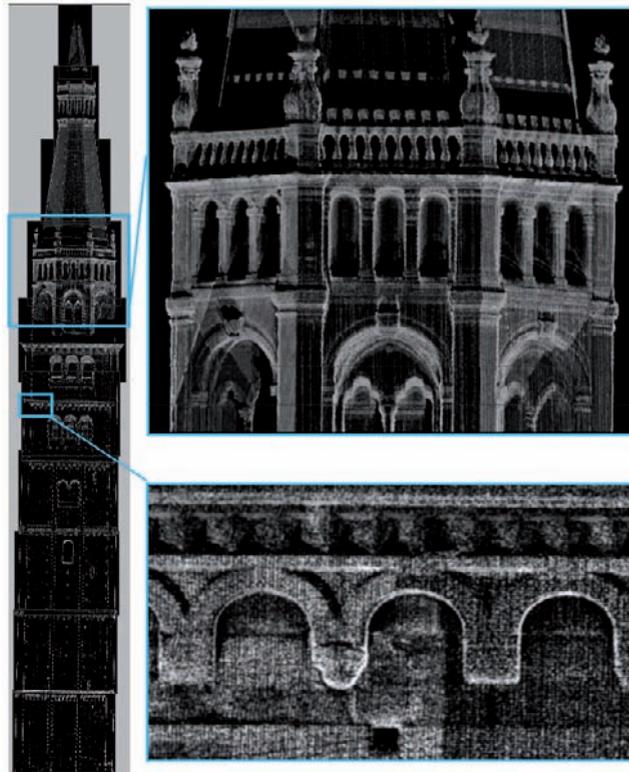
Immagine laser scanner in falso colore del complesso Torre Ghirlandina-Duomo in Piazza Grande. Laser scanner false color image of the Ghirlandina Tower-Cathedral in Piazza Grande



Vista prospettica dell'immagine termografica georeferenziata con la restituzione del rilievo laser scanner (camera Flyr mod.B400 sensibilità termica pari a 50 mK). Perspective view of the thermographic, georeferenced image with rendering of the laser scanner survey (Flyr mod. B400 camera; thermal sensitivity of 50 mK).

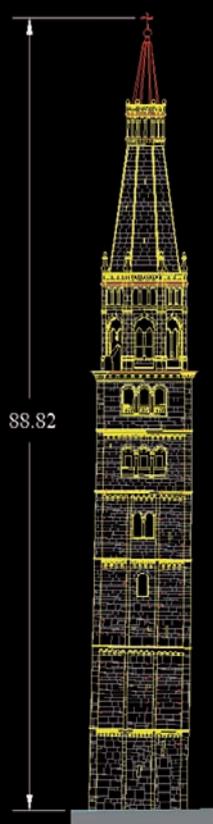


Particolare architettonico 3D visualizzato in intensità di colore del laser scanner; dettaglio di una formella nella seconda cornice. 3D architectural detail displayed with the color intensity of the laser scanner; detail of a brick from the second cornice.



Dettagli e particolari architettonici della cupola e della quinta cornice estratti da un'ortoimmagine da restituzione laser scanner in toni di grigio. Architectural details of the dome and the fifth cornice extracted from an orthoimage from a grayscale laser scanner rendering.

Altezza della Torre riportata sul prospetto ovest: valore in m dal piano di campagna lato nord-ovest al centro della croce.
Tower height recorded on western elevation: in meters from ground surface, northwest side to center of the cross.



3. Determinazione di altezza ed inclinazione dell'asse della Torre

Analizzando il modello opportunamente orientato nello spazio rispetto alla verticale del luogo, è stato possibile determinare l'altezza della torre Ghirlandina rispetto all'attuale piano di campagna.

In precedenza l'altezza è stata determinata attraverso il rilievo fotogrammetrico. Pertanto il valore dell'altezza della torre è stato misurato con strumentazioni e metodi diversi ma di analoga precisione (circa 1 cm in coordinate oggetto).

L'altezza della torre dal piano di campagna attuale al centro della croce è risultato in entrambi i casi di 88,82 m (fig. 3.1).

In futuro ci si riserva di fare valutazioni ulteriori per determinare l'altezza dell'intera struttura, computando sia la parte interrata sia le fondazioni della torre.

Un altro risultato interessante è stata la determinazione dell'inclinazione attuale e dello sviluppo dell'asse della torre; tali determinazioni sono state ottenute attraverso il calcolo delle posizioni dei baricentri

geometrici di varie sezioni ortogonali alla verticale del luogo e realizzate con passo di 10 m.

È stato possibile realizzare le sezioni a partire da 15 m di altezza fino a 85 m, praticamente la sommità, in quanto non è possibile individuare chiaramente e univocamente i contorni delle sezioni da terra a 15 m di altezza; le cause sono dovute alla presenza di contrafforti e varie impalcature che rendono impossibile distinguere la superficie di contatto tra Duomo e Ghirlandina. Pertanto occorre prestare attenzione a queste ipotesi qualora si voglia confrontare il valore assoluto della variazione di inclinazione dell'asse della torre ottenuto dal rilievo laser scanner con quello ottenuto con altre tecniche.

In fig. 3.2 viene rappresentata la traccia sul piano orizzontale delle posizioni dei baricentri delle varie sezioni, da cui si evincono le variazioni di inclinazione e l'inclinazione complessiva della torre dal piano di 15 m alla sommità; i risultati sono congruenti in direzione e verso con quelli determinati in precedenza con strumentazioni e tecniche diverse (vedi 2.02.4).

3. Evaluation of tower height and axis inclination

It was possible to determine the height of the tower with respect to the actual topographic plane that was derived from the analysis of a 3D model vertically oriented to the site.

In a previous survey, the height was estimated with photogrammetric surveying, so the height value was obtained with different instruments and techniques, but ones that work at the same precision level (about 1 cm in object coordinates). The height of the tower related to the cross center from topographic plane is 88.82 m and the same value was obtained from photogrammetry and laser scanner methods (Figure 3.1).

In the future it is important to determine the height of the whole structure by the computation either of the underground portion or by the evaluation of tower foundations. One more interesting result was the determination of the actual axis inclination of the tower;

the determination was obtained from the computation of the position of geometrical barycenter of various sections

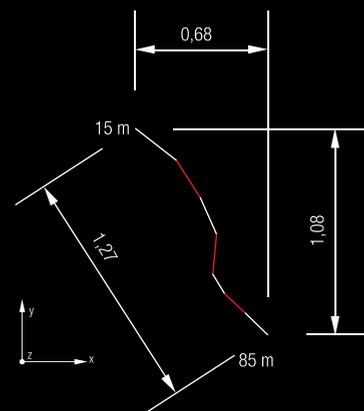
perpendicular to site vertical that was realized at a 10 m interval.

It was possible to realize the sections only between 15 m height and 85 m, which is practically the top of the tower; it was not possible to realize

sections below 15 m because it is not possible to detect clearly the sections' profiles.

This is due to the presence of obstacles that do not allow one to distinguish the contact surface between Ghirlandina and the Duomo. This issue will need to be considered when a comparison is made between the absolute value of axis inclination that was obtained from laser scanner surveying with those obtained from other techniques. Figure 3.2 shows the track on the horizontal plane of various positions of sections' barycenter from which the variation of axis inclination and the total inclination of the tower from 15 m to the top are determined; the results are consistent in direction with those obtained with other instruments and techniques (see pag. 194)

Variazione di inclinazione dell'asse della Torre: proiezione sul piano orizzontale della posizione dei baricentri delle sezioni dalla quota di 15 m alla sommità. Valori in m. La direzione x coincide orientativamente con la direzione nord. Ogni tratto corrisponde a una differenza in quota di 10m. Variation in the Tower's inclination axis: projection on the horizontal plane of position of center point of sections from the 15 m level to the peak. Values in meters. The X direction generally coincides with the north direction. Each section corresponds to a 10 m difference in level.



IL RESTAURO THE RESTORATION
DEGLI ANNI SETTANTA PROJECT IN THE 1970s

Rossella Cadignani, Franco Valli



Come emerge dai dati che pian piano si stanno raccogliendo, la storia della torre è molto complessa, molti sono gli interventi che l'hanno interessata nel corso dei quasi settecento anni che sono trascorsi dalla sua costruzione e non è sempre possibile capire i motivi che hanno portato a realizzare le tante modifiche. Tanti sono anche i restauri che hanno cercato in ogni modo di conservare il monumento.

Ogni restauro è l'espressione tecnica e culturale del momento in cui viene eseguito, i cui risultati non sempre sono stati soddisfacenti a distanza di tempo, ma possiamo affermare che sulla torre sono stati sempre attuati con il massimo dell'attenzione e della conoscenza disponibile, consapevoli di intervenire su un monumento che ha un significato del tutto speciale per la città. L'ultimo in ordine di tempo è il restauro attuato dal Comune tra il 1972 e il 1973, intervento nel quale, come si legge dalla relazione dell'ingegnere capo¹ "ci si è proposti unicamente una serie di interventi a carattere puramente conservativo [...] interventi giustificati dalle condizioni della torre, che resiste in maniera impressionante alle ingiurie del tempo, e ciò non tanto per il suo assetto statico generale [...] quanto per l'azione corrompitrice esercitata dal tempo sulle modanature e sui marmi della sua superficie il cui processo di decadimento appare accelerato dalla aggressività degli agenti atmosferici corroborata dai corrosivi gas di scarico dei veicoli e dei camini." I lavori furono eseguiti previa verifica sui materiali e prove di laboratorio eseguite su campioni, furono interpellate la Soprintendenza e il Professor Cesare Gnudi, presidente del Centro per la conservazione delle sculture all'aperto di Bologna, che chiese ulteriori controlli e prove di laboratorio sui prodotti da impiegare per il restauro. In particolare in una sua lettera sui restauri datata ottobre 1972, fa riferimento all'utilizzo di prodotti della ditta Sinmast CP5007 (resina vinilacrilica) e CP415 (resina epossidica) e alla necessità di effettuare ulteriori verifiche prima di intervenire sulle sculture. Come si legge nella relazione al progetto², gli interventi hanno riguardato all'esterno "la rimozione, riparazione con eventuale sostituzione di pezzi di tutte le parti manomesse costituenti modanature, cornici, tarsie eccetera, ricostruzione eventuale di pezzi mancanti e ricollocazione in opera degli stessi con le necessarie aggrappature a regola d'arte, con l'utilizzo di marmi della stessa natura e provenienza di quelli asportati, verifica e saggiatura delle restanti parti, sigillatura a cemento di tutte le fessure, completa pulizia e diserbamento e trattamento disinfestante, protezione idrorepellente delle superfici, protezione elettrostatica. All'interno sono stati effettuati "scrostatura e rifacimento di intonaco, verifica di stabilità delle rampe della scala [...] rifacimento tinteggiature, telai a vetro per finestre."

¹Ugo Cavazzuti: ingegnere capo del Comune di Modena.

²Atti del Comune di Modena, Ripartizione Lavori Pubblici, Prot. 8018/1972.

The Tower has a very complex history, as is becoming ever more clear from the information that is gradually being gathered. Over the nearly seven hundred years since it was built, the Tower has undergone much work, though we do not always understand the reasons behind the many modifications. There have also been many restoration projects that have tried to preserve the monument in all of its aspects.

Each restoration project expresses the technology and culture of the time during which it was done. Though, in retrospect, the results have not always been satisfactory, it can be said that restoration projects on the Tower were always undertaken with great care, using all available knowledge, with the awareness that they were working on a monument with a very special meaning for the city.

Chronologically, the last restoration project was done by the City Council between 1972 and 1973.

As we read in the chief engineer's report¹, in this project, "a series of projects was planned with a purely preservationist nature [...] restoration work that was needed because of the Tower's condition, which has been withstanding the strain of time very poorly, less in its general static condition [...] and more in terms of the damaging effect of time on the molding and marble on the surface for which the process of deterioration seems to be accelerated by the aggressiveness of the atmospheric agents, aggravated by corrosive exhaust gas from vehicles and chimneys."

After an examination of the materials and laboratory tests on samples, the restoration work was done, involving the Superintendency and Professor Cesare Gnudi, president of Bologna's *Centro per la*

Conservazione delle Sculture

all'Aperto [Center for preserving outdoor sculptures], who asked for additional assessments and laboratory tests on the products to be used for the restoration.

In a letter he wrote about the restoration, dated October 1972, he refers to the use of products from the Sinmast firm, CP5007 (vinyl acrylic resins) and CP415 (epoxy resin), and the need to perform additional assessments before working on the sculptures. As we can read in the project report², the restoration on the exterior involved "removing, repairing and sometimes replacing parts of all the damaged sections, consisting of the molding, cornices, inlays, and so forth, some reconstruction of missing pieces, and situation of these pieces back on the site with the necessary proper attachments using marbles of the same nature and origin as those removed, assessment and assaying of the remaining parts, cement sealing of all cracks, complete cleaning, weed removal, disinfectant treatment, water-repellant surface protection, and electrostatic protection." In the interior, work included "peeling and replacement of plaster, assessment of stability of the stairways [...] paint replacement, glass frames for windows."

¹Ugo Cavazzuti: Chief Engineer of the Comune di Modena.

²Atti del Comune di Modena, Ripartizione Lavori Pubblici, Prot. 8018 / 1972.



Fig. 1

La documentazione fotografica reperita presso l'Archivio fotografico Panini, ha consentito di individuare quali sono i conci di pietra sicuramente sostituiti in quell'occasione e vedere la struttura interna in mattoni, nei tratti privati del rivestimento. Il rapporto informativo datato 25 settembre 1972, a firma dell'ingegner Mario Pergetti, descrive che quattro tipi di intervento erano già stati effettuati sulla parte ottagonale e sulla parte superiore della parte quadrata. Si tratta di interventi di controllo dei conci e rifacimento delle aggrappature, la bonifica delle connessioni e la sigillatura con un impasto a base di resine epossidiche, il trattamento superficiale delle lastre e delle modanature più deteriorate con resine epossidiche monocomponenti fortemente diluite, la sostituzione di conci fortemente avariati con altri ricavati da blocchi di marmo della stessa natura e provenienza. Il rapporto riferisce dei sopralluoghi di Soprintendenza ed esperti per valutare gli interventi sulle sculture e fa presente il problema di allungamento dei tempi in attesa di risposta e di relativo costo del ponteggio installato. L'ingegnere capo suggerisce di intervenire sulle sculture distinguendo quelle rovinate da trattare con resina diluita, quelle rovinate e pericolanti a cui provvedere con la sostituzione di concio schematico e quelle salvabili su cui attendere il parere dell'Istituto di restauro, se arriverà in tempi ragionevoli, prima di procedere al trattamento superficiale.

Gli interventi furono attuati più o meno come descritti, la sostituzione delle parti decorate deteriorate con un concio schematico fu molto diffusa, e l'utilizzo delle resine epossidiche fu assai esteso come sigillatura alla maggior parte dei conci (figg. 1 e 2). Il risultato ottenuto con il restauro è durato a lungo, sono passati 35 anni durante i quali sono stati necessari solo pochi interventi di manutenzione, per il distacco di frammenti sulle parti esterne.



Fig. 2

The photographs found in the *Archivio fotografico Panini* allow us to identify which stone blocks were definitely replaced at the time, and to see the interior brick structure in the sections from which the cladding was removed. The informational report, dated 25 September 1972 and signed by the engineer Mario Pergetti, recounts that four types of operations had already been effected on the octagonal section and the upper part of the square section. These involved assessing the blocks and replacing the attachments, reinforcing the connections and the sealings with epoxy resin mixture, the surface treatment of the most deteriorated slabs and molding with very diluted, one-component epoxy resins, replacing badly compromised stone blocks with others made from marble blocks of the same type and origin. The report references site inspections by the Superintendency and experts to assess the work on the sculptures. It presents the

problem of the increasingly long wait for a response and the related cost of the installed scaffolding. The chief engineer suggested working on the sculptures, separating the damaged ones to be treated with diluted resin, the damaged and precarious ones to be replaced with filler blocks, and those that could be saved. At this point, they would wait for opinion of the restoration institute (hoping that it would come within a reasonable amount of time), before beginning surface treatment. The work proceeded more or less as described. There was a large-scale replacement of deteriorated decorated parts with filler blocks, and there was a fairly extensive use of epoxy resins as a sealant for most of the stone blocks (Figs. 1 and 2). The restoration's results were long-lasting. Thirty years have passed, during which only a small amount of maintenance has been required due to the detachment of fragments on the outer parts.



Fig. 3



Fig. 4

Oggi però gli effetti dovuti all'utilizzo delle resine epossidiche, allora non completamente noti, e del cemento sono ben visibili e si notano significativi distacchi sulle pietre più tenere. Infatti la buona tenuta della resina è direttamente proporzionale alla resistenza della pietra. In generale si è osservato che la stesura effettuata su pietra di Vicenza, Ammonitico veronese e trachite non ha dato nel tempo buoni risultati. Al contrario sulla pietra di Aurisina non si sono notati effetti negativi. Il progetto elaborato per il nuovo restauro prevede di intervenire anche sulle resine.

Attraverso la sperimentazione appositamente effettuata è stato possibile individuare le modalità di rimozione di quelle parti che non sono più affidabili. L'intervento, lungo e impegnativo, sarà eseguito dove lo stato di conservazione ne possa essere compromesso; verranno invece conservate le resine in buono stato, che fanno ormai parte della storia del monumento.

Un elemento di conoscenza assai importante per capire quale fosse in quel momento il degrado della torre è fornito dalla straordinaria documentazione fotografica dello studio Orlandini, eseguito appena prima del restauro di quegli anni, che nel volume *La Torre di Modena* documenta lo stato di conservazione dell'apparato decorativo (figg. 3 e 4).

Altre fotografie ormai storiche mostrano la torre riccamente infestata da piante di dimensioni molto maggiori di quelle che vediamo oggi, le croste nere erano molto evidenti e, confrontandole con le foto attuali, si può notare l'effetto del tempo.

La situazione ambientale è differente da allora: l'utilizzo di combustibili fossili è diminuito e le concentrazioni degli ossidi di azoto e del biossido di zolfo sono costanti già da alcuni anni, ma i depositi sulle pietre e le variazioni di colore da bianco a grigio del

However, today, the effects of having used epoxy resins and cement have become evident; they were not completely known at the time. We see significant detachment of the softest stones. The resin's hold is directly proportional to the stone's strength. Generally, we have seen that the applications on Vicenza stone, Verona ammonite stone and Trachyte have not had good results over time. In contrast, negative effects have not been seen on the Aurisina stone. The plan for the new restoration project involves the resins as well. Special experiments identified ways of removing the parts that are no longer reliable. The project will be long and laborious and will be done where the state of preservation is more precarious. The resins that are in good condition will be preserved, as they are now part of the monument's history.

Extraordinary photographs by the Orlandini studio

Fig. 1 e 2 Scultura angolare raffigurante un leone, seconda cornice, fotografata il 15 dicembre 1972 prima dei restauri e come si presenta ora (foto Carlo Orlandini, Raccolte fotografiche modenesi Giuseppe Panini).
Corner sculpture depicting a lion, second cornice, photographed 15 December 1972 before the restoration and how it now appears (Photo by Carlo Orlandini - Raccolte fotografiche modenesi Giuseppe Panini).

Fig. 3 e 4 Scultura angolare raffigurante una fanciulla, terza cornice, fotografata il 28 settembre 1972 e come si presenta ora. Si nota la ricostruzione del naso in resina (foto Carlo Orlandini, Raccolte fotografiche modenesi Giuseppe Panini).
Corner sculpture depicting a young girl, third cornice, photographed 28 September, and how it now appears. Note the reconstruction of the nose with resin. (Photo by Carlo Orlandini, Raccolte fotografiche modenesi Giuseppe Panini).

taken right before the 1970s restoration provide us with very important material to understand the Tower's degree of disrepair at the time. They are published in the *La Torre di Modena* book, documenting the decorations' state of preservation (Figs 3 and 4). Other historic photographs show the Tower overrun by weeds much larger than what we see today. The black crust was not very evident and, comparing it with current photos, we can clearly see the effect of the passage of time. The environmental situation is different than it was at the time. Fossil fuel use has decreased and the concentrations of nitrogen oxides and sulfur dioxide have been steady for several years. However, deposits on the stones and the color variations from white to gray on the canvas that covers the entire scaffolding show that the problem of pollution is still considerable.



telo che copre interamente il ponteggio evidenziano come il problema dell'inquinamento sia ancora rilevante e, soprattutto, come l'ambiente in cui si trova il monumento influisca sul suo degrado³. Dalle immagini scattate da Orlandini è stato possibile documentare l'ubicazione di numerosi blocchi del paramento e di ben 22 protomi che sono stati sostituiti in quell'intervento (vedi tabella sotto). Dai risultati dell'indagine⁴ effettuata oltre che su fonti d'archivio, direttamente sulla torre, che ha identificato anche i diversi litotipi utilizzati, si può però ipotizzare un numero di sostituzioni molto maggiore (figg. 5 e 6). Anche in questa occasione, grazie al ponteggio, è stato possibile ripetere una campagna fotografica perché le immagini testimoniano, meglio delle parole, lo stato di fatto da cui parte il nuovo restauro.

It also shows how a monument's environment affects its deterioration³. The pictures that Orlandini took allow us to document the location of many facing blocks and the 22 protomes that were replaced in this project (see table). The results of the study⁴ made directly on the Tower, as well as the use of archive sources,

identified the different types of stone used. However, a far greater number of replacements can be conjectured (Figs 5 and 6). Here again, the scaffolding made it possible to repeat a photography campaign. Images speak more loudly than words in telling us about the starting conditions of the restoration project.

³Il principale fattore di degrado dei monumenti in pietra è la qualità dell'aria. Numerose fonti inquinanti rendono cattiva la qualità dell'aria: centrali per la produzione di energia, industrie, traffico veicolare e impianti di riscaldamento liberano nell'atmosfera i residui della combustione sotto forma di fumi contenenti particelle solide e liquide che hanno reazione acida e che, nel caso contengano ossidi di azoto e anidride solforosa, anneriscono le superfici su cui si depositano fino a intaccarle e corroderle. L'annerimento delle superfici può evolversi in croste nere costituite da accumuli di particelle che costituiscono un vero e proprio sedimento la cui rimozione è in genere ancora possibile. La corrosione rappresenta invece una disgregazione della parte superficiale della pietra con il distacco di parte di essa. I provvedimenti presi a tutela dell'ambiente, soprattutto la metanizzazione, hanno portato notevoli miglioramenti alla qualità dell'aria e agli effetti sui monumenti. In particolare la metanizzazione ha ridotto

l'immissione di SO₂ nell'atmosfera, oltre a ridurre il sedimento costituito dalle particelle solide e liquide che si può depositare sulle pietre. Tuttavia il metano, bruciando, produce ossidi d'azoto, che assieme ad altri inquinanti (monossido di carbonio, anidride carbonica, polveri sospese) producono deposizioni umide (che avvengono con l'intermediazione di goccioline d'acqua) o secche che possono produrre acido solforico e acido nitrico portando all'acidificazione dell'ambiente, contrastandone la diminuzione che si è avuta negli ultimi anni durante i quali il pH si è molto avvicinato al valore di 5,6 dell'acqua piovana in equilibrio con la CO₂ atmosferica (dati forniti dal dottor Alessandro Annovi del Settore Ambiente del Comune di Modena).
 "Le sculture ritrovate, analisi storico, artistica e litologica dell'apparato scultoreo della Ghirlandina", tesi di laurea di Simona Pedrazzi, relatore Professor Stefano Lugli, 13 ottobre 2008.

⁴Air quality is the main factor in the deterioration of stone monuments. Numerous sources of pollution make the air quality poor, including energy production plants, industries, road traffic and heating systems that release combustion residues in the air in the form of fumes containing solid and liquid particles that have an acid reaction. If they contain nitrogen oxides and sulfur dioxide, they blacken the surfaces where they are deposited and then corrode them. The blackening of the surfaces may develop into black crusts made of accumulations of particles that form a sediment which can generally still be removed, whereas corrosion means that that part of the stone's surface has separated and part of it has detached. Environmental protection measures, especially conversion to methane, have led to considerable improvements in air quality and the effects on monuments. Methane use has reduced SO₂ emissions in the

atmosphere, as well as reducing the sediment of solid and liquid particles that may settle on stones. However, burning methane creates nitrogen oxides, along with other pollutants (such as carbon monoxide, carbon dioxide and suspended dust) which create moist deposits (occurring through the mediation of water drops) or dry deposits which can create sulfuric acid and nitric acid, causing the environment to become acidified, countering the decrease that has taken place in recent years in which the pH came very close to the 5.6 value of rainwater in balance with the atmospheric CO₂. (Data supplied by Dr. Alessandro Annovi of the Environmental Department of the Modena City Council).
 "Le sculture ritrovate, analisi storico artistica e litologica dell'apparato scultoreo della Ghirlandina", dissertation by Simona Pedrazzi, adviser: Professor Stefano Lugli, 13 October 2008.

Figg. 5 e 6 Sostituzione di elementi lapidei eseguita nel corso dei restauri del 1972 che mostra come in alcuni casi il rivestimento sia completamente distaccato dalla parete in laterizio (foto Carlo Orlandini, Raccolte fotografiche modenesi Giuseppe Panini). Replacement of stone elements during the 1972 restorations showing how in some cases the cladding had become completely detached from the brick wall (Photo by Carlo Orlandini - Raccolte fotografiche modenesi Giuseppe Panini).

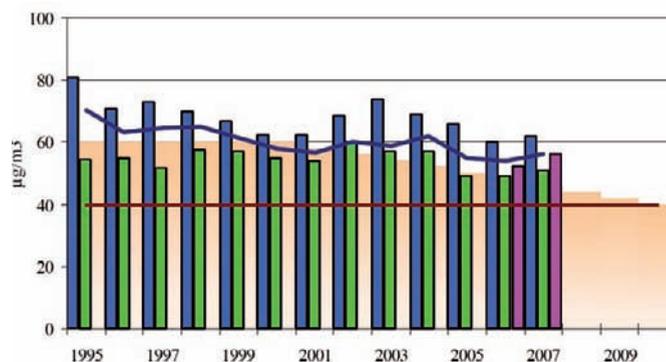


Tabella inquinanti
 concentrazioni di biossido di azoto registrate in città, dati ARPA Provincia di Modena
Pollutant table
 caption: concentrations of nitrogen dioxide recorded in the city, ARPA Provincia di Modena data

**Elementi lapidei
sostituiti nel 1970
e documentati**
Stone elements
replaced in 1970,
documented

**Elementi lapidei
probabilmente
sostituiti nel 1970**
Stone elements
likely
replaced in 1970

*Tavola di ubicazione dei conci in pietra
sostituiti nel corso dei restauri degli anni
Settanta ("Analisi e mappatura dei fenomeni
di degrado della torre Ghirlandina:
strumento indispensabile per il restauro",
tesi di laurea di Luca Corradini, relatore
Professor Stefano Lugli, 2008).*

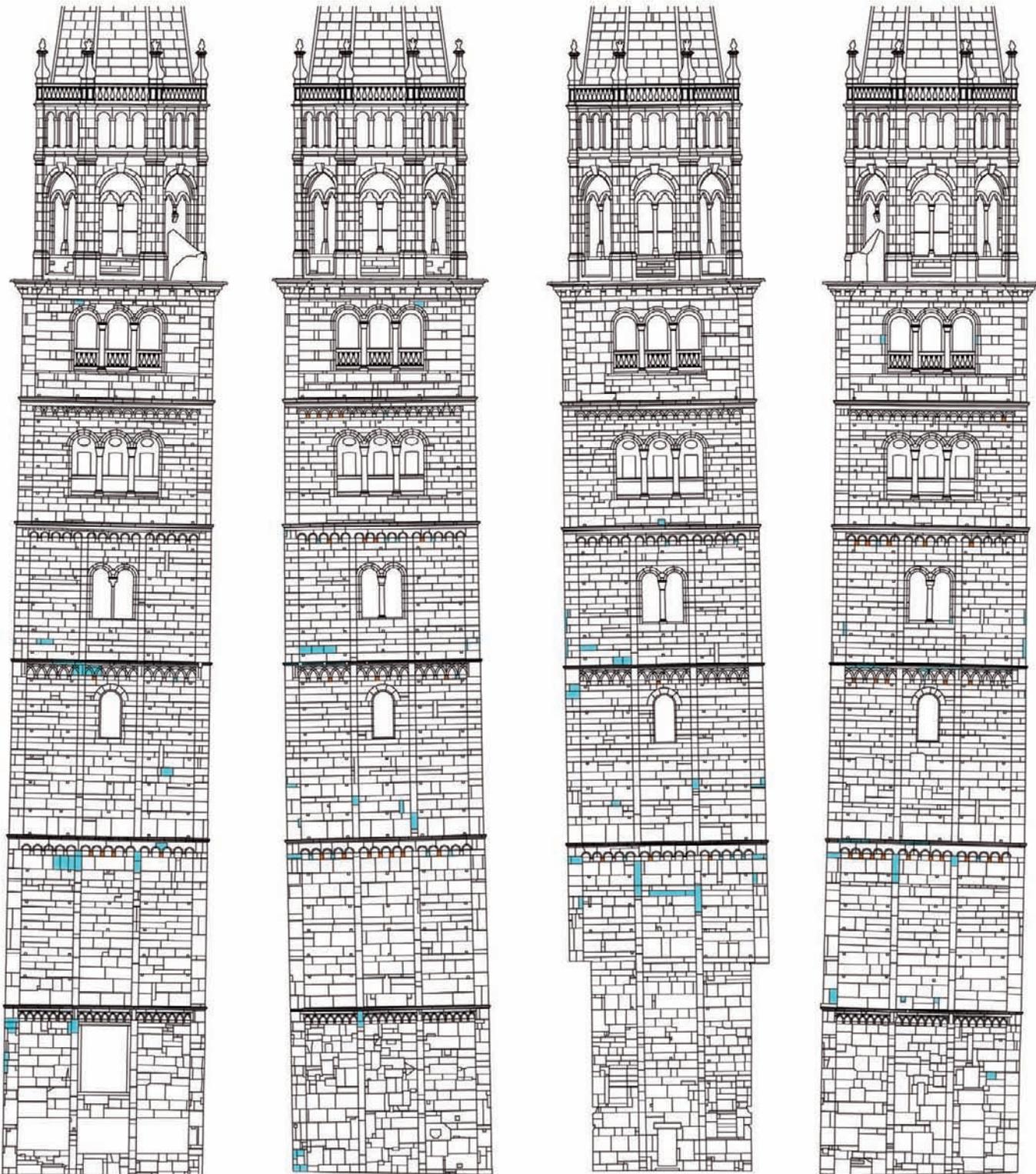
*Table location of the stone blocks replaced
during the 1970s restoration ("Analisi
e mappatura dei fenomeni di degrado
della torre Ghirlandina: strumento
indispensabile per il restauro",
dissertation by Luca Corradini,
adviser: Professor Stefano Lugli, 2008).*

NORD

EST

SUD

OVEST



Le superfici

Surfaces

LE PIETRE THE STONES
DELLA TORRE GHIRLANDINA OF THE GHIRLANDINA TOWER

Stefano Lugli, Cesare Andrea Papazzoni,
Silvia Gavioli, Carlotta Melloni, Giulia Rossetti,
Simone Tintori, Riccardo Zanfrognini

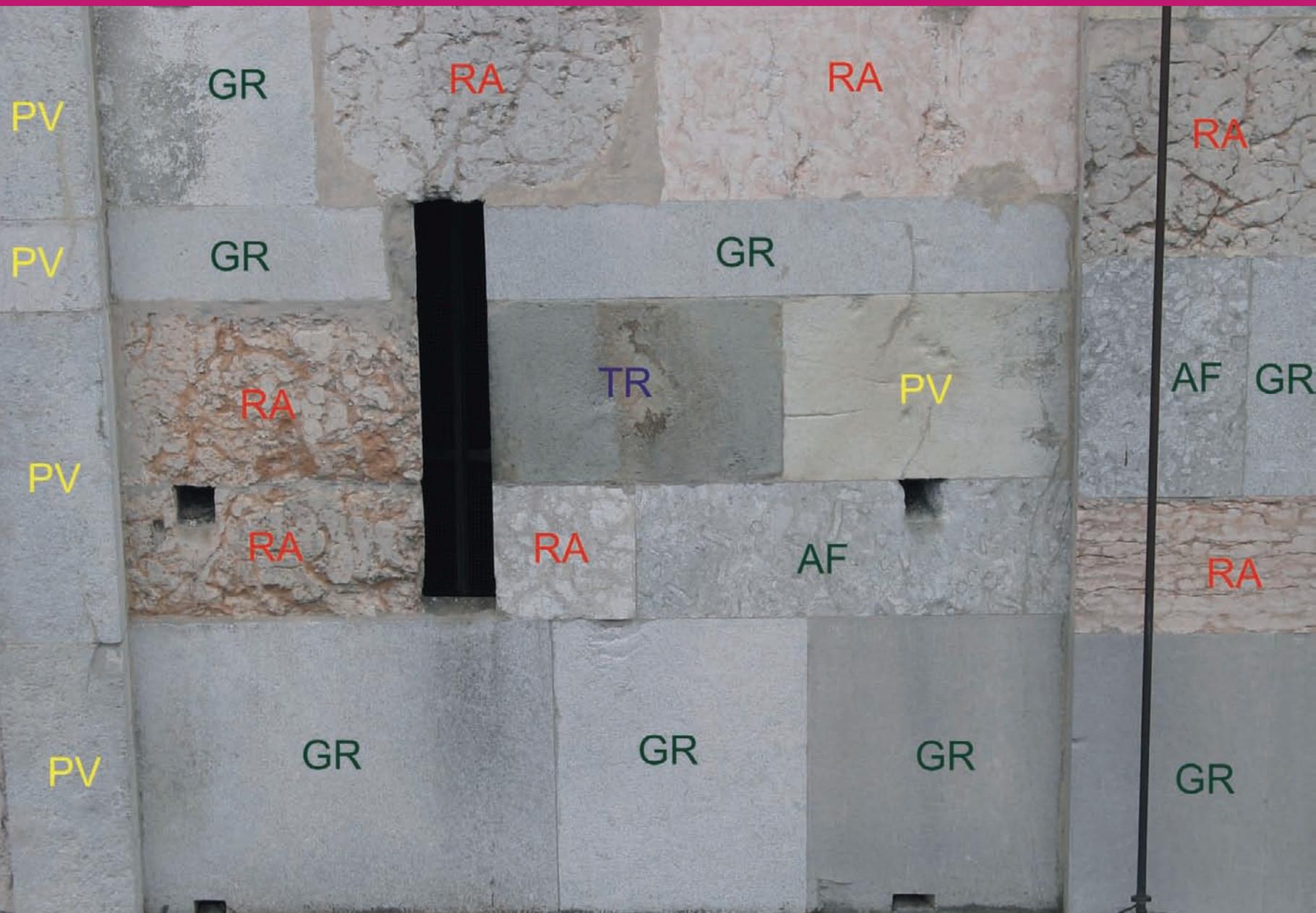


Fig. 1 Esempio di accostamento di diversi litotipi sul lato ovest, terzo piano della torre. Example of some different lithotypes visible on the Ghirlandina Tower; northern side, third floor.

AF, Aurisina fiorita; GR, granitello; PV, pietra di Vicenza; RA, Rosso Ammonitico; TR, trachyte.

La torre simbolo della città possiede un rivestimento lapideo che costituisce un sorprendente mosaico di pietre (fig. 1). La mappatura completa dei conci ha rivelato un dato inaspettato: la torre è rivestita da ben sedici varietà di pietre diverse. Il confronto tra i materiali del paramento e le *facies* lapidee importate dai Romani e ricavate dalle spoliazioni di epoca tardoantica e medievale ci rivela l'affascinante storia delle fasi costruttive della torre e delle politiche di approvvigionamento dei materiali lapidei nella città.

Metodologia e scopo delle indagini

Allo scopo di fornire dati fondamentali alle operazioni di restauro, è stata eseguita l'identificazione geologico-petrografica di tutti i conci che costituiscono il paramento lapideo della torre. Il paramento murario della torre è costituito da circa 10.000 conci di dimensioni variabili. Una prima fase del rilievo è stata condotta in occasione dei rilievi fotogrammetrici e delle ispezioni con tecniche alpinistiche nel 2005. A questa prima fase è seguito il controllo diretto del rilevamento del paramento effettuato dal ponteggio a partire dal marzo 2008. Durante gli esami alcuni frammenti di roccia distaccati sono stati rimossi e utilizzati per le analisi petrografiche, insieme ad altri custoditi dal Comune di Modena. I campioni di roccia sono stati consolidati per effettuare analisi petrografiche attraverso impregnazione sotto vuoto in resina epossidica bicomponente (araldite). Dai campioni così consolidati sono state ricavate sezioni sottili per l'osservazione al microscopio ottico secondo metodologia standard. Lo scopo delle analisi era quello di ottenere il catalogo e la mappatura delle rocce che costituiscono il paramento e la caratterizzazione e mappatura dei fenomeni di degrado. Parallelamente è stato avviato un grande progetto di catalogazione dei litotipi impiegati dai Romani attraverso l'analisi dei manufatti presenti nelle collezioni museali modenesi e di quelli recentemente rinvenuti negli scavi archeologici.

I litotipi

Nella torre sono stati identificati sedici tipi di rocce diverse rappresentate da numerose varietà, di seguito elencate in ordine di abbondanza: Rosso Ammonitico e Scaglia rossa dal Veronese, pietra di Aurisina (Aurisina fiorita e granitello) dal Triestino, pietra di Vicenza dai colli Berici, trachite dai colli Euganei e, in quantità nettamente inferiore, pietra d'Istria, marmi (da Carrara, dall'isola di Marmara in Turchia e dalle Alpi), arenaria appenninica (tre tipi diversi) e, posti in opera durante i restauri del secolo scorso, bronzzetto, pietra di Chiampo e travertino (fig. 2).

The Ghirlandina Tower, the symbol of Modena, has a cover that is an amazing stone mosaic (Fig. 1). The complete survey of the rock slabs on the external walls revealed unexpected results: the Tower is covered with sixteen different varieties of stone. The comparison between the rocks imported to Modena by the Romans and the materials obtained from despoliations of late antiquity and the medieval era reveals the fascinating story of the Tower's construction and the stone-supplying policy of the town.

Methodology

A complete survey of the rock slabs on the external walls of the Tower has been carried out in order to provide fundamental data for the restoration. The Tower's stone wall consist of about 10,000 slabs of different sizes. A first phase of the survey was performed in 2005 during the operation for the photogrammetric record and the inspections using mountaineering ropes. From March 2008, the survey has been conducted directly from the restoration scaffolding. Detached rock fragments were collected for petrographic analyses.

The samples were consolidated with epoxy resin to obtain thin sections for optical microscope observations. The aim was to obtain a catalogue of the natural rocks and the characterization of the alteration phenomena. A parallel, large project on the characterization of the rocks imported to Modena by the Romans has been also carried out through analyses of the museum collections and of the recent archaeological findings at Piazza Roma and Via Emilia.

The rocks

Sixteen different ornamental stones have been identified in the tower: *Rosso Ammonitico* and *Scaglia veneta* from the Verona area, *pietra di Aurisina* (*Aurisina fiorita* and *granitello*) from the Trieste area, *pietra di Vicenza* from the Berici Hills, trachyte from the Euganei Hills,

pietra d'Istria from Croatia and minor marble (from Carrara, Marmara island in Turkey and from the Alps), sandstone from the Apennines (three varieties) and, installed during the most recent restorations, *bronzzetto*, *pietra di Chiampo* and travertine (Fig. 2).

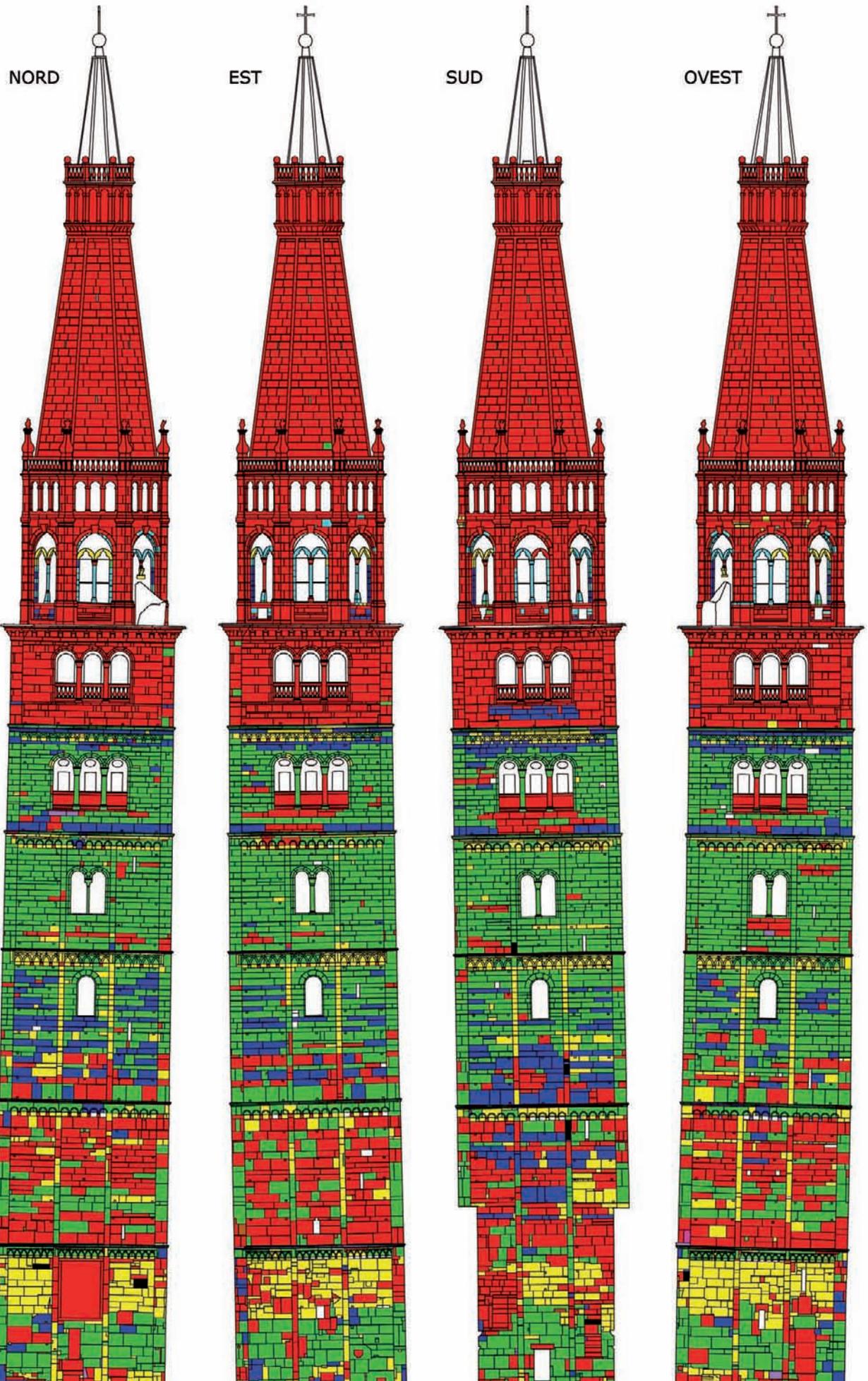


Fig. 2 Mappa delle diverse litologie identificate sul paramento della Ghirlandina.
Map of the different lithotypes identified on the wall of the Ghirlandina Tower.

Fig. 2

Rosso Ammonitico

Il Rosso Ammonitico è una caratteristica roccia calcarea nodulare a grana fine di colore variabile dal bianco-giallastro, al rosa e al rosso cupo, che affiora estesamente nelle Alpi (fig. 3). La formazione geologica del Rosso Ammonitico veronese (Martire *et al.*, 2006) è di età giurassico medio-superiore (176-146 milioni di anni fa). I fossili caratteristici sono le ammoniti, molluschi cefalopodi estinti alla fine del cretaceo (65 milioni di anni fa), imparentati con l'attuale *Nautilus*. La conchiglia delle ammoniti aveva una forma a spirale più o meno stretta, suddivisa internamente in numerose camere da setti con andamento complesso, spesso ondulati. L'animale viveva nella camera più esterna, che a volte era protetta da una sorta di coperchio calcareo, detto aptico. Al microscopio, in sezione sottile, si possono osservare molti altri fossili (fig. 4). Tra questi sono abbondanti *Posidonia* sp. (un bivalve pelagico), *Saccocoma* sp. (piccolo echinoderma pelagico), oltre a frammenti di gusci di ammoniti e aptici. Il Rosso Ammonitico fu intensamente utilizzato dai Romani nel Veronese a partire dall'età augustea e dall'inizio del I secolo d.C. fu esportato anche nelle regioni limitrofe (Buonopane, 1987). Le antiche cave si trovavano in Valpolicella (S. Ambrogio) e in Valpantena. Il Rosso Ammonitico compare piuttosto raramente tra i manufatti romani rinvenuti negli scavi archeologici di *Mutina*. L'unica eccezione è rappresentata dalle imponenti colonne all'interno del Duomo. Le colonne sono tutte in due pezzi di dimensioni diverse e anche i capitelli sono spesso compositi, rivelando gli sforzi di assemblaggio di blocchi e fusti di probabile reimpiego. Fu importato diffusamente a Modena soltanto a partire dalla seconda metà del XIII secolo, per poi divenire la roccia ornamentale più apprezzata e utilizzata in età rinascimentale e ducale.



Fig. 3

Fig. 3 Coppia di lastre di Rosso Ammonitico. In alto la varietà rosata con una sezione di ammonite. In basso la varietà bianca. In entrambi i casi è ben visibile il caratteristico aspetto nodulare della roccia. Lanterna, facciata sud-est.
A couple of Rosso Ammonitico slabs. Above, the pink-coloured variety; an ammonite section is clearly visible. Below, the white-coloured variety. In both cases the characteristic nodular appearance is evident. Lantern, south-eastern façade.

Fig. 4 Foto al microscopio ottico di una sezione sottile di Rosso Ammonitico. Sono visibili numerosi gusci di bivalvi pelagici (*Posidonia*) e frammenti di echinodermi pelagici (*Saccocoma*, in alto a destra). La roccia è attraversata da discontinuità sature, le stiloliti, marcate dalla presenza di ossidi e/o idrossidi di ferro di colore rosso.
Photomicrograph of Rosso Ammonitico. Several shells of the pelagic bivalve *Posidonia* and some fragments of the pelagic echinoderm *Saccocoma* (upper right) are clearly visible. The rock is cross-cut by the characteristic sutured discontinuities called stylolites, marked by red-colored iron oxides and/or hydroxides.

Rosso Ammonitico

The Rosso Ammonitico is a characteristic fine-grained calcareous rock whose color varies from whitish-yellowish to pink to dark red, cropping out extensively in the Alpine chain (Fig. 3). The geological formation of the Rosso Ammonitico Veronese (Martire *et al.*, 2006) is dated to the middle-late Jurassic (176-146 million years ago). Typical fossils are the ammonites, cephalopod mollusks extinct since the end of the Cretaceous (65 million years ago), relatives of the modern *Nautilus*. The ammonite shell was spirally arranged, with more or less tight coiling, subdivided internally into chambers by several septa with complex, commonly undulated sutures with the external wall. The animal occupied only the last chamber, which frequently had a sort of lid, called aptychus. Under the optical microscope we can observe several other fossils (Fig. 4). Among them, apart from ammonite shell fragments and aptychi, particularly abundant are *Posidonia* sp. (a pelagic bivalve), and *Saccocoma* sp. (a small pelagic echinoderm). The Rosso Ammonitico was

intensively quarried by the Romans in the Verona Province beginning with the age of Augustus; starting from the 1st century AD it was exported to the neighboring regions (Buonopane, 1987). The ancient quarries were in the Valpolicella (S. Ambrogio) and Valpantena valleys, both fairly close to Verona. The Rosso Ammonitico has rarely been found among the Roman artefacts in the archaeological excavations of *Mutina*. The only exception is represented by the massive columns inside the Cathedral, which were surely recycled from a large Roman building. The columns consist of two pieces of different sizes, and even most of the capitals are made of two parts as well, clear evidence of re-assembled blocks and shafts coming from the despoliation of ancient buildings. The Rosso Ammonitico has been extensively imported to Modena only since the second half of the 13th century, and it became the ornamental stone most appreciated and frequently used during the Renaissance and the Ducal age.

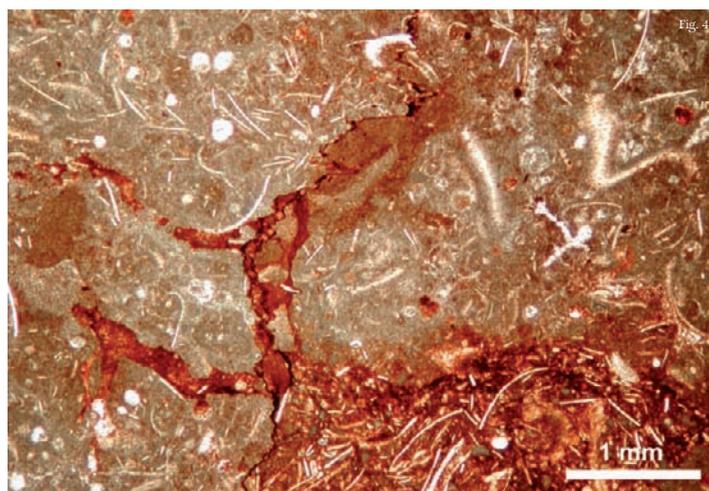


Fig. 4

Scaglia rossa

La Scaglia rossa è una roccia calcarea a grana fine, di colore da bianco-rosato a rosso, di età che va dal Cretaceo superiore all'Eocene inferiore (100-49 milioni di anni fa).

Esiste una varietà particolare di questa formazione detta lastame o pietra di Prun, che ha un aspetto nodulare molto simile al Rosso Ammonitico e che è stata identificata in alcuni conci del rivestimento della torre. Il lastame, di età Cretaceo superiore (Turoniano superiore-Coniaciano, circa 90-85 milioni di anni fa; Lozar e Grosso, 1997), contiene ammoniti ed è pertanto difficile da distinguere dal Rosso Ammonitico veronese, con il quale condivide anche l'area geografica di provenienza, la provincia di Verona.

Tra i macrofossili, raramente possono essere presenti le rudiste, che invece non sono presenti nel Rosso Ammonitico.

La certezza dell'identificazione della Scaglia rossa si ottiene con l'esame al microscopio. I microfossili infatti sono diversi da quelli del Rosso Ammonitico: si tratta di foraminiferi planctonici (generi *Globotruncana*, *Marginotruncana*, *Dicarinella*, ecc.) caratteristici del Cretaceo superiore (fig. 5).

Anche la Scaglia rossa è estremamente rara tra i manufatti romani rinvenuti a Modena. Probabilmente, date le comuni caratteristiche estetiche e meccaniche, essa fu importata dall'area veronese contestualmente al Rosso Ammonitico a partire dall'epoca medievale e successivamente. Date le caratteristiche macroscopiche simili e le difficoltà di riconoscimento, la mappa dei litotipi riporta il Rosso Ammonitico e la Scaglia rossa in un unico gruppo.

Scaglia rossa

The *Scaglia rossa* is a fine-grained limestone, whitish-pink to red-colored, dating back to between the late Cretaceous and the early Eocene (100-49 million years ago).

A particular variety of this limestone, named *lastame* or *pietra di Prun*, with a nodular appearance very similar to the *Rosso Ammonitico*, has been identified in some rock slabs of the Tower.

The *lastame* is late Cretaceous in age (late Turonian-Coniacian, about 90-85 million years ago; Lozar & Grosso, 1997) and, being rich in ammonites, it is difficult to distinguish from the *Rosso Ammonitico*, also because it comes from the same geographic area (the Verona Province).

Among macrofossils, rudists have been rarely observed, and indeed they are never present within the *Rosso Ammonitico*.

To correctly identify the *Scaglia rossa*, microscopic analysis is needed, because the microfossils are completely different: the *lastame* contains abundant planktonic foraminifers (genera *Globotruncana*, *Marginotruncana*, *Dicarinella*, etc.), exclusive of the upper Cretaceous (Fig. 5).

The *Scaglia rossa* has rarely been found in the Roman artefacts of Modena. Given their common aesthetic and mechanic properties, it was probably imported from the Verona Province together with the *Rosso Ammonitico*, starting only from the Middle Age. Due to the macroscopic similarities and identification problems, in the map of lithotypes, the *Rosso Ammonitico* and the *Scaglia rossa* have been grouped together.

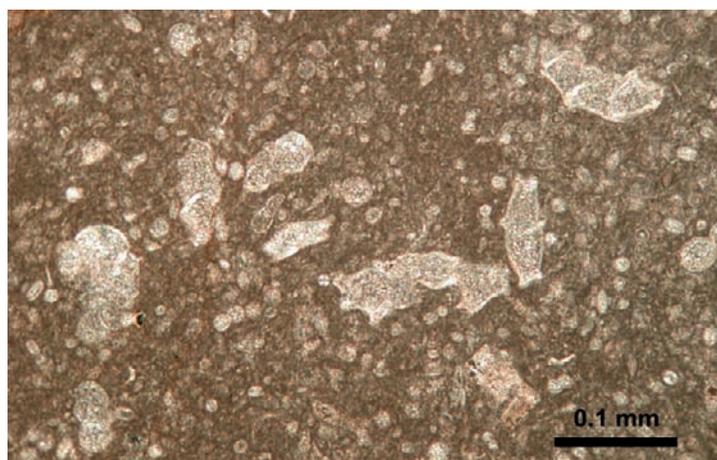


Fig. 5

Fig. 5 Foto al microscopio ottico di una sezione sottile di Scaglia rossa. Sono presenti gusci di foraminiferi planctonici (globotruncane) tipici del Cretaceo superiore. Photomicrograph of *Scaglia rossa*. The presence of characteristic planktonic foraminifers (globotruncana) indicates a Cretaceous age.

Pietra di Aurisina

La pietra di Aurisina è un calcare biogeno appartenente alla formazione geologica del calcare di Aurisina (cretaceo superiore, 100-65 milioni di anni fa) che affiora nell'altopiano carsico nei dintorni di Trieste (Tentor *et al.*, 1994; Maritan *et al.*, 2003). La caratteristica principale di questa pietra ornamentale è il contenuto in fossili di rudiste, un particolare tipo di bivalvi estinti alla fine del Cretaceo (65 milioni di anni fa) lontanamente imparentati con le attuali ostriche. Le rudiste avevano sviluppato una valva conica, più o meno allungata e ricurva, spesso disposta verticalmente con l'apice rivolto verso il basso, mentre l'altra fungeva da "coperchio" per proteggere il mollusco (Cestari e Sartorio, 1995).

La pietra di Aurisina presenta due varietà principali, che prendono il nome di Aurisina fiorita e granitello (fig. 6). L'Aurisina fiorita è una biocalcirudite contenente gusci interi di rudiste, a volte in posizione di vita, circondati da frammenti di gusci o da fango carbonatico (fig. 7).

Pietra di Aurisina

The *pietra di Aurisina* is a biogenic limestone belonging to the geological formation of the *calcare di Aurisina* (upper Cretaceous, 100-65 million years ago), which crops out in the Karst plateau near Trieste (Tentor *et al.*, 1994, Maritan *et al.*, 2003). The main feature of this ornamental stone is the presence of rudists, a kind of bivalve extinct at the end of the Cretaceous (65 million years ago), distant relatives of modern oysters.

The rudists had one cone-shaped valve, elongated and curved, commonly vertical with the apex facing down, the other one flat as a "lid" protecting the mollusk's soft body (Cestari and Sartorio, 1995). The *pietra di Aurisina* has two distinct varieties, named *Aurisina fiorita* and *granitello* (Fig. 6). The *Aurisina fiorita* is a biocalcirudite with whole rudist shells, frequently in life position, surrounded by shell fragments or carbonate mud (Fig. 7).



Fig. 6

Fig. 6 Le due varietà della pietra di Aurisina: le due lastre al centro e in alto a sinistra sono in Aurisina fiorita contenenti numerosi resti di gusci di rudiste, tutte le altre lastre sono in granitello, dal tipico aspetto granulare. Lato ovest, quarto piano. The two varieties of *pietra di Aurisina*: the two slabs at center and upper left corner are *Aurisina fiorita* showing large rudists shells, all other slabs are the *granitello* type, with the typical granular appearance. Western façade, fourth floor.

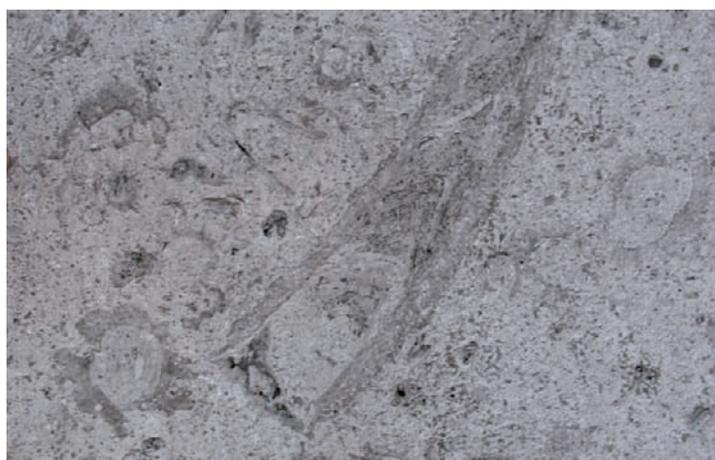


Fig. 7

Fig. 7 Lastra di Aurisina fiorita mostrante diverse sezioni longitudinali e trasversali di rudiste. Lato sud, quinto piano. Slab of *Aurisina fiorita* showing several longitudinal and transversal sections of rudists. Southern façade, fifth floor.

La varietà granitello è una biocalcarenite o biocalcirudite, a volte con tracce di bioturbazioni (*Ophiomorpha* sp., fig. 8), costituita principalmente dall'accumulo di frammenti di gusci di rudiste e di echinodermi (fig. 9).

I microfossili sono piuttosto scarsi e mal conservati. Tra essi sono abbastanza frequenti Miliolidae e *Textularia* sp. (foraminiferi), nonché l'alga verde *Thaumatoporella*. La pietra di Aurisina veniva cavata dai Romani a partire dal I secolo a.C. nel Carso costiero presso il comune di Duino Aurisina, a pochi chilometri da Trieste (Bertacchi, 1985). L'attività estrattiva raggiunse l'apice tra il I e il II secolo d.C. per poi cessare quasi completamente e riprendere soltanto a partire dal XVIII secolo (Maselli Scotti, 1985). Le cave si trovavano nei pressi della costa adriatica dove esisteva un porto dal quale i blocchi venivano inviati sulla costa occidentale dell'Adriatico.

Le imbarcazioni risalivano poi i corsi d'acqua per raggiungere le città della pianura padana.

Le testimonianze archeologiche della *Mutina* romana dimostrano un uso frequente della pietra di Aurisina per stele ed elementi architettonici (Capedri, 2005; Corvaglia, 2007).

La spoliazione degli edifici romani in epoca medievale assicurò quindi una notevole quantità di blocchi per il rivestimento della torre Ghirlandina e, in misura nettamente inferiore, per la cattedrale (Rossetti, 2007; Tintori, 2007).

The *granitello* variety is a biocalcarenite/biocalcirudite, sometimes showing bioturbations (*Ophiomorpha* sp.; Fig. 8), mainly composed by rudist shell and echinoderm fragments (Fig. 9).

The microfossils are scanty and usually badly preserved. Among them, common examples are Miliolidae and *Textularia* sp. (foraminifers), and the green algae *Thaumatoporella*.

The *pietra di Aurisina* has been quarried by the Romans since the 1st century BC in the coastal Karst, near Duino Aurisina, a few kilometres from Trieste (Bertacchi, 1985).

The quarrying activity reached its acme between the 1st and the 2nd century AD, then it nearly ceased to re-start

only in the 18th century (Maselli Scotti, 1985). The quarries were (and still are) close to the Adriatic coast, where there was a harbor through which the stones were sent to the western coast. Then, the boats sailed up the rivers to reach the cities of the Po Plain.

The archaeological evidence of the Roman *Mutina* exhibits a frequent use of the *pietra di Aurisina* to build funerary steles and other architectural elements (Capedri, 2005; Corvaglia, 2007).

The despoliation of Roman buildings in the Middle Age supplied a great quantity of *pietra di Aurisina* to cover the Ghirlandina Tower and, to a slighter extent, the Cathedral.

Fig. 8



Fig. 8 Lastra di granitello nella quale è visibile la traccia fossile *Ophiomorpha* dall'andamento serpentiforme attribuibile all'attività di gamberi che abitavano l'antico fondo del mare cretaceo tra 100 e 65 milioni di anni fa. Lato ovest, quarto piano. *granitello* slab with the characteristic snake-shaped fossil trace *Ophiomorpha* related to the activity of shrimps living at the sea bottom during the Cretaceous (100-65 million years ago). Western façade, fourth floor.

Fig. 9

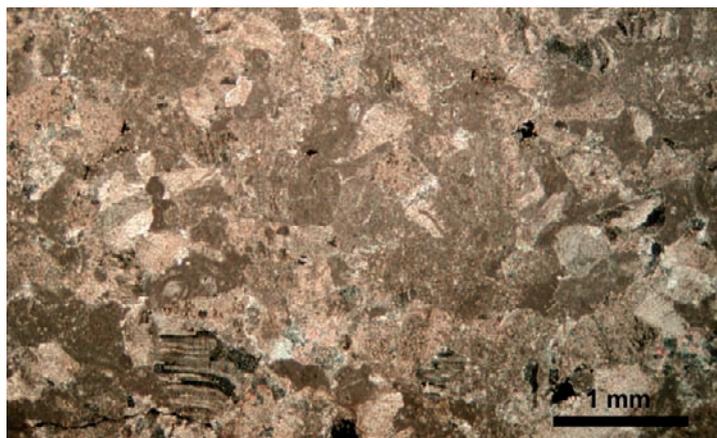


Fig. 9 Granitello al microscopio ottico. Sono visibili numerosi bioclasti costituiti da frammenti di rudiste e di echinodermi. Photomicrograph of *granitello*. The rock consist of bioclasts, mainly rudist and echinoderm fragments.

Pietra di Vicenza

Sotto il nome di pietra di Vicenza, o “pietra tenera”, sono raggruppate alcune rocce calcaree appartenenti alle formazioni geologiche dei “Calcari nummulitici” (Eocene inferiore-medio, 56-37 milioni di anni fa) e delle Calcareni di Castelgomberto (Oligocene inferiore, 34-28 milioni di anni fa) provenienti dai colli Berici nel Vicentino (Piccoli *et al.*, 1976). Si tratta di biocalcareni e biocalciruditi con caratteristiche variabili in base alla granulometria, al colore, che può essere bianco o giallo paglierino, ma soprattutto in base al contenuto in macro e microfossili (Benchiarin, 2007).

I fossili più caratteristici sono i nummuliti (genere *Nummulites*, rappresentato da diverse specie). Essi sono presenti quasi sempre, con esemplari che possono raggiungere alcuni centimetri di dimensione, ma a volte identificabili soltanto con l’ausilio della lente o del microscopio. A occhio nudo sono visibili anche altri fossili, tra cui sono relativamente frequenti noduli algali di colore bianco, detti rodoliti, formati da incrostazioni di alghe rosse coralline dalla caratteristica forma sferoidale più o meno irregolare, con diametri che possono raggiungere diversi centimetri (fig. 10). Piuttosto frequenti sono anche gusci di lamellibranchi (bivalvi), soprattutto pectinidi, e frammenti o spesso anche teche complete di echinoidi, i ricci di mare. In alcuni conci sono state osservate colonie di esacoralli (*Scleractinia*), dalla forma irregolare e con diametri anche di alcune decine di centimetri, nonché alcune colonie di briozoi ramificati.

Pietra di Vicenza

The name *pietra di Vicenza*, or *pietra tenera* (soft rock), refers to some calcareous rocks belonging to the geological formations of the *calcari nummulitici* (lower-middle Eocene, 56-37 million years ago) and the Calcareni di Castelgomberto (lower Oligocene, 34-28 million years ago), both from the Berici Hills, Vicenza Province (Piccoli *et al.*, 1976).

These rocks are biocalcareni and biocalcirudites with different grain size, color (whitish to yellowish), and macro and microfossil content.

Nummulites is the most abundant and characteristic genus, represented by several different species.

They are nearly always present, with specimens reaching some centimetres in size, sometimes visible only by means of a lens or an optical microscope.

Some fossils are also visible to the naked eye, such as white-coloured algal nodules (rhodoliths), composed of encrusting coralline red algae, with a typical irregular spheroidal shape (Fig. 10).

Also common are lamellibranch (bivalves) shells, mainly pectinids, and fragments or complete tests of echinoids (sea urchins). Some slabs also show irregularly-shaped, decimetre-sized hexacorals (*Scleractinia*) colonies, and some colonies of branching bryozoans.

Fig. 10

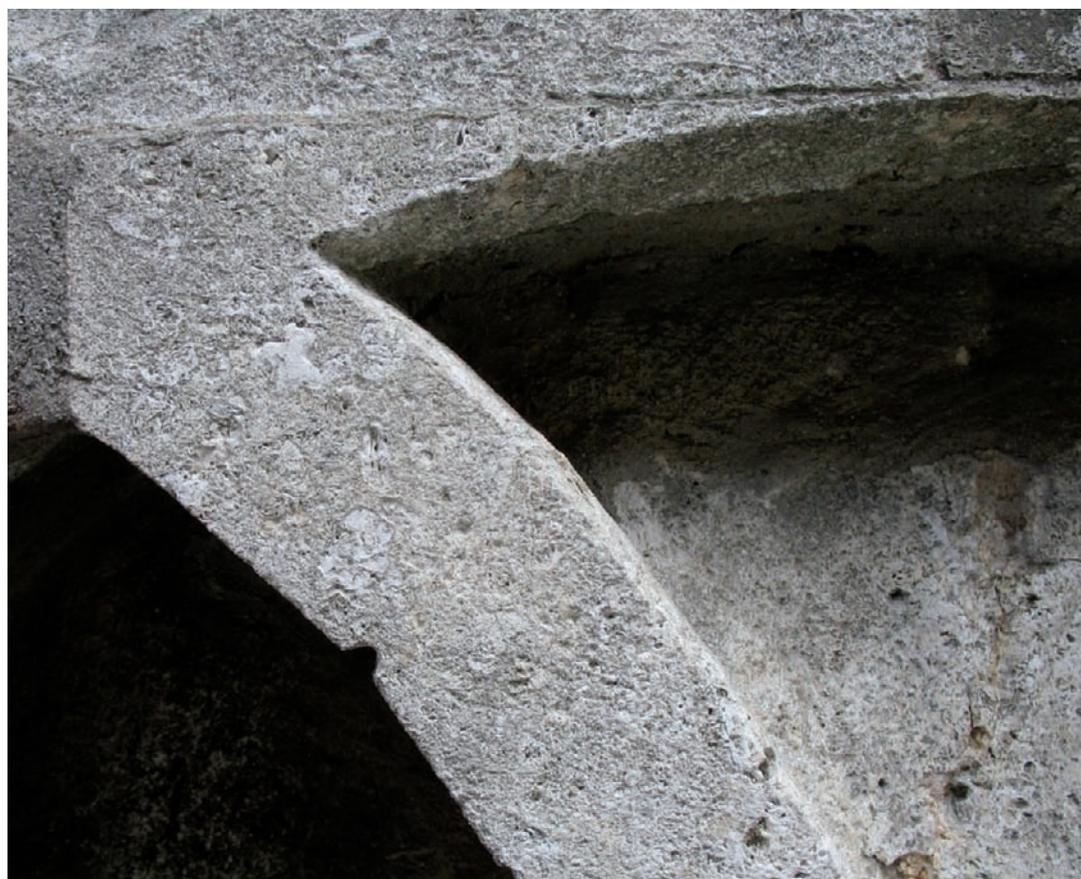
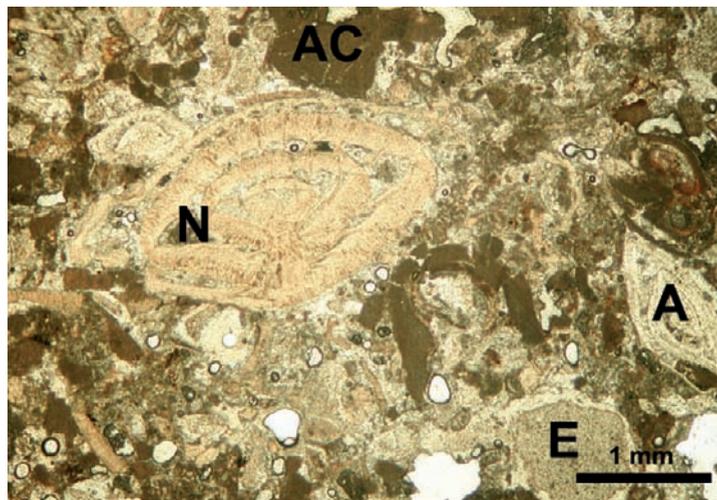


Fig. 10 Archetto in pietra di Vicenza. Sono visibili alcuni noduli algali (rodoliti) di colore bianco. Lato ovest, prima cornice marcapiano. Arch of *pietra di Vicenza* with some white-colored algal nodules (rhodoliths). Western façade, first floor.

Al microscopio è possibile identificare una grande quantità di microfossili, soprattutto foraminiferi e alghe corallinacee. Tra queste ultime sono state riconosciute corallinacee articolate (gen. *Corallina*) e incrostanti (gen. *Lithothamnion*, *Lithophyllum*, *Sporolithon*, ecc.). I foraminiferi sono rappresentati da diverse specie del genere *Nummulites*, accompagnati da *Asterigerina* spp., *Chapmanina gassinensis*, numerose specie di Miliolidae (gen. *Triloculina*, *Quinqueloculina*, *Pyrgo*, ecc.), in alcuni casi foraminiferi planctonici, Discocyclinidae e Orbitoclypeidae (fig. 11). Sulla base delle associazioni fossili (soprattutto dei microfossili) è stato possibile distinguere quattro diverse varietà di pietra di Vicenza nella torre, delle quali tre sono riferibili all'Oligocene inferiore e una all'Eocene medio. Il confronto con i litotipi rinvenuti negli scavi archeologici dimostra che i Romani importavano a Modena esclusivamente la varietà bianca della pietra di Vicenza, roccia di ottima qualità e compattezza che veniva usata prevalentemente per le sculture e le parti decorate degli edifici. Le rocce rinvenute negli scavi archeologici e quelle della torre provenienti da spoliazione di antichi edifici romani presentano le stesse associazioni fossili caratteristiche dei calcari di età oligocenica inferiore (Frost, 1981) che costituiscono di norma la sommità del gruppo montuoso dei Berici, ma che affiorano anche in alcune località ai margini orientali a diretto contatto con la pianura, dove si trovavano le cave romane. Il centro principale di estrazione all'epoca romana era a Costozza e i blocchi venivano trasportati verso Padova e l'Adriatico utilizzando il torrente Bacchiglione (Buonopane, 1987) per poi giungere a *Mutina* risalendo il Po e il Panaro. Gli altri tipi di pietra di Vicenza, quella gialla e quella a grana grossa, che presentano qualità di durezza più scarsa rispetto alla varietà importata dai Romani, furono impiegate per i restauri della torre a partire dal 1800.



Under the optical microscope, it is possible to identify several microfossils, mainly foraminifers and coralline algae.

Among the latter are articulated (*Corallina*) and encrusting (*Lithothamnion*, *Lithophyllum*, *Sporolithon*, etc.) genera. The foraminifers are represented by several species of the genus *Nummulites*, associated with *Asterigerina* spp., *Chapmanina gassinensis*, several species of Miliolidae (gen. *Triloculina*, *Quinqueloculina*, *Pyrgo*, etc.), some planktonic foraminifers, Discocyclinidae, and Orbitoclypeidae (Fig. 11).

By means of the fossil assemblages (especially microfossils), four different varieties of *pietra di Vicenza* have been distinguished in the Tower. Of these, three are dated to the early Oligocene and one to the middle Eocene. The correlation with the lithologic types observed in the archaeological excavations in Modena shows that

the Romans imported only the white variety of the *pietra di Vicenza*, a good-quality, compact stone used principally for sculptures and ornamented parts of the buildings.

The rock slabs from the archaeological sites and the ones from the Tower recycled from Roman ruins bear exactly the same fossil assemblages as the lower Oligocene limestones (Frost, 1981) that occupy the uppermost part of the Berici Hills. They crop out also in a few localities in the eastern part of the hills, just beneath the plain, where quarrying has been documented since the pre-Roman ages.

The main quarrying centre in the Roman age was in the small town of Costozza, from where the stone blocks were transported to Padua and to the Adriatic Sea, along the Bacchiglione river (Buonopane, 1987); they then reached *Mutina* along the Po and Panaro rivers.

The other varieties of *pietra di Vicenza*, the yellow and the coarse-grained ones, which are less durable in comparison to the variety imported by the Romans, have been used in the restorations of the Tower since the 1800s.

Fig. 11 *Pietra di Vicenza* al microscopio ottico. Sono visibili alcuni microfossili. Photomicrograph of *pietra di Vicenza* showing microfossils.

N = Nummulites
A = Asterigerina
AC = Alghe corallinacee coralline algae
E = Frammenti di echinodermi echinoderm fragments

Trachite

La trachite è una roccia vulcanica a chimismo intermedio di colore grigio o giallastro (fig. 12) di età oligocenica (32 milioni di anni fa). Proviene dai colli Euganei in provincia di Padova.

La roccia presenta una struttura porfirica costituita da fenocristalli visibili a occhio nudo di anortoclasio, plagioclasio, biotite immersi in una pasta di fondo omogenea (fig. 13). Estratta già in epoca protostorica, dopo un impiego sporadico già a partire dal II secolo a.C. venne utilizzata estesamente dai Romani nella costruzione di acquedotti, ponti, cippi di confine, lastricati stradali ed edifici (Buonopane, 1987). Nella *Mutina* romana la trachite è stata utilizzata per stele funerarie e per i basolati delle strade.

La provenienza dei blocchi di trachite nel Duomo e nella parte bassa della torre Ghirlandina è stata identificata da Capedri e Venturelli (2005) nelle località di monte Oliveto, monte Merlo e monte Lispida dei colli Euganei.



Fig. 12

Fig. 12 Blocco di trachite euganea, si notano cristalli di anortoclasio (bianco) e di biotite (nero) immersi in una pasta di fondo di colore grigio. Trachite euganea slab. Note the anorthoclase (white) and the biotite crystals (black) within a grey groundmass.

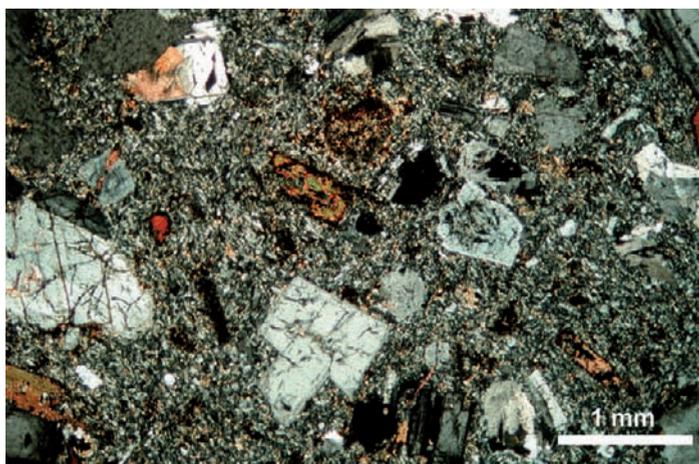


Fig. 13

Fig. 13 Trachite al microscopio ottico. Sono visibili cristalli di anortoclasio e plagioclasio (grigio) e di biotite (rosso-verde). Photomicrograph of trachyte. Anorthoclase and plagioclase (white), and biotite crystals (red-green) are visible.

Trachyte

The trachyte is an intermediate volcanic rock showing a grey or yellowish color (Fig. 12).

The age dates back to the Oligocene (32 million years ago) and its provenance is the Euganei Hills close to the town of Padua.

The rock has a porphyritic structure with phenocrysts visible to the naked eye consisting of anorthoclase, plagioclase, biotite dispersed in a homogeneous groundmass (Fig. 13). Extracted since protohistory, and after sporadic use starting from the 2nd century

BC, it was used extensively by the Romans for the construction of aqueducts, bridges, boundary markers, road pavements, and buildings (Buonopane, 1987). In the Roman *Mutina*, the trachyte was used for grave markers and for road pavements. The provenance of trachyte blocks used in the Cathedral and the Ghirlandina Tower was identified by Capedri e Venturelli (2005) from the localities of Monte Oliveto, Monte Merlo and Monte Lispida in the Euganei Hills.

Pietra d'Istria

Detta anche pietra d'Orsera, è una roccia calcarea a grana fine di colore generalmente bianco o grigio chiaro, attraversata da caratteristiche discontinuità planari a forma di sutura ossea, le stiloliti (fig. 14). La pietra d'Istria ha un'età Giurassico medio-Cretaceo inferiore (168-112 milioni di anni fa; Vlahović *et al.*, 2003) e proviene da varie località della penisola istriana (Croazia). Al microscopio la roccia è costituita da calcite microcristallina o da calcareniti a intraclasti e peloidi (fig. 15) con rari microfossili (ostracodi). Le nostre indagini hanno permesso di evidenziare che i blocchi presenti sulla torre presentano notevoli somiglianze con i litotipi affioranti nella zona di Rovigno.

Nonostante la pietra d'Istria fosse intensamente sfruttata dai Romani, l'analisi dei manufatti conservati nei musei modenesi e rinvenuti nei recenti scavi archeologici ha permesso di escludere che tale roccia fosse stata importata a *Mutina*. Le prime notizie sull'arrivo a Modena di pietre istriane risalgono al 1470, quando 44 blocchi furono fatti giungere da Venezia per i restauri della torre (Baracchi, 2001). A quell'epoca le cave istriane erano intensamente sfruttate dai Veneziani (Bertosa, 1992). Non è possibile verificare la natura delle pietre giunte a Modena a quel tempo, dato che con il nome di pietra d'Istria si indicavano probabilmente litotipi diversi. In ogni caso la possibilità che la pietra d'Istria possa essere giunta a Modena anche in epoca precedente non può essere esclusa.

Alcuni studi sulle pietre modenesi raggruppano tradizionalmente sotto il nome di pietra d'Istria anche la pietra di Aurisina (Bertolani e Rossi, 1971; Bertolani, 1984; Bertolani, 1998 e, in parte, Capedri, 2005). Trattandosi di litotipi diversi e ben distinguibili il cui impiego presenta aspetti storici molto differenti, tale definizione più ampia è stata abbandonata in questa sede.

Pietra d'Istria

This rock is also known as *pietra d'Orsera*. It is a fine-grained limestone, usually white or pale grey in color, with typical planar, suture-shaped discontinuities called stylolites (Fig. 14).

The *pietra d'Istria* is dated to the middle Jurassic-early Cretaceous (168-112 million years ago; Vlahović *et al.*, 2003) and comes from several places in the western Istria (Croatia).

Under the optical microscope, the rock consists of microcrystalline calcite, or peloidal-intraclastic packstone (Fig. 15); ostracods have rarely been observed.

Our research suggest that the Istrian rocks from the Tower are quite similar to those cropping out near Rovigno.

The Romans quarried the *pietra d'Istria* intensively, but this rock was never identified among the artefacts stored in the Modena museums, nor among those recovered from archaeological excavations, and thus was

probably not imported to *Mutina*.

The first documented arrival of Istrian rocks in Modena dates to 1470, when 44 blocks from Venice were apparently used for the restoration of the Tower (Baracchi, 2001). At that time, the Istria quarries were being intensively exploited by the Venetians (Bertosa, 1992).

On the other hand, the true nature of the blocks arriving in Modena is not certain, because at that time different rocks were possibly called "Istrian". Moreover, we cannot exclude the use of *pietra d'Istria* in Modena before that date.

Some papers on the Modena stones traditionally grouped the Istrian stones and the *pietra di Aurisina* under the name of *pietra d'Istria* (Bertolani e Rossi, 1971; Bertolani, 1984; Bertolani, 1998 and, partially, Capedri, 2005).

Given the geological differences between these lithotypes, whose use history is totally different, this comprehensive grouping has been abandoned here.



Fig. 14

Fig. 14 Archetto in pietra d'Istria. Sono visibili le caratteristiche discontinuità sature chiamate stiloliti. Lanterna, lato est.

Arch of *pietra d'Istria* showing the characteristic sutured discontinuities called stylolites. Lantern, eastern facade.

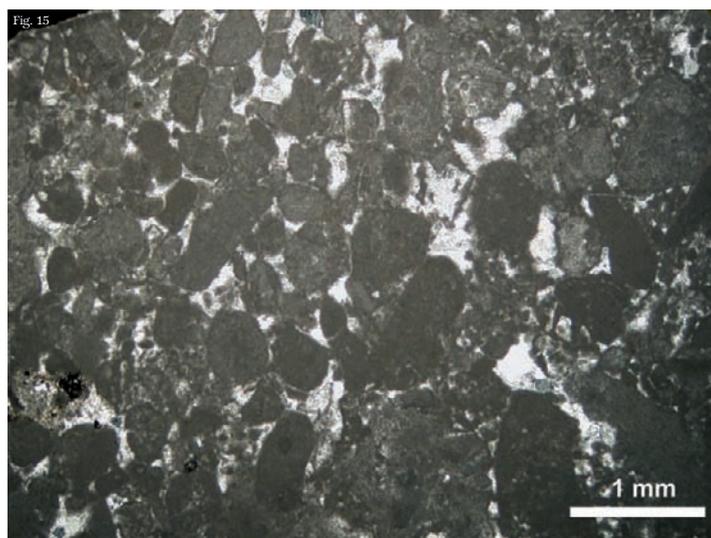


Fig. 15

Fig. 15 Pietra d'Istria al microscopio ottico. La roccia è costituita da calcite a grana fine prodotta dalla litificazione di originario fango carbonatico.

Photomicrograph of *pietra d'Istria*. The rock consists of fine-grained calcite produced by lithification of the original carbonate mud.

Marmi

Contrariamente a quanto si pensa, nella torre i marmi sono presenti in quantità estremamente ridotta. I marmi rinvenuti sono di tre tipi: il marmo proconneso, il marmo di Carrara e un marmo di provenienza alpina.

Il marmo proconneso è rappresentato da poche lastre sicuramente di spoliatura di edifici romani, come dimostrato da tracce dell'antica decorazione (fig. 16). Il proconneso è uno dei marmi più famosi e più usati dell'antichità, probabilmente grazie alla posizione delle cave su di una piccola isola, l'attuale Marmara nel mare omonimo in Turchia, che ne facilitava il trasporto e ne determinava il costo relativamente basso. Fu cavato sin dall'epoca arcaica, e dal I secolo d.C. le cave divennero di proprietà imperiale; l'estrazione fu di notevole entità e si protrasse per tutto il periodo imperiale e bizantino (Monna e Pensabene, 1977).

Il marmo di Carrara è presente sulla torre esclusivamente in elementi posti in opera durante i restauri del 1973 a sostituzione di cornicioni deteriorati e delle protomi nella seconda cornice del lato ovest (fig. 17).

Fig. 17



Marble

To the contrary of what is normally thought, the Tower has only a few marble slabs.

We have identified three types: Proconnesian marble, Carrara marble and an Alpine marble.

The Proconnesian marble is present only in a few blocks that come from the despoliation of Roman buildings, as demonstrated by traces of ancient decoration (Fig. 16). It is one of the most famous and common marbles from antiquity, probably because of the location of the quarry on a small island, the present-day Marmara in the eponymous Sea of Turkey, which facilitated its transportation and in turn determined its relatively low price. It had been quarried since the Archaic period, and from the 1st century AD, the quarries became imperial properties. Its extraction was very intense up to the imperial and byzantine periods (Monna e Pensabene, 1977).

The Carrara marble was used only for replacement cornices and corbels during the restoration of 1973 (Fig. 17).

Fig. 16



Fig. 17 Peduccio di sostituzione in marmo di Carrara posto in opera durante i restauri del 1973. Lato ovest, seconda cornice marcapiano. Carrara marble element emplaced during the restoration works of 1973. Western façade, second floor.

Fig. 16 Scultura a forma di felino in marmo Proconneso. Sono visibili le striature parallele tipiche di questa roccia. Si tratta di un elemento di reimpiego romano riscoperto in epoca medievale. Tracce dell'antica decorazione sono riconoscibili sull'estremità sinistra del blocco. Sculpture of a feline beast in Proconnesian marble showing the typical striped structure of this rock. The sculpture was carved out from a despoliation slab in the Middle Age. Traces of the original Roman decoration are still visible on the left side of the slab.

Il marmo di Carrara è caratterizzato da una struttura a grana molto fine (fig. 18). Nonostante l'attività estrattiva nelle Apuane fosse cominciata nei primi anni del I secolo a.C. (marmo lunense; Dolci, 1988), non sono presenti sulla torre elementi architettonici antichi in marmo di Carrara.

Del terzo tipo di marmo è stato rinvenuto soltanto un blocco di reimpiego romano della parte bassa del lato est. Le caratteristiche petrografiche, come la grana molto grossolana e la presenza di altri minerali quali muscovite e quarzo, sembrano suggerire una provenienza alpina per questo marmo (fig. 19), anche se allo stato attuale delle conoscenze non è possibile specificare l'area (analisi effettuata da C. Gorgoni).

Nel rilievo dei litotipi i tre tipi di marmo descritti sono stati raggruppati alla voce "marmo".

This marble has a characteristic fine-grained structure (Fig. 18). Although the extraction of marbles in the Apuane Alps started in the 1st century BC (*marmora lunensia*; Dolci, 1988), no Carrara marble slabs emplaced during the construction of the Tower were identified.

The third type of marble has been found in only one re-used slab in the lower part of the eastern façade.

The petrographic characteristics, such as the coarse-grained texture and the presence of other index minerals, seem to indicate an Alpine provenance (Fig. 19), but at present it is not possible to specify the source area (analyses performed by C. Gorgoni).

In the map of lithotypes, the three marble varieties have been grouped under the term *marmo*.

Fig. 18

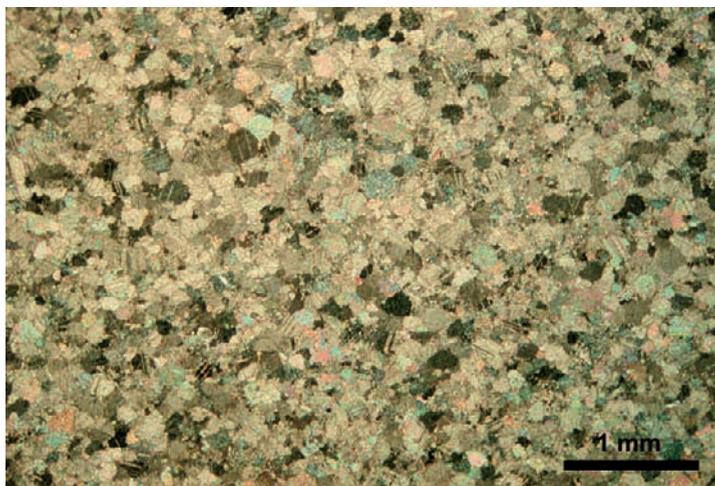


Fig. 18 Microfotografia di una sezione sottile di marmo di Carrara. Si noti la caratteristica grana fine dei cristalli di calcite. Photomicrograph of a Carrara marble. Note the characteristic fine-grained texture of this rock.

Fig. 19

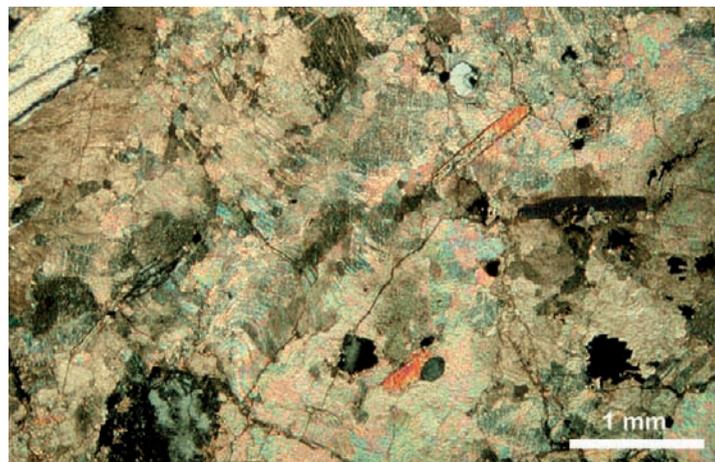


Fig. 19 Microfotografia di una sezione sottile del marmo di probabile provenienza alpina. Notare la notevole dimensione dei cristalli di calcite. Sono presenti anche cristalli di muscovite (rosso-arancio) e quarzo (grigio). Photomicrograph of a thin section of a marble probably coming from the alpine region. Notice the large size of the calcite crystals. Muscovite (red-orange) and quartz (grey) crystals are also present.

Arenarie

Nella torre sono stati individuati pochi blocchi in arenaria, i quali si sono però rivelati appartenenti a tre diverse formazioni geologiche, tutte provenienti dall'Appennino modenese: le arenarie della Formazione di Pantano, le Arenarie di Scabiazza e le arenarie della Formazione di Montepastore.

Le arenarie della Formazione di Pantano (fig. 20) sono di età Burdigaliano-Langhiano inferiore (circa 20-14 milioni di anni fa). Si tratta di biocalcareni lutitiche a cemento carbonatico, costituite principalmente da resti di gusci di foraminiferi planctonici, frammenti di echinodermi, granuli di quarzo, feldspati, muscovite e glauconia (fig. 21). Sono state probabilmente estratte nella zona di Montegibbio.

Le Arenarie di Scabiazza (fig. 22) risalgono al Turoniano superiore-Campaniano inferiore (circa 90-80 milioni di anni fa)

Sandstone

Only a few blocks of sandstone (*arenarie*) have been found on the Tower. They belong to three different geological formations, all from the Modenese Apennines: the *Formazione di Pantano*, the *Arenarie di Scabiazza* and the *Formazione di Montepastore*. The *Formazione di Pantano* (Fig. 20) is Burdigalian-early Langhian in age (about 20-14 million years ago). The rock is a lutitic

biocalcarenite, with a carbonate cement, mainly composed of planktonic foraminiferal tests, echinoderm fragments, quartz, feldspar, muscovite, and glauconite grains (Fig. 21). The sandstone was probably quarried near Montegibbio.

The *Arenarie di Scabiazza* (late Turonian-early Campanian, about 90-80 million years ago; Fig. 22)

Fig. 20



Fig. 21

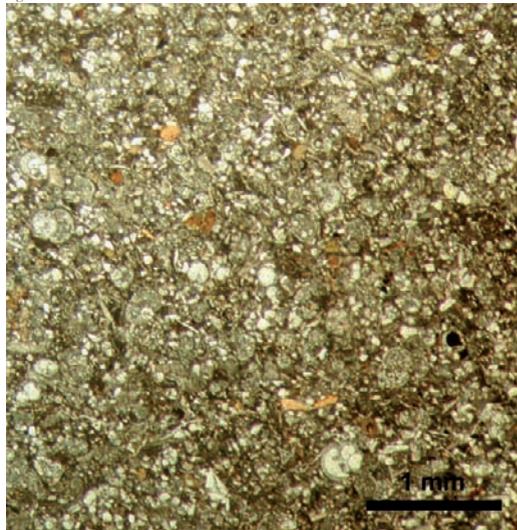


Fig. 20 Blocco in arenaria della Formazione di Pantano profondamente alterato. Notare sulla sinistra alcune lastre di sostituzione in Ammonitico nella varietà bianca poste in opera durante i restauri del 1973.

Lato sud, quarto piano. Deeply altered sandstone block from the *Formazione di Pantano*. On the left some slabs consisting of the white variety of Rosso Ammonitico, emplaced in 1973, are also visible. Southern side, fourth floor.

Fig. 21 Microfotografia di una sezione sottile di arenaria della formazione di Pantano. Sono visibili numerosi gusci di Foraminiferi planctonici, frammenti di echinodermi, granuli di quarzo, feldspati, muscovite e glauconia.

Photomicrograph of a *Formazione di Pantano* sandstone thin section. Several planktonic foraminifers, echinoderm fragments, quartz, feldspar, muscovite, and glauconia grains are visible.

Fig. 22 Davanzali in Arenaria di Scabiazza profondamente alterati da fenomeni di disaggregazione.

Lanterna, lato nord. Windowsills consisting of sandstone from the *Arenarie di Scabiazza* Formation deeply altered by disaggregation phenomena. Lantern, northern side.



Fig. 22

e presentano una caratteristica associazione di granuli di biotite, muscovite e selce (fig. 23). In epoca medievale venivano probabilmente cavate nei pressi di Rodiano.

Le rocce arenacee della Formazione di Montepastore, di età Eocene inferiore e medio (56-40 milioni di anni fa), sono caratterizzate da un elevato contenuto in granuli di glauconia (fig. 24). Furono estratte probabilmente nei pressi di Ospitaletto.

I Romani utilizzarono raramente le arenarie appenniniche a Modena. Per questo motivo la parte quadrata della torre, costruita prevalentemente con materiale di reimpiego romano, ne era probabilmente sprovvista. Blocchi di arenaria potevano essere invece presenti nella parte sommitale costruita dai Campionesi. Le maestranze campionesi infatti utilizzarono le Arenarie di Scabiazza per la costruzione del rosone del Duomo di Modena (in parte restaurato ai primi del 1900 con arenaria della formazione di Pantano; Pedrazzi, 2006) e in arenaria erano probabilmente anche le torrette sulla facciata prima del crollo nel 1501.

In ogni caso l'arenaria fu più volte utilizzata per i restauri, come attestato dai documenti che indicano in Montegibbio l'area di provenienza delle lastre utilizzate per i lavori eseguiti nel 1488 (Baracchi, 2001).

Nella torre oggi restano pochissimi blocchi tutti profondamente degradati. Data la scarsa durezza di questo litotipo possiamo immaginare che l'arenaria sia stata progressivamente sostituita dal Rosso Ammonitico. I tre tipi di arenaria sono stati raggruppati nel rilievo alla voce "arenaria".

Fig. 23 Immagine al microscopio ottico di una sezione sottile di Arenaria di Scabiazza. Sono visibili granuli di quarzo, biotite e muscovite cementati da calcite. Notare le fessure causate dai fenomeni di esfoliazione della roccia.

Photomicrograph of an *Arenaria di Scabiazza* sandstone. The rock contains quartz, biotite and muscovite grains cemented by calcite. Note the fissures caused by exfoliation phenomena.

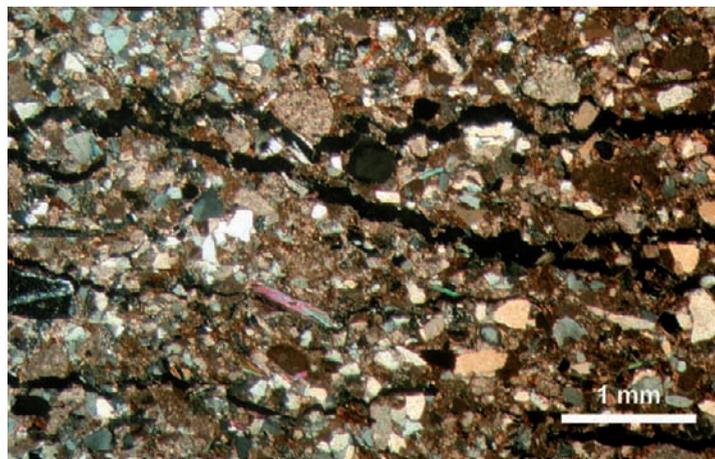


Fig. 23

is characterized by a peculiar combination of biotite, muscovite, and chert grains (Fig. 23). These rocks were probably quarried in the Middle Ages near Rodiano village. The *Formazione di Montepastore* sandstone, which is early-middle Eocene (56-40 million years ago) in age, typically has a high content of glauconia grains (Fig. 24). This rock was probably quarried near Ospitaletto.

The Romans rarely used Apennine sandstone in *Mutina*. For this reason, the lower part of the Tower, built with re-used Roman slabs, was probably devoid of sandstone blocks. Sandstone was possibly used in the upper part of the Tower that was constructed by the Campionesi masters, considering that *Arenarie di Scabiazza* was used by the Campionesi masters to build

the Cathedral rose window (partially restored at the beginning of 1900s with sandstones from the *Formazione di Pantano*; Pedrazzi, 2006). Sandstone was also used to build the turrets on the Cathedral façade. The Apennine sandstones were repeatedly used for replacements, as suggested by documents which indicate Montegibbio as the area of provenance for some slabs used for the 1488 restoration (Baracchi, 2001). At present, only a few blocks of sandstone remain on the Tower, all of them deeply altered. Since these local rocks are characterized by a very low durability, they were probably progressively replaced by slabs of *Rosso Ammonitico*. In the map all three sandstones are grouped under the name *arenaria*.

Fig. 24 Microfotografia di una sezione sottile di arenaria della Formazione di Montepastore. Sono visibili numerosi granuli di quarzo (grigio) e glauconia (verde) cementati da calcite.

Photomicrograph of a *Formazione di Montepastore* sandstone thin section. The rock is made of quartz (grey) and glauconite (green) grains cemented by calcite.

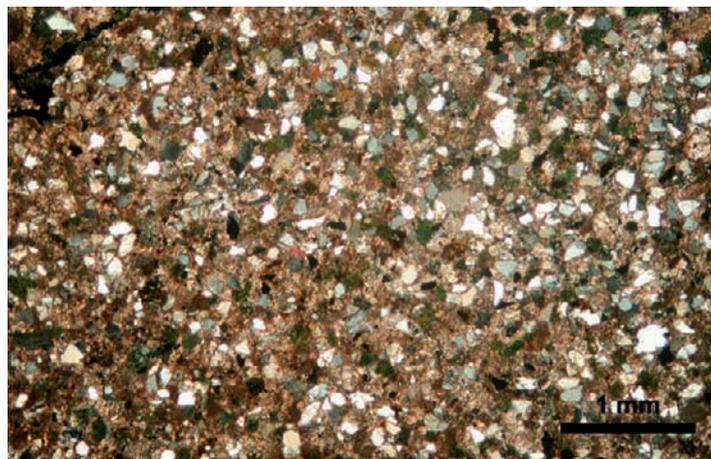


Fig. 24

Bronzetto

Si tratta di una roccia calcarea di età Giurassico inferiore-medio (180-172 milioni di anni fa) contenente ooliti. Le ooliti sono caratteristiche sferule, con diametro tra 0,5 e 2 mm, formate da lamine concentriche di carbonato di calcio. Attualmente si formano soprattutto nelle piane tidali nella zona tropicale, per esempio nei bassi fondali che circondano le isole Bahamas.

Anche il bronzetto, così come la Scaglia rossa, fu cavato dai Romani nel Veronese in associazione al Rosso Ammonitico (Buonopane, 1987). Fino a oggi è noto un solo campione di bronzetto di età romana a Modena: si tratta di alcune tessere di mosaico rinvenute negli scavi di piazza Roma nel 2007.

Nella torre sono presenti soltanto due blocchi posti in opera nei restauri del secolo scorso (fig. 25). Il bronzetto fu impiegato nel 1937 per la ricostruzione delle torrette della facciata del Duomo distrutte dal terremoto del 1501.



Fig. 25

Bronzetto

It is a calcareous rock, early-middle Jurassic in age (180-172 million years ago), containing oolites.

The oolites are peculiar spherical grains, with diameters ranging from 0.5 to 2 mm, formed by concentric laminae of calcium carbonate.

In modern seas, they are produced on the tropical tidal flats, as in the shallow waters surrounding the Bahama Islands.

The *bronzetto*, like the *Scaglia rossa*, have been quarried by Romans near Verona together with the *Rosso Ammonitico* (Buonopane, 1987).

To date, only one sample of *bronzetto* has been identified from the Roman *Mutina*: it is represented by a few mosaic tesserae found during the archaeological excavations of Piazza Roma in 2007.

In the Tower there are only two blocks of *bronzetto*, both emplaced during the restorations of the last century (Fig. 25).

This rock was used in 1937 to rebuild the turrets on the Cathedral façade, which were destroyed by the 1501 earthquake.

Fig. 25 Blocco di bronzetto (al centro), circondato da blocchi di Rosso Ammonitico. *Bronzetto* block (center) surrounded by *Rosso Ammonitico* elements.

Pietra di Chiampo

Si tratta di una roccia calcarea contenente abbondanti resti fossili di nummuliti proveniente dalla valle del Chiampo nel Vicentino. L'età risale all'Eocene medio (49-37 milioni di anni fa). Tra i macrofossili i più evidenti sono i lamellibranchi e gli echinoidi (ricci di mare).

I microfossili sono molto numerosi e diversificati, comprendono foraminiferi, tra cui *Nummulites* spp., *Discocyclina* spp., *Operculina* spp., Miliolidae e foraminiferi planctonici, oltre a briozoi, frammenti di echinodermi e alghe corallinece incrostanti.

La pietra di Chiampo non venne coltivata in modo intensivo dai Romani, forse a causa della difficoltà di trasporto (Buonopane, 1987). Nel paramento della torre è presente solamente un blocco di sostituzione posto in opera durante i restauri del 1973 (fig. 26).

Pietra di Chiampo

It is a limestone with abundant fossils of nummulites, typically coming from the Chiampo valley, Vicenza province. The age is middle Eocene (49-37 million years ago). The more prominent macrofossils are lamellibranches (bivalves) and echinoids (sea urchins). The microfossils are quite abundant and diversified, including foraminifers (*Nummulites* spp., *Discocyclina* spp., *Operculina*

spp., *Miliolidae*, and planktonics), bryozoans, echinoderm fragments, and encrusting coralline algae. The *pietra di Chiampo* was not widely used by the Romans, probably due to transportation difficulties (Buonopane, 1987). Only one block of this rock is present on the Tower. It was installed as a replacement during the restorations of 1973 (Fig. 26).



Fig. 26 Blocco di pietra di Chiampo (grigio chiaro). A sinistra sono visibili le caratteristiche stiloliti. *Pietra di Chiampo* angular element (light grey) showing its characteristic stylolites (on the left).

Travertino

Roccia calcarea a elevata porosità di origine biochimica che si deposita prevalentemente da acque superficiali e può inglobare foglie, ramoscelli, lumache. Il colore varia dal bianco al bruno. Nell'Appennino settentrionale esistono numerose masse di travertino di estensione limitata sfruttate a partire dall'epoca etrusca (Marzabotto; Lugli *et al.*, 2007), e particolarmente in epoca ducale per la produzione della calce e per i teatri d'acqua (Palazzo ducale di Sassuolo; Lugli, 1996). Sulla torre è presente un unico blocco di sostituzione posto in opera durante i restauri del 1973 (fig. 27), come dimostrato dalla documentazione fotografica dell'epoca.

Le caratteristiche della roccia permettono di escludere con certezza una provenienza locale. Il blocco di travertino proviene sicuramente da Tivoli (Roma); i travertini dell'area romana furono usati comunemente anche a Modena a partire dagli anni trenta del 1900.

Travertine

The travertine is a calcareous rock with high porosity, a result of (bio)chemical precipitation mainly from superficial waters, which can incorporate leaves, twigs, snails, etc. Its color can vary from white to brown. In the northern Apennines, there are several travertine masses, that, though not very large, have been exploited since the Etruscan age (Marzabotto near Bologna; Lugli *et al.*, 2007) and in particular during the Ducal period, to produce lime and for the water theatres

(Sassuolo Ducal Palace; Lugli, 1996). Only one replacement block of travertine is present on the Tower. It was sealed on the wall during the restorations of 1973 (Fig. 27), as documented by photographs. The characteristics of the rock exclude with certainty any local provenance; the block surely came from Tivoli (Rome). Travertine ornamental stones from the Rome area have been widely imported and used in Modena since the 1930s.



Fig. 27

Fig. 27 Blocco di travertino di Tivoli (Roma) di colore bianco parzialmente ricoperto da resina (colore bruno). L'elemento è stato messo in opera durante i restauri del 1973. Travertine block (white) coming from Tivoli (Rome), partially covered by resin (brown). It was emplaced during the 1973 restorations.

Significato della distribuzione dei litotipi

I numerosi litotipi che costituiscono il paramento della torre non presentano una distribuzione omogenea, ma ogni piano è caratterizzato dalla prevalenza di rocce diverse in conci di varie dimensioni. Tali caratteristiche suggeriscono che la maggior parte dei blocchi provenga da spoliazioni di antichi edifici. Solo le parti sommitali, a partire dal sesto piano, sono state rivestite utilizzando un unico tipo di roccia, il Rosso Ammonitico veronese in lastre di nuova cavatura.

La revisione dell'analisi dei manufatti presenti nelle collezioni museali modenesi (Capedri, 2005) e i recenti rinvenimenti in piazza Roma e nelle aree funerarie lungo la Via Emilia (la necropoli di Via Emilia est-Autoclub, la Via Emilia al di sotto della tangenziale Pasternak, il monumento funerario di Vetilia Egloge, il leone funerario della Fossalta) ha dimostrato che tutti i litotipi rinvenuti sulla torre e nella cattedrale sono stati utilizzati dai Romani a Modena. Solo l'arenaria e il Rosso Ammonitico sono presenti in pochissimi reperti.

Dunque i Romani non importavano ammonitico veronese a Modena in quantità significative. Questi dati dimostrano che la maggior parte della torre fu costruita utilizzando materiali di spoliazione di età romana.

La pratica del reimpiego di antichi materiali è attestata da documenti del 1167 e del 1242, attraverso i quali vengono concesse licenze per effettuare escavazioni nei pressi della città alla ricerca di materiali da costruzione (Cavedoni, 1828). L'indizio più significativo deriva dallo studio dei materiali lapidei della necropoli di Via Emilia est (Corvaglia, 2007).

Qui sono stati rinvenuti esclusivamente pietra di Aurisina, pietra di Vicenza e trachite in proporzioni del tutto analoghe a quelle rilevate nel terzo piano della torre.

Anche se non risulta oggi possibile provarlo con certezza, il rivestimento del terzo piano sembra essere stato realizzato con materiale del tutto simile a quello presente nell'area funeraria di Via Emilia est.

L'uso quasi esclusivo della pietra di Aurisina nel quarto e nel quinto piano della torre pone altri suggestivi quesiti.

A tutt'oggi gli scavi non hanno rinvenuto aree archeologiche romane con impiego predominante di tale roccia.

Significance of the arrangement of lithotypes

The numerous lithotypes do not show a homogeneous arrangement on the Tower wall; rather, each floor is characterized by the association of different rocks.

This arrangement, together with the variable size of the slabs, suggests that most blocks derive from the despoliation of ancient buildings. Only the upper part, starting from the sixth floor, was covered with a single type of rock: the *Rosso Ammonitico Veronese*.

The revisitation of the artefacts in the Modena museum collections (Capedri, 2005) and the new archaeological findings in Piazza Roma and the funerary areas near the Via Emilia (the Via Emilia East-Autoclub necropolis, the excavations below the Pasternak motorway, the Vetilia Egloge funerary monument, and the Fossalta funerary lion), clearly demonstrated that all the lithotypes found on the Tower and on the Cathedral were used by the Romans.

It is only the Apennine sandstones and the *Rosso Ammonitico Veronese* that have been recognized in very few findings.

It follows that the Romans were

not importing significant quantities of *Rosso Ammonitico Veronese* to Modena.

All of these data demonstrate that most of the Tower was constructed using Roman materials.

This practice was reported in documents of 1167 and 1242, in which licenses are granted to dig out building materials from the surroundings of the city (Cavedoni, 1828). The despoliation of Roman artefacts is supported also by the analysis of the stones found in the Via Emilia East necropolis (Corvaglia, 2007).

Here, *pietra di Aurisina*, *pietra di Vicenza*, and trachyte exclusively were found in the same proportions as in the third floor of the Tower. Even if we have no definitive proof, it seems that the third floor was built with the same material as the Via Emilia East funerary site. The extensive use of *pietra di Aurisina* in the fourth and fifth floors of the Tower raises some puzzling questions. Excavations have not documented any Roman building made exclusively with this rock.

Si potrebbe ipotizzare che, durante la costruzione del terzo piano, il cantiere fosse rifornito da lastre di spoliazione di un edificio di imponenti dimensioni interamente costruito o rivestito in pietra di Aurisina.

Le ottime caratteristiche meccaniche di questa pietra e l'imponenza dei blocchi del quarto e quinto piano della torre suggeriscono che tale edificio possa essere identificato con l'anfiteatro romano.

Nuovi dati archeologici sono necessari per verificare questa suggestiva ipotesi.

Con la costruzione del sesto piano cessa la pratica della spoliazione, non si scava più nei dintorni della città alla ricerca di edifici romani, ma si acquista direttamente materiale lapideo di nuova cavatura proveniente dal Veronese.

Tale fase costruttiva, che potrebbe essere collocata nella seconda metà del 1200, rivela quindi un importante cambiamento nella politica di approvvigionamento dei materiali da costruzione. Vengono avviati nuovi contatti commerciali attraverso la riapertura di antiche vie di trasporto già utilizzate dai Romani.

Anche per quanto riguarda la cattedrale, la contemporanea opera dei Campionesi vede l'uso quasi esclusivo dell'ammonitico e dell'arenaria appenninica (Rossetti, 2007; Tintori, 2007).

Lo pseudo-transetto e la Porta Regia sono infatti rivestiti in ammonitico di nuova cavatura, mentre il rosone è realizzato in arenaria di Scabiazza (Pedrazzi, 2006).

Fortuiti rinvenimenti di materiale lapideo romano si verificarono ancora, come nel 1553, quando alcune lastre dissepolte furono impiegate per riparare i danni causati al lato settentrionale del Duomo dalla crisi sismica dei primi anni del Cinquecento (Fiaccadori, 1884). A quel tempo, il materiale lapideo veronese era l'unico a giungere in città.

Il Rosso Ammonitico veronese veniva allora acquistato sul mercato ferrarese, come attestano documenti del 1556 e del 1577 (Baracchi e Giovanardi, 1988).

I gravi problemi di degrado di molte lastre nel paramento della torre testimoniano l'acquisto di materiale di scarsa qualità, ben diverso da quello che possiamo ammirare negli edifici storici di Verona.

Considering that the fourth and fifth floors of the Tower were constructed using almost exclusively *pietra di Aurisina*, it could be inferred that the stone slab supply was coming from the despoliation of a large Roman building made exclusively of *pietra di Aurisina*.

The excellent mechanical properties of this rock, and the large size of the blocks in the Tower, suggest that this large building could be identified with the Roman amphitheatre. New archaeological data are needed to verify this evocative hypothesis.

Upon the construction of the sixth floor, the despoliation practice ceased, the digging out of Roman ruins stopped, and only newly purchased stones were used to complete the Tower and for later restorations. This building phase, which presumably dates back to the second half of the 1200s, marks a fundamental change in the supply policy of building materials in Modena.

New commercial connections opened, retracing ancient waterways already used by the Romans.

In the Cathedral as well, only the *Rosso Ammonitico* and the Apennine sandstones were chosen by the Campionesi masters for the final building phases. Indeed, the pseudo-transept and the Porta Regia are covered by newly-extracted *Rosso Ammonitico*, whereas the rose window is made of *Arenaria di Scabiazza* (Pedrazzi, 2006). Fortuitous findings of Roman slabs were made again, for example in 1553, when the materials were used to repair damages that occurred on the northern side of the Dome as a consequence of the seismic crisis of the beginning of the 16th century (Fiaccadori, 1884). At that time, the stones from Verona were the only ones reaching the city. The slabs were purchased in Ferrara as documented in 1556 and 1577 (Baracchi e Giovanardi, 1988). The strong deterioration problems of most of the slabs on the Tower suggest that low quality material was supplied, a very different material from the one that is found in the historical buildings of Verona.



I numerosi restauri susseguitisi nei secoli cambiarono in parte la composizione del paramento lapideo aggiungendo prevalentemente lastre di Rosso Ammonitico veronese.

I lavori si concentrarono sulle parti sommitali, che furono ripetutamente danneggiate in seguito ai terremoti del 1501 e del 1505, a causa dell'azione dei fulmini e delle infiltrazioni di acqua piovana. Il paramento della cuspide fu sostituito nel 1584 e nel 1897 (Baracchi, 2001). Nel 1765, in occasione dell'abbattimento di alcuni edifici addossati alla torre, vennero sostituiti numerosi blocchi nella parte inferiore.

La storia delle pietre della torre si conclude con i restauri completati nel 1973, quando apparirono nel paramento anche litotipi precedentemente non impiegati nel rivestimento originario, come il marmo di Carrara, la pietra di Chiampo, il bronzetto e il travertino (fig. 28). La relativa lontananza di Modena dalle aree di approvvigionamento di materiali lapidei idonei, la pratica della spoliazione di manufatti romani, i materiali di nuova cavatura e i numerosi restauri hanno determinato l'assemblaggio di un vero e proprio mosaico di pietre nel rivestimento della torre.

The numerous restorations of the past centuries also changed the wall configuration substantially, mainly by adding slabs of *Rosso Ammonitico*. Most changes were made on the lantern and the cusp that were badly damaged by the 1501 and 1505 earthquakes, by lightning, and by strong rain seepage. The slabs in the cusp were replaced in 1584 and 1897 (Baracchi, 2001).

In 1765, upon the demolition of some buildings juxtaposed to the Tower, several blocks were replaced in the lowermost

part as well.

The history of the Tower's stones ends with the 1973 restoration, when lithotypes never previously used, such as Carrara marble, *pietra di Chiampo*, *bronzetto*, and travertine have been emplaced (Fig. 28). The location of Modena, far from quarries of good building rocks, and the ancient practice of despoliation of Roman artefacts, the newly quarried materials, as well as the history of repeated restorations have all contributed to assemble a unique and peculiar mosaic of stones on the Tower.

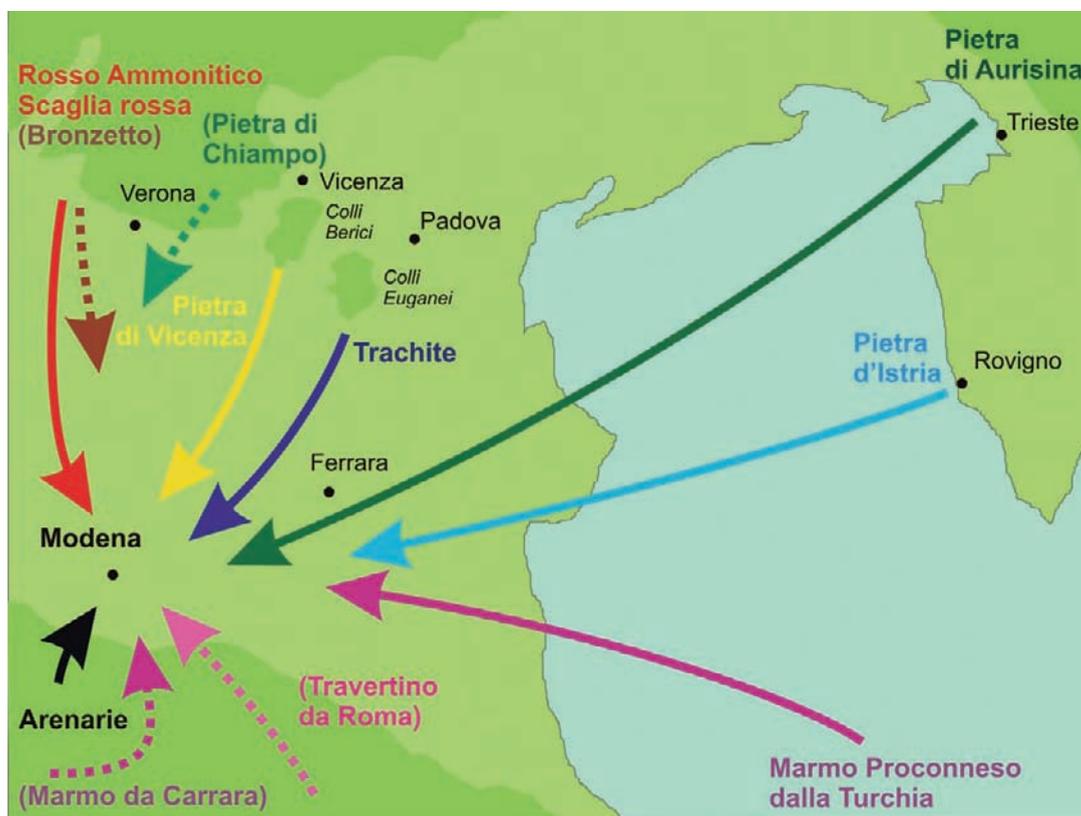


Fig. 28

Fig. 28 Aree geografiche di provenienza dei diversi litotipi utilizzati per il paramento della torre Ghirlandina. Le frecce tratteggiate mostrano le provenienze dei litotipi (indicati tra parentesi) non presenti in origine ma posti in opera durante i restauri del XX secolo. Provenance localities of the different lithotypes used on the walls of the Ghirlandina Tower. The dashed arrows show the provenance of lithotypes (indicated in brackets) originally not present but emplaced during the 20th century restorations.

MAPPATURA DEI FENOMENI DI DEGRADO STONE DETERIORATION MAPPING

Stefano Lugli, Luca Corradini, Simona Pedrazzi

Fig. 4 Intenso sviluppo di colonizzazione biologica e di patina biologica nella terza cornice marcapiano del lato settentrionale.

Notare come l'aggressione da parte di muschi si sia sviluppata esclusivamente sull'archetto di sinistra scolpito in pietra di Vicenza. L'archetto di destra è in granitello, roccia dalla porosità estremamente ridotta rispetto alla pietra di Vicenza.

Strong biological colonization and biological patina on the third cornice of the northern façade.

Notice how moss grows only on the *pietra di Vicenza* arch on the left. The right side arch consists of *granitello*, a rock which is much less porous than *pietra di Vicenza*.



La presenza di sedici varietà di pietre diverse poste in opera con una distribuzione non omogenea nel paramento della torre, ciascuna con le proprie problematiche di alterazione, determina uno sviluppo estremamente complesso delle tipologie di degrado. I lavori di mappatura hanno evidenziato il forte stato di compromissione di numerosi conci, e la vastità delle aree interessate dai fenomeni di degrado.

Metodologia e scopo delle indagini

Successivamente alle operazioni di mappatura dei litotipi è stato effettuato anche il rilevamento dei fenomeni di degrado, strumento indispensabile per programmare le operazioni di restauro della torre. Le tipologie dei fenomeni di degrado sono state individuate seguendo le raccomandazioni UNI 11182:2006 13/04/06 Beni culturali – Materiali lapidei naturali e artificiali – Descrizione della forma di alterazione – Termini e definizioni.

Una prima fase del lavoro è stata impostata attraverso l'analisi di immagini ad alta risoluzione del paramento. Successivamente, l'elaborazione delle mappe è stata effettuata da rilievi eseguiti direttamente sul ponteggio di restauro.

I fenomeni di degrado sono stati mappati utilizzando una scala di intensità che prevede tre gradi relativi: il grado 3 rappresenta la massima intensità rilevata. Oltre alle categorie di degrado indicate nelle raccomandazioni UNI, sono stati mappati anche i blocchi sostituiti negli anni '70, gli elementi metallici (grappe e ancoraggi), le coperture in piombo e le stuccature in resina effettuate durante gli ultimi lavori di restauro. Il rilievo delle pellicole protettive applicate durante i secoli è attualmente in corso. I depositi superficiali non sono stati rappresentati sulle mappe perché non visibili alla scala proposta.

Descrizione e mappatura dei fenomeni di degrado

Crosta nera

La crosta nera costituisce lo strato superficiale di alterazione del materiale lapideo nelle zone protette dal dilavamento diretto delle acque meteoriche. La crosta nera rappresenta un accumulo di particelle sia antropiche di natura carboniosa, sia naturali presenti nell'atmosfera, intrappolate dalla crescita di cristalli di gesso. È presente soprattutto nel primo e secondo piano della torre, al di sotto degli archetti (fig. 5), all'interno delle finestre (fig. 6) e in gran parte del lato sud (fig. 1).

The presence of sixteen different stone varieties in the wall of the Tower with a non-homogeneous arrangement, each variety with its own alteration characteristics, suggests a complex degradation pattern. The mapping of degradation phenomena demonstrates the deep alteration of most of the slabs and the widespread occurrence of the degradation phenomena.

Methods

After the lithotype mapping, a complete survey of the degradation phenomena was performed both as a prerequisite and fundamental tool for the restoration project. The degradation phenomena have been documented following the recommendations of the “UNI 11182:2006 13/04/06 Beni culturali – Materiali lapidei naturali e artificiali – Descrizione della forma di alterazione – Termini e definizioni.”

In the first phase of the work, high-resolution images were used to study the extent of the degraded areas. The maps were then compiled from the direct surveys

of the walls using the scaffolding. The intensity of the degradation phenomena was evaluated using a relative scale consisting of three degrees. The third degradation level is the strongest that has been observed in the Tower. During the survey, other parameters were also recorded and are presented here in a specific map: the blocks replaced during the 1970s restorations, the metallic elements (such as fixings), the lead covers and the surfaces covered by resins during the 1970s restorations. The survey of the coating films is now in progress. The superficial deposits are not shown on the maps because they are not visible at the proposed scale.

Degradation phenomena description

Black crust

The black crust develops generally on areas protected from direct rainfall or water runoff. They are composed mainly of particles from the atmosphere, trapped by the growth of gypsum crystals.

This phenomenon is particularly marked on the first and second floor of the Tower below the arches (Fig. 5), inside the windows (Fig. 6) and on great part of the southern façade (Fig. 1).

Colatura

Si tratta di depositi di detriti colati al di sotto di peducci e mensole decorate. I depositi superficiali accumulati sulle superfici orizzontali vengono erosi per ruscellamento concentrato delle acque meteoriche e ridistribuiti lungo le pareti verticali. Il materiale ruscellato è costituito da deiezioni di volatili e da altri detriti di consistenza terrosa. Le colature formano depositi più o meno compatti di spessore millimetrico che prendono la forma di lingue verticali di colore scuro lunghe alcuni metri. Il loro sviluppo è particolarmente marcato al di sotto dei peducci della terza e quarta cornice marcapiano dei lati sud, ovest e nord (fig. 1). Lo sviluppo intenso delle colature su tali facciate è legata alla pendenza della torre che favorisce il ruscellamento concentrato delle acque.

Le colature sono spesso rese più evidenti dallo sviluppo della colonizzazione biologica e della patina biologica (fig. 2).

Il materiale depositato costituisce infatti un substrato favorevole allo sviluppo della vegetazione, mentre il ruscellamento concentrato assicura l'imbibizione dei conci del paramento che restano umidi più a lungo rispetto alle aree circostanti.

Soiling, Spill

There are deposits that were left on the walls by the concentrated flow of meteoric waters along corbels. The superficial deposits that accumulated on the horizontal surfaces are eroded by concentrated runoff and redeposited along the walls. The redeposited material consists of bird droppings, soot and other particles.

They form long dark stripes a few decimeters wide and a few meters long on the walls. The thickness may reach a few millimeters.

These features are particularly visible below the corbels

of the third and fourth cornice on the southern, western and northern façades (Fig. 1). Their development is related to the leaning of the Tower, which is favorable to the concentrated runoff and the erosion of the superficial deposits.

These features are made evident by the preferential development of the biological colonization (Fig. 2).

The deposited material provides a good substratum for the vegetation growth, while the concentrated runoff keeps the areas more wet than the surrounding zones.



Fig. 1 Mappa dello sviluppo della colonizzazione biologica e della patina biologica. Map showing the biological colonization and the biological patina.

Fig. 2 Colature e colonizzazione biologica nel secondo piano del lato nord. Notare lo sviluppo di lunghe "lingue" di colatura di colore scuro legato al ruscellamento concentrato delle acque meteoriche a partire dai peducci. L'irregolare sviluppo della colonizzazione biologica, riconoscibile per il colore verde di alcuni conci, è legato alla presenza di lastre di pietra di Vicenza o di Rosso Ammonitico particolarmente degradato al di sotto dei peducci. Soiling, spill and biological colonization on the second floor of the northern façade. Note the development of long dark stripes from the corbels due to runoff. The irregular development of biological colonization (green color) is related to the presence of *pietra di Vicenza* and deeply degraded *Rosso Ammonitico* slabs below the corbels.

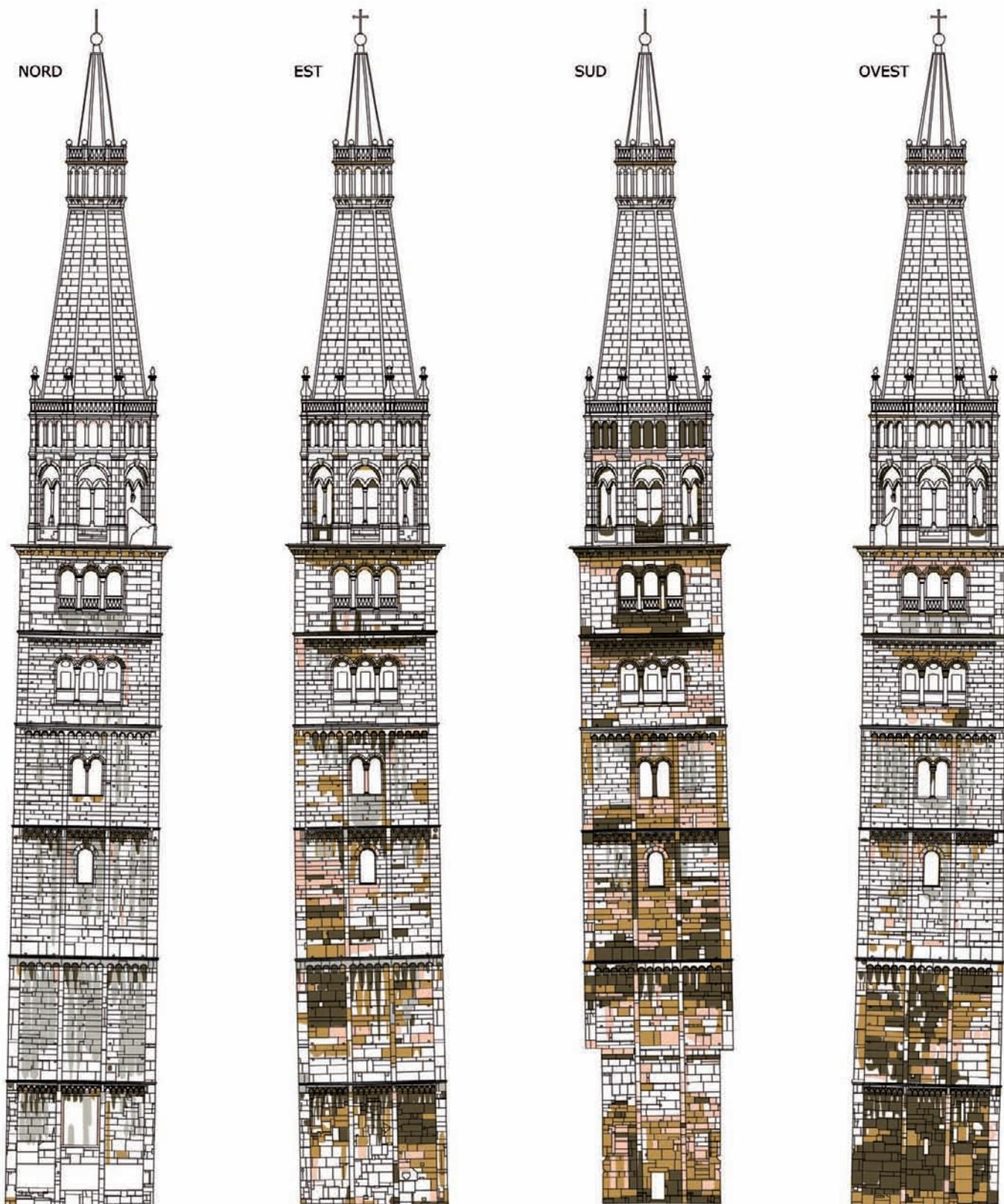


Fig. 1



Colonizzazione biologica

La colonizzazione biologica da parte di alghe, funghi, licheni, muschi, piante superiori è presente prevalentemente sul lato nord della torre (fig. 3) e coinvolge in modo particolare la pietra di Vicenza. Tale litotipo, a causa della sua elevata porosità, trattiene l'umidità a lungo e rappresenta quindi un substrato favorevole per lo sviluppo della colonizzazione biologica (fig. 4). Colonizzazione biologica di grado intermedio si trova anche sulle numerose colature di materiale ruscellato dalle superfici orizzontali (fig. 2).

Patina biologica

Lo strato superficiale costituito da microrganismi è presente in varie aree della torre, soprattutto nella cuspide e nel lato nord (fig. 3).

Biological colonization

The biological colonization by algae, fungi, lichen, moss and plant is present mostly on the northern façade of the Tower (Fig. 3) and is particularly strong on the *pietra di Vicenza*. Because of its high porosity, the *pietra di Vicenza* remains wet

longer than other rocks, providing a good substrate for the biological colonization (Fig. 4). An intermediate grade of biological colonization is present also in the soil deposits along the walls and the cornices (Fig. 2).

Biological patina

The superficial layer consisting of microorganisms is present in various areas,

mainly on the cusp and on the northern side (Fig. 3).

Fig. 5 Crosta nera al di sotto degli archetti della prima cornice del lato est. Notare la degradazione differenziale delle lastre in Rosso Ammonitico (di colore rosato) al di sopra della cornice.

Black crust below the arches of the first cornice on the eastern façade. Notice the differential degradation of *Rosso Ammonitico* slabs (pinkish) above the cornice.

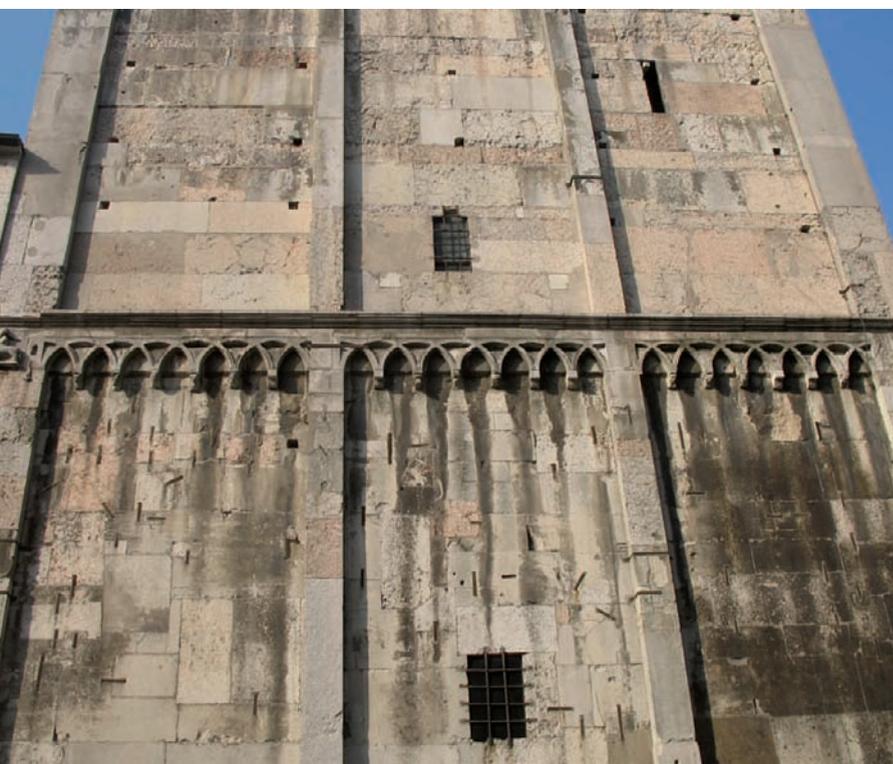


Fig. 5

Fig. 6 Crosta nera sui capitelli e le colonne in granitello della trifora del quarto piano, lato sud. Black crust on the *granitello* capitals and columns in the window of the fourth floor, southern façade.

Fig. 1 Mappa dello sviluppo della crosta nera e delle colature. Map showing the black crust, soiling and spill.



Fig. 6

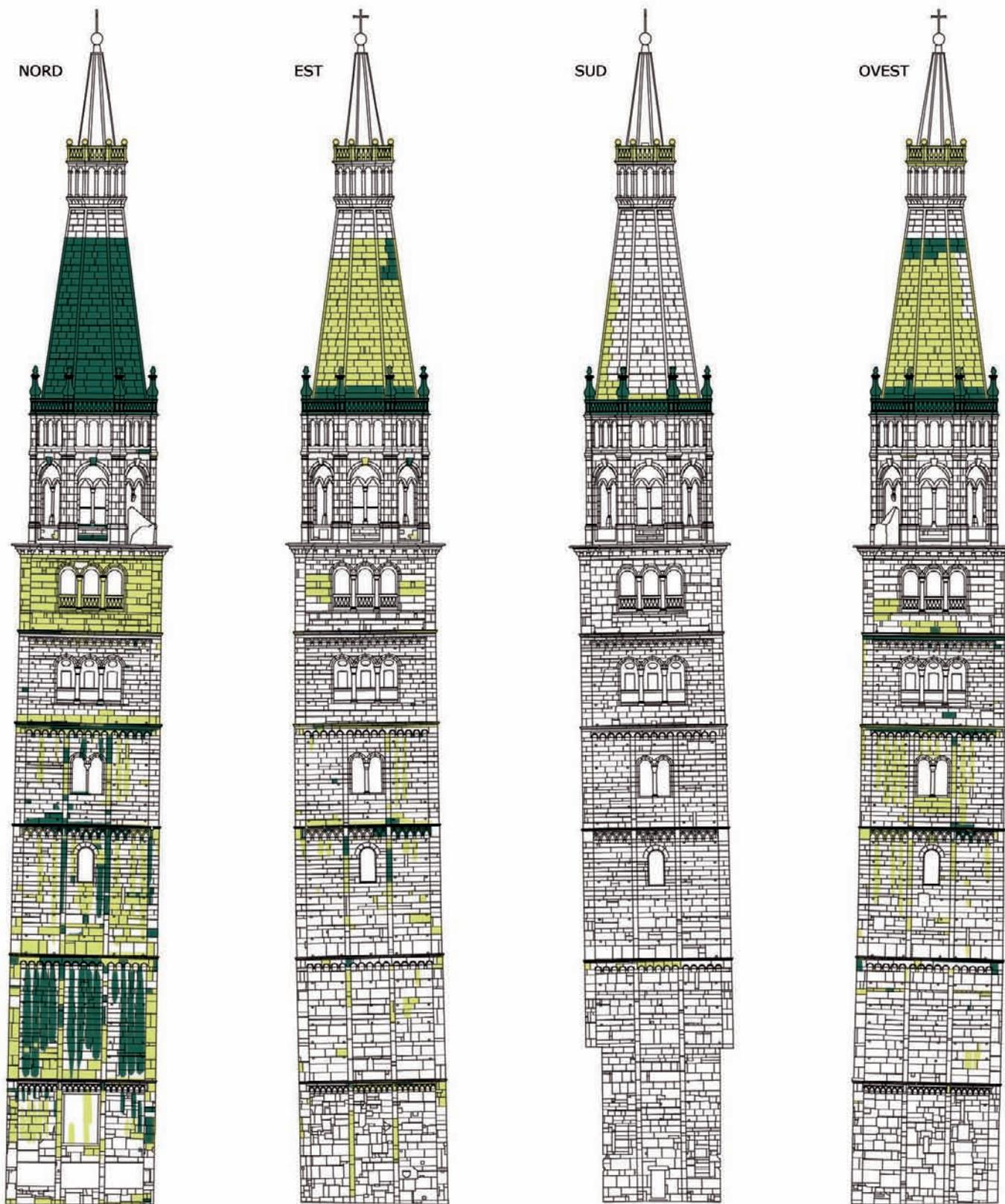


Fig. 3

Patina biologica Colonizzazione biologica

Fig. 9 Mappa della degradazione differenziale, della disgregazione e della esfoliazione.
Maps showing the differential degradation, disaggregation and exfoliation.



Fig. 9

Degradazione differenziale

Fenomeno di degrado tipico dei calcari nodulari, come il Rosso Ammonitico e la Scaglia rossa. Il dilavamento della matrice di ossidi e/o idrossidi di ferro e minerali argillosi che si trova lungo le stiloliti e attorno ai noduli micritici provoca il distacco di questi ultimi (fig. 7 e 8). Si tratta di una forma di degrado particolarmente grave nella parte sommitale della torre (fig. 9) dove questi litotipi prevalgono e dove si verifica il fenomeno del crioclastismo. La degradazione differenziale provoca il distacco di frammenti fino a circa 10 cm di dimensione.

Disgregazione

Si tratta del fenomeno di degrado legato alla dissoluzione del cemento carbonatico dei granuli, con conseguente disgregazione alla scala dei singoli componenti di rocce granulari come le arenarie e la pietra di Vicenza. Il fenomeno è particolarmente marcato sulla pietra di Vicenza ed è diffuso nel primo piano della torre dove questo litotipo è prevalente (fig. 9). L'effetto di questa tipologia di degrado è il vistoso arretramento delle superfici dei conci che può raggiungere alcuni centimetri (fig. 10).

Esfoliazione

Degradazione tipica della trachite, della pietra di Vicenza e delle arenarie che si manifesta con distacco e caduta di uno o più strati superficiali paralleli alla superficie dei conci (fig. 11). Il fenomeno è particolarmente accentuato sulla trachite ed è quindi diffuso principalmente nel terzo piano, dove questo litotipo raggiunge la massima diffusione (fig. 9). Alcuni conci di trachite presentano un arretramento della faccia esposta che raggiunge i 4 cm. Un ulteriore effetto di degrado accelerato si verifica nelle aree direttamente al di sopra dei cornicioni a causa del ristagno di umidità e dell'azione meccanica della pioggia battente. L'accentuata esfoliazione e gli schizzi prodotti dalla pioggia sulle cornici contribuiscono a disgregare le parti inferiori delle lastre per effetto meccanico. Si formano così ampie zone di arretramento per scavernamento da splash sulle lastre di trachite (fig. 12) e di arenaria.

Fig. 7 Forte degradazione differenziale (grado di intensità 3) su lastre di Rosso Ammonitico (in basso) e Scaglia rossa (in alto). Sesto piano, facciata meridionale. Deep differential degradation (rated 3 on the intensity scale) on slabs of Rosso Ammonitico (below) and Scaglia rossa (above). Sixth floor, southern façade.

Fig. 8 Degradazione differenziale su di una lastra in Rosso Ammonitico. Lato est, terzo piano. Differential degradation of Rosso Ammonitico. Third floor, eastern side.

Fig. 7



Fig. 10 Disgregazione granulare su concio in pietra di Vicenza. Notare il forte arretramento della superficie per perdita di materiale. Primo piano, lato sud. Granular disaggregation on a pietra di Vicenza slab. Notice the strong back weathering of the surface by loss of material. First floor, southern façade.

Fig. 11 Esfoliazione con distacco degli strati superficiali da un concio in trachite. Lato est, terzo piano. Exfoliation with flake detachment from a trachyte slab. Third floor, eastern side.

Fig. 8



Differential degradation

Degradation typical of nodular limestones, such as Rosso Ammonitico and Scaglia rossa. The presence of stylolites and micritic nodules surrounded by an iron oxide and/or hydroxide and clay matrix determines the detachment of the nodules as the matrix is

Disaggregation

Degradation phenomenon related to the dissolution of the carbonate cement in granular rocks. The result is the disintegration of granular rocks such as sandstone and pietra di Vicenza. The disaggregation alteration is particularly evident

Exfoliation

Degradation typical of trachyte, pietra di Vicenza and sandstones that occurs by detachment of multiple thin stone layers that are sub-parallel to the stone surface (Fig. 11). The phenomenon is particularly evident on trachyte slabs and is present to its maximum extent on the third floor, where trachyte is more common (Fig. 9). Some trachyte slabs show

Fig. 10



Fig. 11



removed by runoff (Figs. 7 and 8). The phenomenon is particularly intense in the upper part of the Tower (Fig. 9), where frost wedging may also act. Because of differential degradation, nodules as large as about 10 cm across may fall from slabs.

on the pietra di Vicenza and is widespread on the first floor, where this stone is prevalent (Fig. 9). The common result of granular disaggregation is a severe surface loss by back weathering that may reach several centimeters (Fig. 10).

surface loss by back weathering that may reach 4 cm. A further degradation phenomenon occurs in the areas above the cornices because of water stagnation and the mechanical effect of raindrop splashes. The rapid exfoliation of the areas above the cornices induces severe material loss by back weathering on trachyte (Fig. 12) and sandstone slabs.

Fig. 12 Scavernamento di blocchi di trachite in prossimità dei cornicioni. L'alterazione concentrata è legata all'effetto combinato del ristagno di umidità e dell'azione degli schizzi di pioggia battente sui cornicioni. Quinto piano, lato ovest. Back weathering of trachyte just above the cornice. This localized degradation is related to water stagnation and the mechanical erosion of splashing raindrops. Fifth floor, western side.

Fig. 12



Fratturazione

Nella Ghirlandina le fratture coinvolgono numerosi blocchi (fig. 13) e sono legate allo sviluppo di lesioni di notevoli dimensioni dovute alla pendenza della torre (fig. 14) o a fenomeni locali di schiacciamento tra blocchi sovrapposti.

Macchia

Sulla torre sono presenti ampie porzioni di paramento macchiate da ossidi di ferro prodotti dalla alterazione di elementi metallici quali staffe e inferriate (figg. 14 e 15).

Mancanza

Porzioni di paramento perdute per distacco sono presenti in numerose parti della torre. In gran parte si tratta di lacune dovute a distacco di parti di blocchi fratturati. Il fenomeno dei distacchi è particolarmente accentuato sugli spigoli delle lesene del lato est e sud a causa dello schiacciamento dei conci indotto dalle tensioni legate alla pendenza della torre (figg. 14 e 16). Sulla torre sono presenti anche crateri di diametro fino a decimetrico prodotti dall'impatto di schegge di bombe dell'ultimo conflitto mondiale. Sono presenti in particolare nella parte bassa del lato meridionale e occidentale della torre.

Fig. 13 Fratturazione di conci di granitello lungo una delle principali lesioni che corrono nel lato sud, quinto piano. Notare la riapertura della frattura successivamente alla stuccatura in resina effettuata durante i restauri degli anni Settanta.

Fracture cutting through *granitello* slabs along the southern façade, fifth floor. Notice that the fracture reopened after it was filled with epoxy resin during the '70s restorations.



Fractures

Numerous slabs are fractured by the development of large cracks (Fig. 13) related to the leaning

of the Tower (Fig. 14) and local phenomena induced by slab compression.

Staining

Large portions of walls are stained by iron oxides produced by alteration

of metallic elements such as clamps and window grating (Figs. 14 and 15).

Loss

Loss of material due to detachment of slab portions is common on the Tower. For the most part, the loss is due to the detachment of fractured portions. The detachments are particularly severe on the edges of slabs on the eastern and southern

façades because of compression induced by the tower leaning (Figs. 14 and 16).

Mechanical damage due to the impact of shrapnel from bombs dropped during the Second World War is also present on the in the lower part of the southern and western side of the Tower.

Fig. 15 Macchie di ossidi di ferro derivanti dalla alterazione dell'inferriata metallica del quinto piano nella facciata ovest.

Staining by iron oxides due to alteration of the metallic grating in the fifth floor of the western façade.



Fig. 14 Mappa dello sviluppo di fratturazione, scagliatura, mancanza, macchia e altri parametri.
Map of fractures, scaling, loss, staining and other parameters.

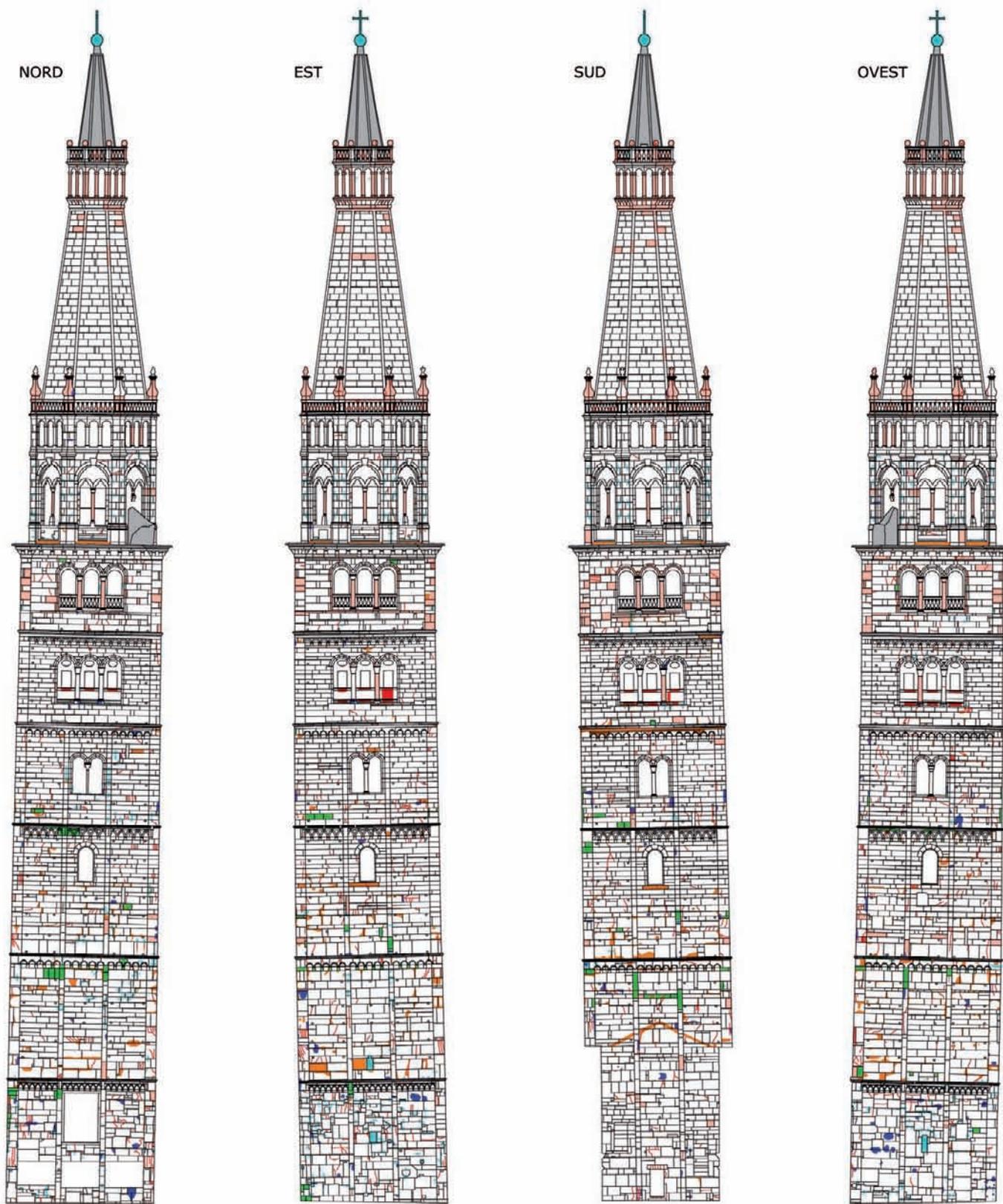
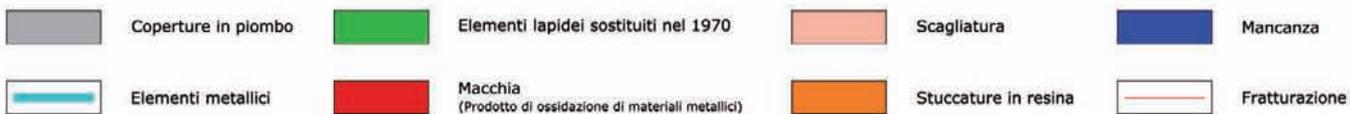


Fig. 9



Scagliatura

Fessure beanti aperte lungo superfici di discontinuità naturali delle rocce sono particolarmente presenti nel Rosso Ammonitico e nella Scaglia rossa. Sono legate al dilavamento del materiale terroso, costituito da ossidi e/o idrossidi di ferro e da argilla, lungo stiloliti e giunti di strato. La scagliatura può provocare il distacco di frammenti di notevole dimensione fino ad alcuni decimetri di ampiezza (figg. 14 e 17).

Stucature in resina e sostituzioni

Durante i restauri del 1973 numerose mancanze furono “reintegrate” con l'utilizzo di resine sintetiche (fig. 18) e numerosi blocchi furono sostituiti. Le stucature in resina e i blocchi sostituiti sono stati mappati nella figura 14. L'identificazione dei blocchi sostituiti è stata effettuata attraverso la consultazione della documentazione fotografica dell'epoca e attraverso il rilevamento delle tracce di lavorazione meccanica dei conci (fig. 19).

Scaling

Open fissures along natural discontinuities of the rock are particularly present in the *Rosso Ammonitico* and *Scaglia rossa*. They are due to the runoff erosion

of the iron oxide and/or hydroxide and clay matrix along stylolites and bedding planes. Because of scaling, fragments as large as a few decimeters across may detach (Figs. 14 and 17).

Epoxy resin fillings and replaced slabs

During the restoration of 1973, several detached parts were integrated with large epoxy resin fillings (Fig. 18) and many degraded slabs were replaced. The resin fillings and the replacement slabs have been

mapped in Fig. 14.

The identification of replaced slabs has been performed using the photographic documentation of the restoration and by recognition of modern tool marks (Fig. 19).

Fig. 16 Mancanza legata all'espulsione di frammenti di roccia fratturati per schiacciamento. Granitello, lato ovest, quarto piano.

Loss by expulsion of rock fragments on the edge of *granitello* blocks crushed by compression. Fifth floor, western façade.



Fig. 18 Stuccatura in resina epossidica di un'ampia porzione della quarta cornice del lato ovest effettuata durante i restauri degli anni Settanta. Notare la fratturazione della resina.

Integration by epoxy resin of a large portion of the fourth cornice on the western façade during the '70s restorations. Note the cracking of the resin.



Fig. 19 Lastra di sostituzione in Scaglia rossa (pietra di Prun) installata nel paramento durante i restauri del 1973, come rivelato dalla presenza di tracce di utilizzo di una troncatrice meccanica. Sesto piano, lato est.

Slab of *Scaglia rossa* (*pietra di Prun*) emplaced during the 1973 restorations, as revealed by modern tool marks. Sixth floor, eastern side.





Fig. 17 Scagliatura nel pinnacolo in Rosso Ammonitico della prima balconata, lato sud-est. Scaling on the *Rosso Ammonitico* pinnacle of the first balcony, southeastern side.

Fig. 17

VALUTAZIONE DELL'ALTERAZIONE
CHIMICO-FISICA DELLE SUPERFICI LAPIDEE

ASSESSMENT OF THE CHEMICAL
AND PHYSICAL ALTERATION
OF STONES SURFACES

Mirella Baldan, Guido Biscontin



1. Premessa

Nell'autunno del 2007 il Comune di Modena ha deciso di affidare al laboratorio R&C Lab di Altavilla Vicentina il compito di effettuare una campagna diagnostica preliminare per “fotografare” lo stato di conservazione del paramento lapideo esterno della Torre Ghirlandina, questo allo scopo di fornire il maggior numero di informazioni ai progettisti che stavano lavorando alla stesura del progetto di restauro.

Sulla base della relazione tecnica di Borghi del marzo 2006 inerente il rilievo del degrado e sulla base della mappatura che stava portando avanti l'Università degli studi di Modena (vedi pp. 96-117), è stata concordata con la Direzione dei lavori una campagna diagnostica che ha interessato i quattro materiali lapidei più diffusi. Lo scopo di tali analisi è stato quello di caratterizzare, dal punto di vista chimico-fisico-mineralogico, lo stato di degrado dei conci e degli elementi architettonici lapidei e di verificare la presenza sulle superfici esterne, di elementi di degrado imputabili ad agenti esterni e/o a trattamenti manutentivi applicati nei secoli.

2. I materiali lapidei

La torre Ghirlandina è stata iniziata probabilmente nel 1099 e costruita fino al quinto piano utilizzando blocchi in pietra di reimpiego di epoca romana appartenenti all'antica *Mutina*; a partire dal 1200 sono stati utilizzati invece blocchi in pietra provenienti dalle cave del Veneto per il completamento dal sesto piano in poi, fino alla cuspide.

Dallo studio del paramento lapideo (vedi pp. 96-117) è emerso che la maggior parte dei blocchi appartengono a quattro diversi litotipi, tre di origine calcarea sedimentaria e uno di origine magmatica effusiva, riferibili alle pietre commercialmente note come: pietra tenera di Vicenza, Rosso Ammonitico, pietra di Aurisina e trachite euganea. In letteratura il degrado di questi materiali lapidei è stato abbondantemente studiato.

Il Rosso Ammonitico è un calcare compatto, a grana fine, con struttura generalmente nodulare. Esistono numerose varietà che si distinguono, a seconda della zona di formazione, soprattutto per il colore dovuto alla presenza degli ossidi di ferro. Nonostante queste differenze, in generale la roccia si presenta molto eterogenea, risultando quindi interessata dall'azione selettiva degli agenti atmosferici, in particolare acqua e gelo, che porta all'erosione delle zone meno compatte, creando una superficie non più liscia, con fossili e noduli di materiale più resistente in rilievo.

1. Introduction

In the fall of 2007, the Modena City Council chose to assign the R&C Lab of Altavilla Vicentina the task of performing a preliminary diagnostic campaign to create a snapshot of the state of preservation of the Ghirlandina Tower's external stonework, with the objective of providing more information to the planners who were preparing its restoration project.

Based on Borghi's technical report from March 2006 about the degradation survey and mapping that the University of Modena was performing (see pages 96-117), a diagnostic campaign was coordinated with the DD.LL. on the Tower's four most widely used stone materials. These studies aim to define, from a

chemical, physical and mineralogical perspective, the state of degradation of the stone blocks and stone architectural elements, and to assess factors of degradation on the exterior surface caused by external agents and/or maintenance treatments applied over the centuries.

2. Stone materials

Historic documents show that the Ghirlandina Tower was likely started in 1099 and built to the fifth floor reusing Roman-era stone blocks from ancient *Mutina*. Starting in the 13th century, stone blocks were used from the quarries of Veneto to complete the Tower from the sixth floor up to the spire. Studies of the stone skin (see pages 96-117) showed that most of the blocks are

from four different lithotypes, three of sedimentary calcareous origins, and one of effusive, magmatic origins. The commercial names of these stones are: *pietra Tenera di Vicenza*, *Rosso Ammonitico*, *pietra Aurisina* and *trachite Euganea*. The degradation of these stone materials has been widely studied and written about.

Rosso Ammonitico is a compact limestone with a fine grain and generally nodular structure. There are many varieties that are distinguished, depending on their area of formation, by the color from iron oxides. These differences aside, the rock is generally very heterogeneous, which makes it subject to the selective action of atmospheric agents, especially water and frost, which lead to the erosion of less compact areas, creating a surface that is no longer smooth, with fossils and nodules of sturdier material in relief.

La pietra di Aurisina è una roccia sedimentaria calcarea (biosparite), particolarmente dura e compatta, dotata di elevata resistenza all'abrasione e agli agenti atmosferici, capace quindi di mantenere intatte le proprie caratteristiche sia in climi freddi che caldo-umidi. I fenomeni di alterazione che possono interessare queste pietre sono l'erosione selettiva da parte degli agenti atmosferici e la formazione di croste superficiali.

La pietra tenera di Vicenza è un calcare organogeno, a grana più o meno fine e struttura eterogenea, formato da materiale clastico e da resti fossili. Data la sua struttura, la roccia risulta alquanto porosa e generalmente, una volta posata, la superficie della pietra subisce un indurimento progressivo dovuto alla parziale cementazione dei pori. In ambiente inquinato avvengono fenomeni di gessificazione, con conseguente disgregazione superficiale e creazione di una nuova struttura vacuolare. Nei calcari caratterizzati da letti argillosi si verificano processi di distacco di scaglie dalla superficie della pietra e, sempre a causa dell'azione dell'acqua, si innesca un'azione di dilavamento differenziato per cui i resti fossili, che sono più resistenti della matrice in cui sono immersi, col tempo tendono a rimanere in rilievo.

La trachite euganea è una roccia ignea effusiva, a struttura porfirica. Nonostante sia una roccia molto resistente, l'azione del gelo e dell'umidità possono provocare la formazione di croste superficiali, che a lungo andare portano alla "desquamazione" del materiale: sono frequenti le alterazioni cromatiche, dovute a fenomeni di ossidazione, che creano le caratteristiche bande giallastre.

3. Tecniche e metodologie analitiche

La campagna di prelievo dei campioni si è svolta tra settembre 2007 e aprile 2008. Durante le fasi di prelievo è stata effettuata la documentazione fotografica della zona interessata e il punto di prelievo è stato riportato sui prospetti forniti dall'Università degli studi di Modena. Tutti i campioni prelevati, una volta trasportati in laboratorio, sono stati preliminarmente osservati allo stereomicroscopio Zeiss STEMI SV6 allo scopo di verificare la rappresentatività del materiale prelevato. Svolta questa operazione i campioni sono stati analizzati con le seguenti tecniche analitiche: allestimento e studio in cross section al microscopio ottico da mineralogia in luce riflessa delle sequenze stratigrafiche, dosaggio dei sali solubili utilizzando cromatografia HPLC, analisi diffrattometrica delle fasi cristalline utilizzando diffrattometro ai raggi X Philips PW 3020, analisi al microscopio elettronico a scansione (SEM) Philips XL20 associato a una apparecchiatura EDAX DX4 per la microanalisi elementare in dispersione di energia (EDS), analisi spettrofotometrica

pietra Aurisina is a calcareous sedimentary rock (biosparite) that is particularly hard and compact.

It withstands abrasion and atmospheric agents well, which means it can maintain its characteristics both in cold and wet/humid climates. Alterations that may affect these stones include selective erosion by atmospheric agents and the formation of surface crust.

Pietra tenera di Vicenza is an organogenic limestone, with a fairly fine grain, a heterogeneous structure, formed of clastic material and fossil remains. Its structure makes the rock quite porous. Generally, once laid, the stone's surface progressively hardens due to the partial cementation of its pores. In polluted environments,

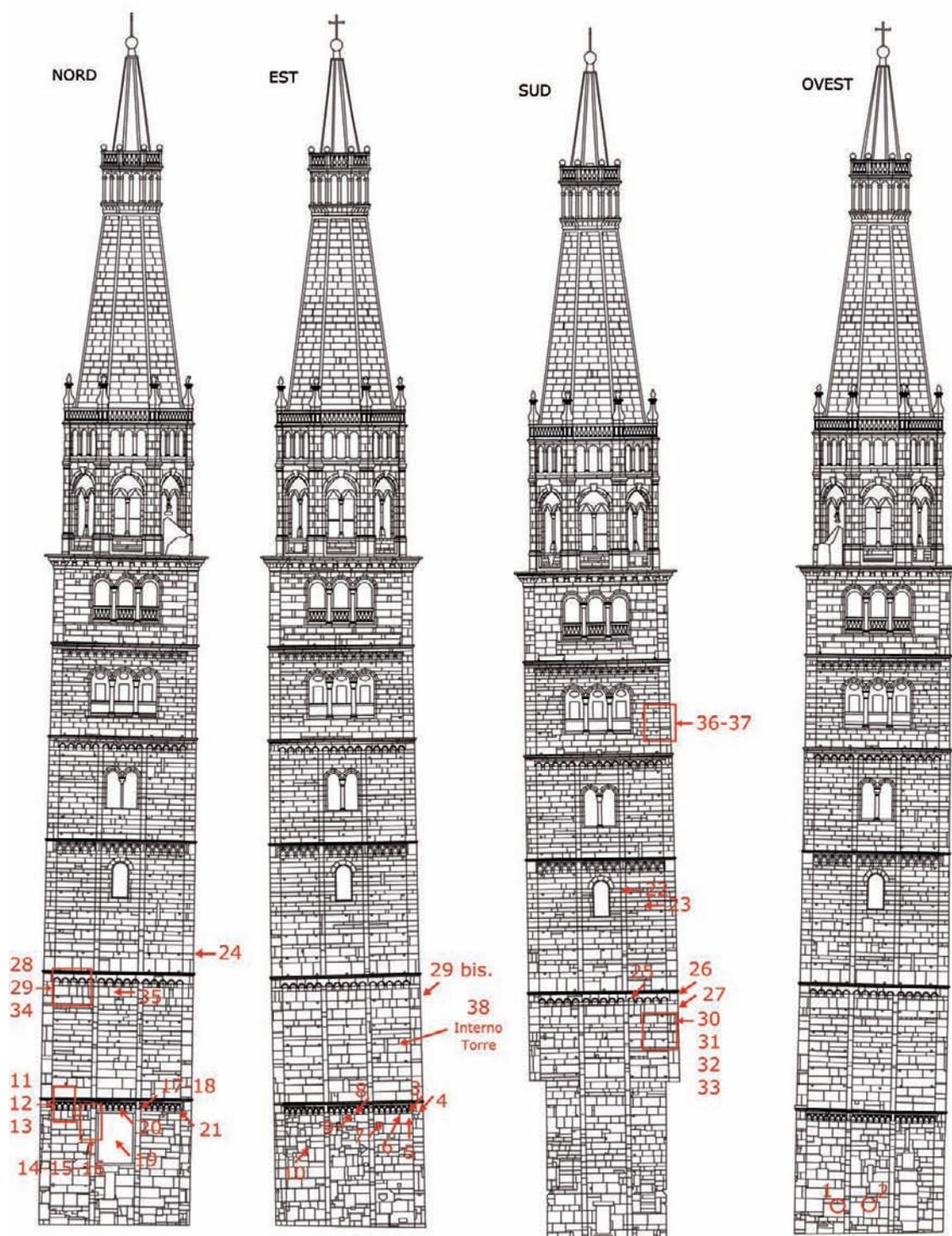
gypsification occurs, with resulting surface disaggregation and the formation of a new vacuolar structure. In limestone with clay matrices, we see the detachment of flakes from the stone's surface. Also due to the effect of water, an action of differential runoff occurs, which means that the fossil remains that are more resistant than the matrix in which they are immersed tend to stand out in relief with the passage of time.

Trachite euganea (trachyte) is an effusive igneous rock with a porphyritic structure. Though it is a high-strength rock, the effect of frost and humidity can cause surface crust to form, which eventually leads to the material's exfoliation. There are often color alterations caused by oxidization, which creates its distinctive yellowish bands.

3. Analytical techniques and methods

The campaign for taking samples occurred between September 2007 and April 2008. During the sampling phases, photographs were taken to document the relevant area and the point of sampling was reported on the elevations provided by the University of Modena. All samples, after being taken to the laboratory, were preliminarily observed under the Zeiss STEMI SV6 stereo-microscope to assess the sampled material's degree of representativity. After this, the samples were then

analyzed with the following techniques: surface and cross-section study under an optical microscope of minerals in reflected light of the stratigraphic sequences, measure of soluble salts using HPLC chromatography, diffractometric analysis of the crystalline phases using the Philips PW 3020 X-ray diffractometer, analysis under Philips XL20 scanning electron microscope (SEM) combined with an EDAX DX4 device for the elementary microanalysis of energy dispersion (EDS), FT/IR infrared



Prospetti della torre Ghirlandina con riportati i punti di prelievo. Ghirlandina Tower. Point of sampling was reported on the elevations.

all'infrarosso FT/IR utilizzando un infrarosso NICOLET 6700 associato al Microscopio FT/IR CONTINUUM, saggi immunoenzimatici per il riconoscimento delle sostanze proteiche, analisi porosimetriche utilizzando porosimetro a mercurio THERMOQUEST P120 associato a P2000. Le determinazioni analitiche che non sono normate da metodi ufficiali sono state effettuate nel rispetto di metodi interni di prova.

spectrophotometric analysis using a NICOLET 6700 infrared with the FT/IR CONTINUUM microscope, immunoenzymatic assays to recognize the protein substances, porosimetric analysis using a THERMOQUEST P120

mercury porosimeter combined with P2000. The analytic results did not conform to official methods; they were performed with respect to internal testing methods.

4. Risultati analitici

4.1 Degrado della pietra

Il Rosso Ammonitico. I conci di Rosso Ammonitico appaiono più o meno degradati su tutti i prospetti. Il tipo di degrado osservato corrisponde perlopiù a fenomeni di degradazione differenziale dovuta a dilavamento delle fasi argillose che porta spesso a distacchi di noduli o di fossili. Data la struttura assai disomogenea della pietra, anche il dosaggio dei sali solubili ha evidenziato (vedi tab. 1) che in alcune zone la pietra si presenta alquanto solfatata mentre in altre la solfatazione risulta praticamente trascurabile. Per quanto riguarda invece la porosità della pietra, i tre campioni esaminati rappresentavano le porzioni nodulari e quindi compatte della pietra: in tali campioni non è stata individuata una significativa variazione di porosità (vedi tab. 2).

Fig. 1



4. Analytical results

4.1 Stone degradation

Rosso Ammonitico.

Rosso Ammonitico blocks are degraded to varying degrees at all the elevations.

The type of degradation observed mainly corresponds to differential degradation phenomena caused by runoff erosion of the clay layers that often cause nodules or fossils to detach.

Given the stone's fairly non-homogeneous structure,

the measure of soluble salts showed (see Tab. 1) that in some areas the stone appears quite sulfurized, while in others, sulfurization is practically inexistent. As for the stone's porosity, the three examined samples represent the nodular, and therefore compact, portions of the stone. No significant variation in porosity was found in these samples (see Tab. 2).

Fig. 1 Particolare del degrado di un conio di Rosso Ammonitico. Degradation detail of a Rosso Ammonitico block.

Rosso Ammonitico		Dosaggio dei sali solubili			Measure of soluble salts		Tab. 1	
I litotipi	specie ioniche ricercate	unità di misura	0-10 mm	10-20 mm	The rocks investigated ionic species unit of measure			
Rosso Ammonitico prospetto sud southern elevation (c.a. 130m p.c.)	Conduttività Conductivity	µS-cm-1	83.4	35.0				
	SO4= SO4=	%	3.75	0.37				
Rosso Ammonitico prospetto est eastern elevation (c.a. 40m p.c.)	Conduttività Conductivity	µS-cm-1	42.0	-				
	SO4= SO4=	%	0.95	-				

Fig. 2



Fig. 2 Zona di prelievo del campione 31, prospetto sud. Area from which sample 31 was taken, southern elevation.

Rosso Ammonitico		Porosimetria a mercurio			Mercury porosimetry		Tab. 2	
I litotipi	parametri calcolati	unità di misura	0-10 mm	10-20 mm	The rocks calculated parameters unit of measure			
Rosso Ammonitico prospetto sud southern elevation (c.a. 130m p.c.)	Volume totale cumulato Total combined volume	mm3/g	8.3	7.6				
	Raggio medio dei pori Average radius of pores	µ	0.005	0.004				

La pietra di Aurisina

L'analisi del campione prelevato dai conci di pietra di Aurisina ha dimostrato che la pietra non è interessata da fenomeni di solfatazione né in superficie né in profondità fino a 30 mm (vedi tab. 3). Lo stesso vale per la porosità misurata con il porosimetro a mercurio dal quale è emerso che il raggio medio dei pori ed il volume cumulativo (vedi tab. 4) degli stessi si mantengono alquanto costanti per tutti i 30 mm indagati.

Pietra di Aurisina

The analysis of the sample taken from the pietra di Aurisina stones showed that the stone has not been affected by sulfurization on the surface nor to a depth of 30 mm (see Tab. 3).

This is also true for the porosity

measured with the mercury porosimetry, which showed that the average pore radius and the combined volume (see Tab. 4) of these blocks is fairly stable within the entire 30 mm studied.

Fig. 3

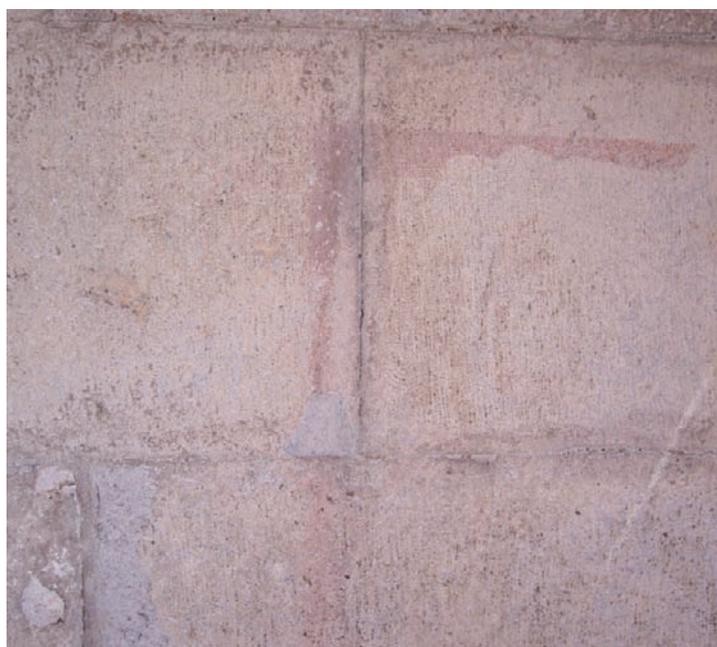


Fig. 3 Particolare del degrado di un conco di pietra di Aurisina. Degradation detail of a pietra di Aurisina block.

Pietra Aurisina Dosaggio dei sali solubili Measure of soluble salts Tab. 3

I litotipi The rocks	specie ioniche ricercate investigated ionic species	unità di misura unit of measure	0-10 mm	10-20 mm	20-30 mm
Pietra Aurisina prospetto sud southern elevation	Conductività Conductivity	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	33.0	35.2	31.7
	S04= S04=	%	0.06	n.r.	n.r.

Fig. 4



Fig. 4 Zona di prelievo del campione 33, prospetto sud. Area from which sample 33 was taken, southern elevation.

Pietra Aurisina Porosimetria a mercurio Mercury porosimetry Tab. 4

I litotipi The rocks	parametri calcolati calculated parameters	unità di misura unit of measure	0-10 mm	10-20 mm	20-30 mm
Pietra Aurisina prospetto sud southern elevation	Volume totale cumulato Total combined volume	mm^3/g	12.3	8.3	11.2
	Raggio medio dei pori Average radius of pores	μ	0.004	0.004	0.025

La pietra di Vicenza

Per quanto riguarda la pietra di Vicenza è stato osservato che i conci che presentano il maggior degrado si trovano sempre sul prospetto sud. Il tipo di degrado osservato risulta perlopiù riconducibile a esfoliazione superficiale con disgregazione delle porzioni di pietra sottostante (figg. 5 e 6). Dall'analisi dei dati relativi al dosaggio dei sali solubili riportati in tab. 5 si rileva come questa pietra carbonatica sia assai debolmente interessata da fenomeni di solfatazione; solo localmente infatti è stata rilevata una presenza di solfati superiore all'1% (prospetti est e sud) mentre sul prospetto nord la presenza di solfati appare assai trascurabile. Valutando ora i risultati ottenuti dall'analisi porosimetrica (vedi tab. 6) è possibile notare che nel campione prelevato dal prospetto sud il raggio medio dei pori risulta costante fino a circa 20 mm e poi diminuisce notevolmente; nel campione prelevato invece dal prospetto nord il raggio medio è piuttosto piccolo per i primi 10 mm, poi aumenta di almeno 60 volte nell'intervallo tra 10 e 20 mm, per poi ridiminuire drasticamente tra 20 e 30 mm.

Pietra di Vicenza

For *pietra di Vicenza* stone, it was observed that the blocks with the greatest degradation were always on the southern elevation. This type of degradation can mainly be related to surface exfoliation with disaggregation of portions of the stone underneath (Figs. 5 and 6). Analysis of data about the measure of soluble salts in Tab. 5 shows that this carbonate stone is mildly affected by sulfurization. Sulfates greater than 1% were found only locally (eastern and southern elevations). On the northern elevation,

there is quite a negligible presence of sulfates. Assessing the results from the porosimetric analysis (see Tab. 6), we can see how in the sample taken from the southern elevation, the average pore radius is constant until approx. 20 mm and then decreases markedly; in the sample taken from the northern elevation, the average radius is quite small for the first 10 mm, then increases at least 60 times in size between 10 and 20 mm, and then drastically declines between 20 and 30 cm.

Fig. 5 Zona di prelievo del campione 32, prospetto est. Area from which sample 32 was taken, eastern elevation.



Pietra di Vicenza		Dosaggio dei sali solubili				Measure of soluble salts	Tab. 5
I litotipi	specie ioniche ricercate	unità di misura	0-10 mm	10-20 mm	20-30 mm		
The rocks	investigated ionic species	unit of measure					
Pietra di Vicenza prospetto sud southern elevation (c.a. 130m p.c.)	Conduttività Conductivity	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	46.3	28.3	26.1		
	$\text{SO}_4=$	%	1.51	0.29	1.16		
Pietra di Vicenza prospetto nord northern elevation (c.a. 130m p.c.)	Conduttività Conductivity	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	25.9	29.8	-		
	$\text{SO}_4=$	%	n.r.	0.02	-		
Pietra di Vicenza prospetto nord northern elevation (c.a. 75m p.c.)	Conduttività Conductivity	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	26.6	-	-		
	$\text{SO}_4=$	%	0.07	-	-		
Pietra di Vicenza prospetto est eastern elevation (c.a. 65m p.c.)	Conduttività Conductivity	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	58.3	-	-		
	$\text{SO}_4=$	%	1.63	-	-		
Pietra di Vicenza prospetto nord northern elevation (c.a. 50m p.c.)	Conduttività Conductivity	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	24.6	-	-		
	$\text{SO}_4=$	%	0.07	-	-		

Fig. 6

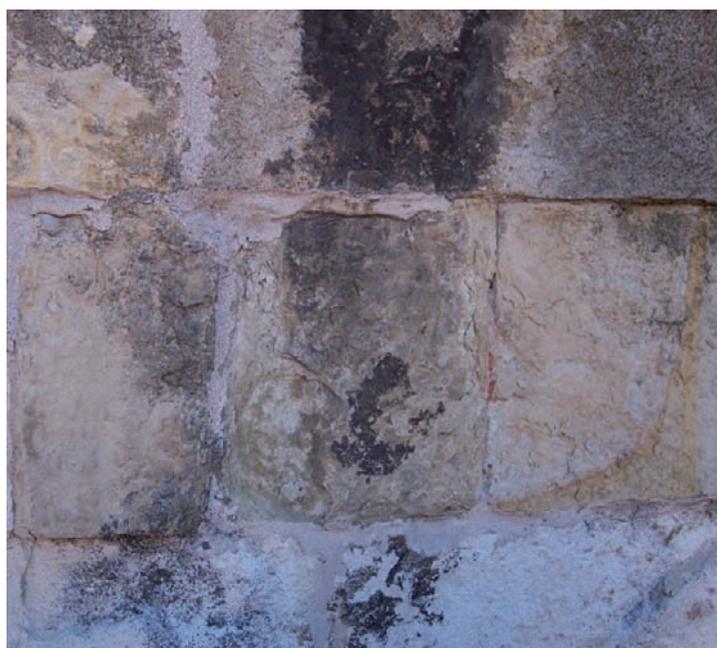


Fig. 6 Particolare del degrado di alcuni conci di Pietra di Vicenza.
Degradation detail of a *pietra di Vicenza* block.

La trachite

Dopo un'attenta osservazione dei fenomeni di degrado della cortina muraria della torre si è notato che numerosi conci di trachite, soprattutto in corrispondenza del prospetto sud, presentavano grossi fenomeni di esfoliazione con distacco di scaglie di spessore anche centimetrico. Si è pensato quindi di effettuare delle campionature fino alla profondità di 30 mm all'interno della pietra, dove apparentemente non sembrava interessata da tali fenomeni. In corrispondenza della porzione corticale di 10 mm è stata effettuata un'analisi diffrattometrica ai raggi X per verificare la presenza di eventuali minerali di neoformazione che potrebbero essersi formati nella pietra e aver causato tali fenomeni di degrado. Tale analisi ha permesso di determinare la presenza di albite e anortite quali minerali principali, di biotite quale minerale secondario e di diopside e quarzo quali minerali in tracce. In tracce è stata inoltre rilevata la presenza anche di gesso. Tutti questi minerali risultano essere i comuni costituenti della trachite, a esclusione del gesso. Il gesso infatti può essere interpretato non tanto come un minerale di neoformazione (formatosi cioè a discapito di altri minerali) ma piuttosto come un minerale di deposito, trasportato dalle acque dilavanti e ricristallizzato all'interno delle porosità della pietra.

Trachyte

After close observation of the degradation phenomena of the Tower's wall skin, it was noticed that many trachyte blocks, especially on the southern elevation, exhibit severe exfoliation with detachment of flakes in thicknesses up to several centimeters. It was therefore decided to take samplings up to 30 mm deep inside the stone, which seem not to have been affected by these phenomena. A diffractometric X-ray analysis was done on a 10 mm outer layer to ascertain if there were any newly formed minerals that might have been formed in the stone and have caused the degradation.

These analyses identified the presence of albite and anorthite as the principal minerals, biotite as a secondary mineral and diopside and quartz as trace minerals. There were also traces of gypsum. All these materials are common components of trachyte, except for gypsum. Rather than being a newly formed mineral (meaning formed at the expense of other minerals), the gypsum can be understood as a deposit material, carried by runoff water and recrystallized inside the stone's pores. The data obtained from the analysis of the soluble salt measure and the porosity

Pietra di Vicenza Porosimetria a mercurio Mercury porosimetry Tab. 6

I litotipi The rocks	parametri calcolati calculated parameters	unità di misura unit of measure	0-10 mm	10-20 mm	20-30 mm
Pietra di Vicenza prospetto sud southern elevation (c.a. 130m p.c.)	Volume totale cumulato Total combined volume	mm ³ /g	27.8	46.0	41.5
	Raggio medio dei pori Average radius of pores	μ	0.501	0.589	0.009
Pietra di Vicenza prospetto nord northern elevation (c.a. 130m p.c.)	Volume totale cumulato Total combined volume	mm ³ /g	29.0	38.5	35.9
	Raggio medio dei pori Average radius of pores	μ	0.148	6.829	0.990

I dati ottenuti dalle analisi per il dosaggio dei sali solubili e per la misura della porosità vengono riportati nelle tabelle 7 e 8 di seguito allegate.

Dall'analisi dei dati riportati nella tabella 7, relativa alla presenza di sali solubili, è possibile notare che, sia per i campioni del prospetto sud sia per quelli del prospetto nord, sono presenti solo basse quantità di solfati che vanno diminuendo procedendo dall'esterno verso l'interno, e in particolare per il prospetto sud risultano leggermente maggiori.

Per quanto riguarda invece l'analisi dei dati della tab. 8, relativa alla misura della porosità, è possibile osservare che la misura del raggio medio dei pori risulta minore in assoluto ma con una variabilità maggiore per i campioni prelevati dal prospetto sud che non per i campioni prelevati dal prospetto nord dove il raggio medio è maggiore ma con variazioni meno marcate.

measurements are reported in Tabs. 7 and 8 below. Analysis of the data in Tab. 7, regarding the presence of soluble salts, shows that for both the southern and northern elevation samples, we can see that there are small amounts of sulfates that decrease from the exterior to the interior. On the southern elevation, there are slightly greater amounts.

As for the analysis of the data in Tab. 8 for the porosity

measurement, we can see that the measure of the average pore radius is less absolutely, but with a greater variability, for samples from the southern elevation than for samples from the northern elevation where the average radius is higher, though with fewer marked variations.

Fig. 7



Fig. 7 Particolare del degrado di alcuni conci di Trachite. Degradation detail of same trachyte blocks.

Fig. 8 Zona di prelievo del campione 34, prospetto nord. Area from which sample was taken, northern elevation.

Trachite Dosaggio dei sali solubili		Measure of soluble salts				Tab. 7
I litotipi	specie ioniche ricercate	unità di misura	0-10 mm	10-20 mm	20-30 mm	
The rocks	investigated ionic species	unit of measure				
Trachite, prospetto sud southern elevation (c.a. 130m p.c.)	Conducibilità Conductivity	µS·cm ⁻¹	22.7	10.7	6.8	
	S04= S04=	%	0.80	0.54	0.46	
Trachite, prospetto nord northern elevation (c.a. 130m p.c.)	Conducibilità Conductivity	µS·cm ⁻¹	8.9	2.4	-	
	S04= S04=	%	0.30	0.03	-	

Fig. 8



Trachite Porosimetria a mercurio		Mercury porosimetry				Tab. 8
I litotipi	parametri calcolati	unità di misura	0-10 mm	10-20 mm	20-30 mm	
The rocks	calculated parameters	unit of measure				
Trachite, prospetto sud southern elevation (c.a. 130m p.c.)	parametri calcolati calculated parameters	mm ³ /g	21.0	13.0	24.1	
	Raggio medio dei pori Average radius of pores	µ	0.228	0.005	0.116	
Trachite, prospetto nord northern elevation (c.a. 130m p.c.)	parametri calcolati calculated parameters	mm ³ /g	24.0	26.9	25.0	
	Raggio medio dei pori Average radius of pores	µ	0.424	0.705	0.609	

4.2 Patine artificiali

Sulla superficie degli elementi lapidei è stata individuata, in maniera piuttosto diffusa, la presenza di patine di colore giallastro, molto tenaci e compatte, ben aderenti alla pietra sottostante, che risultano tutte costituite essenzialmente da ossalati di calcio addizionati con scarse quantità di ocre. Comunemente l'ossalato di calcio rappresenta il prodotto finale di un processo di alterazione di sostanze organiche quali le proteine e quindi, per poter individuare il tipo di proteina utilizzata sono stati effettuati dei saggi immunoenzimatici che hanno permesso di individuare la presenza di diverse tipologie di sostanze proteiche: caseine (di capra e di vacca) e colle animali (di bue e di coniglio). In particolare è stato possibile osservare che le patine in questione, essendo ormai mineralizzate, dove sono presenti hanno una funzione protettiva per il supporto lapideo in quanto lo proteggono dall'azione aggressiva degli agenti atmosferici e di conseguenza dal deposito di croste nere (figg. 13 e 14).

4.2 Artificial patinas

On the surface of stone parts, there is a considerable number of yellowish patinas that are very tenacious and compact, solidly adhering to the stone underneath. They all consist essentially of calcium oxalates in addition to small amounts of ochre. Calcium oxalate is often the end result of a process of the alteration of organic substances like proteins. As such, in order to identify the type of protein used,

immunoenzymatic assays were performed that identified the presence of different types of protein substances: caseins (goat and cow) and animal glues (ox and rabbit). As these patinas had become mineralized, it could be observed that where they were present, they had a protective function for the stone base against the aggressions of atmospheric agents and the resulting formation of black crust (Figs. 13 and 14).

Fig. 9



Fig. 10



Fig. 11



Fig. 12



Fig. 13



Fig. 14



Fig. 9 Zona di prelievo del campione 26, prospetto sud. Area from which sample 26 was taken, southern elevation.

Fig. 10 Zona di prelievo del campione 9, prospetto est. Area from which sample 9 was taken, eastern elevation.

Fig. 11 Zona di prelievo del campione 13, prospetto nord. Area from which sample 13 was taken, northern elevation.

Fig. 12 Zona di prelievo del campione 27, prospetto sud. Area from which sample 27 was taken, southern elevation.

Fig. 13 Cross section del campione 9, prospetto est. Nella foto viene messa in evidenza la patina a ossalato di colore giallastro aderente alla pietra e su di essa è riconoscibile la crosta nera. Cross section of sample 9, eastern elevation. The photo shows the yellowish oxalate patina adhering to the stone on which the black crust can be identified.

Fig. 14 Cross section del campione 26, prospetto sud. In evidenza nella foto la patina a ossalato di colore giallastro. Cross section of sample 26, southern elevation. The photo shows the yellowish oxalate patina.

4.3 Croste nere

Durante lo studio del degrado delle pietre si è visto che tutte risultano più o meno interessate dalla presenza di croste nere (vedi pp. 118-129). Lo studio al microscopio elettronico a scansione SEM effettuato sia sulla superficie esterna dei campioni sia in cross section ha permesso di determinare che tali croste nere risultano essenzialmente costituite da gesso a struttura dendritica con tipiche forme a rosa del deserto, che intrappola abbondante particolato atmosferico sia di origine naturale sia di origine antropica. In particolare per particolato di origine naturale si intende il particolato di natura vegetale (pollini) (fig. 15) e di natura silicatica (polvere) (fig. 16). Per particolato di origine antropica si intende invece quello prodotto dalle attività umane: sono state infatti riconosciute particelle sferiche di natura minerale (fig. 18) e di natura carboniosa (fig. 17). Dallo studio al microscopio elettronico è emerso inoltre che, nelle zone in cui non sono presenti le patine a ossalati, la superficie della pietra rimane esposta agli agenti atmosferici subendo quindi una forte alterazione chimica che dà luogo allo sviluppo di croste nere a spese del supporto calcareo (figg. 19 e 20).

4.3 Black crust

During the study of the stones' degradation, it was seen that all the stones have been affected by black crust to varying degrees. The study with the SEM electron microscope on the outside surface of the samples and in cross section showed that this black crust essentially consists of gypsum with a dendritic structure with typical desert rose forms that trap abundant atmospheric particulates of natural and human origins. Particulates of natural origins are of a plant (pollen) (Fig. 15) and silicate nature (dust) (Fig. 16).

Man-made particulates mean those made by human activity. Spherical particulates are of a mineral nature (Fig. 18) and carbonaceous nature (Fig. 17). Electron microscope studies also showed that in the areas where there are no oxalate patinas, the stone surface is exposed to atmospheric agents, and is therefore subject to severe chemical alteration which gives rise to the development of black crust at the expense of the limestone base (Figs. 19 and 20).



Fig. 15 Micrografia al SEM, superficie del campione 4, prospetto est. In evidenza globulo di provenienza atmosferica di natura biologica.



Fig. 16 Micrografia al SEM, superficie del campione 4, prospetto est. In evidenza globulo sferico a pareti lisce di natura alluminio-silicatica.

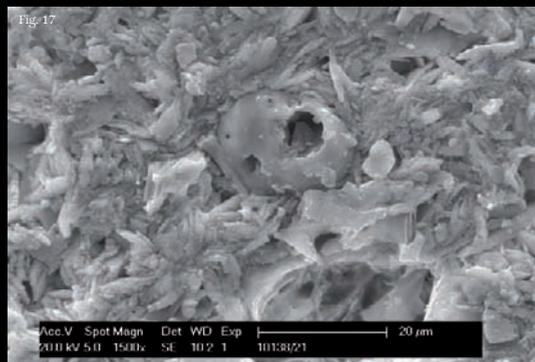


Fig. 17 Micrografia al SEM, superficie del campione 21. In evidenza globulo sferico, spugnoso, di natura carboniosa.



Fig. 18 Micrografia al SEM, superficie del campione 21. In evidenza globulo sferico a struttura superficiale dendritica di natura metallica.

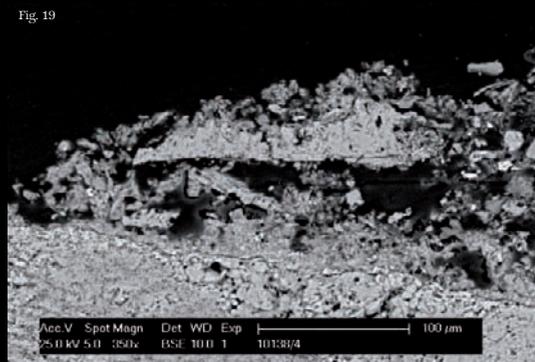


Fig. 19 Micrografia al SEM, superficie del campione 4. In evidenza l'alterazione superficiale della pietra con il distacco di scaglie.

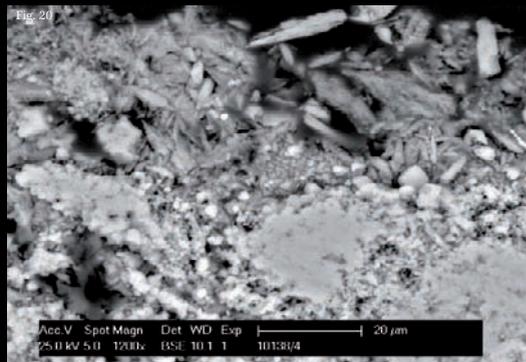


Fig. 20 Micrografia al SEM, superficie del campione 4. Particolare in cui viene messa in evidenza la zona di alterazione pietra-crosta nera.

4.4 Degrado biodeteriogeno

Il degrado dovuto alla presenza di attività biodeteriogenica appare abbastanza contenuto (vedi pp. 118-129), ed è rappresentato da patine di alghe azzurre (figg. 21 e 22) quali *Phormidium foveolarum* e *Microcystis viridis*, e da colonizzazione di muschi (figg. 23 e 24) e di licheni (figg. 25 e 26) quali la *Verrucaria lecideoides*. In particolare, nei limiti di rappresentatività dei campioni prelevati, tale attività sembra maggiormente sviluppata nelle zone dove sembra mancare la patina a ossalato.

4.4 Biodeterioration

Degradation due to biodeterioration seems fairly limited (see pages 118-129), consisting of patinas of blue algae (Figs. 21 and 22, such as *Phormidium foveolarum* and *Microcystis viridis*, and colonies of moss

(Figs. 23 and 24) and lichens (Figs. 25 and 26) such as *Verrucaria lecideoides*. Within the limits of the samples' representiveness, this kind of growth seems greater in areas where there is no oxalate patina.



Fig. 21



Fig. 22

Fig. 21 Zona di prelievo del campione 8, prospetto est. Area from which sample 8 was taken, eastern elevation.

Fig. 22 Cross section del campione 8 in cui sono visibili le colonie di alghe che penetrano all'interno dei pori della pietra. Cross section of sample 8, showing colonies of algae penetrating the stone's pores.



Fig. 23



Fig. 24

Fig. 23 Zona di prelievo del campione 12, prospetto nord. Area from which sample 12 was taken, northern elevation.

Fig. 24 Campione 12, Cuscinetto muschivo quiescente. Sample, 12, Quiescent moss.

Fig. 25 Zona di prelievo del campione 11, prospetto nord. Area from which sample 11 was taken, northern elevation.

Fig. 26 Campione 11, particolare dei corpi fruttiferi di *Verrucaria lecideoides*. Sample 11, detail of fruiting bodies of *Verrucaria lecideoides*.



Fig. 25



Fig. 26

4.5 Interventi di restauro recenti

In questa fase preliminare di studio del degrado del paramento lapideo della torre Ghirlandina sono state prese in considerazione anche alcune delle numerose stuccature applicate durante l'ultimo intervento di restauro. La scelta dei campioni è stata effettuata sulla base delle caratteristiche macroscopiche visibili a occhio nudo, quali il colore e la struttura, e tali campioni sono stati poi analizzati mediante spettrofotometro all'infrarosso FT/IR per cercare di caratterizzare quale tipo di legante fosse stato utilizzato. In particolare nei prelievi 16, 21, 22, 23, 24 e 25, che rappresentano delle stuccature di vari colori, è stato riconosciuto l'utilizzo di una resina epossidica, nel prelievo 19 che rappresenta uno strato soprapposto alla pietra è stata individuata la presenza di gomma siliconica e nel prelievo 21, in corrispondenza della crosta nera, è stata individuata la presenza in tracce di una resina acrilica probabilmente di tipo vinilico. Si segnala inoltre che negli strati superficiali nei prelievi 1, 2, 3, 6, 9, 15, 18 e 20 è stata rilevata attraverso l'analisi alla microsonda EDS la presenza di silicio in quantità elevate. Tale presenza potrebbe essere interpretata come un ulteriore intervento di consolidamento con possibili resine a base di silicati.

4.5 Recent restoration work

The preliminary study of the deterioration of the stone face of the Ghirlandina examined some of the numerous fillings applied during the last restoration. The samples were chosen based on macroscopic characteristics, visible to the unaided eye, such as the color and structure.

The samples were then analyzed through an FT/IR infrared spectrophotometer to try to determine what type of binding agent was used.

The samples 16, 21, 22, 23, 24 and 25, which are fillings of varying colors, evidenced the use of an epoxy resin.

In sample 19, which is a layer applied over the stone, silicon rubber was identified; in sample 21, around the black crust traces of (probably vinyl) acrylic resin were found. Furthermore, in the surface layers of the 1, 2, 3, 6, 9, 15, 18 and 20 samples, EDS microprobe analysis found large amounts of silicon. This could be interpreted as part of additional reinforcement work, possibly with silicate-based resins.



Fig. 27



Fig. 28

Fig. 27 Zona di prelievo del campione 16, prospetto nord. Area from which sample 16 was taken, northern elevation.

Fig. 28 Zona di prelievo del campione 19, prospetto nord. Area from which sample 19 was taken, northern elevation.

Fig. 29 Zona di prelievo del campione 21, prospetto nord. Area from which sample 21 was taken, northern elevation.

Fig. 30 Zona di prelievo del campione 23, prospetto ovest. Area from which sample 23 was taken, western elevation.



Fig. 29



Fig. 30

Fig. 31 Zona di prelievo del campione 24, prospetto ovest. Area from which sample 24 was taken, western elevation.

Fig. 32 Zona di prelievo del campione 25, prospetto ovest. Area from which sample 25 was taken, western elevation.



Fig. 31



Fig. 32

5. Conclusioni

La campagna diagnostica effettuata ha permesso di verificare l'effettivo stato di degrado dei materiali lapidei prima di iniziare le operazioni di restauro. I risultati ottenuti dalle analisi confermano che i fenomeni di alterazione delle pietre considerate sono quelli tipici che si riscontrano negli edifici posti nei siti urbani (es. formazione delle croste nere). Il fenomeno della solfatazione delle superfici calcaree non appare particolarmente marcato probabilmente per merito della diffusa presenza delle patine a ossalato che ne ricoprono le superfici. Tali patine artificiali, che rappresentano gli antichi trattamenti effettuati utilizzando sostanze organiche naturali quali caseine e colle animali, avevano la funzione sia di proteggere la pietra sia, data la policromia dovuta ai numerosi conci di colore differente, con l'aggiunta di scarse quantità di pigmento di rendere probabilmente meno vistose le diverse cromie del paramento murario. Nelle zone dove queste patine non sono più presenti la disgregazione della pietra e il distacco di scaglie dall'elemento lapideo appaiono più importanti.

Particolare appare l'alterazione dei conci lapidei di trachite esposta a sud e tale fenomeno risulta imputabile non tanto a fenomeni di trasformazione chimico-mineralogica (es. alterazione dei feldspati) ma piuttosto a fenomeni fisici quali l'azione del gelo/disgelo e dell'umidità che spingono all'interno delle microporosità provocando la disgregazione dei granuli e il distacco di croste superficiali. Infine anche la presenza di agenti biodeteriogeni quali alghe, muschi e licheni appare diffusa soprattutto nelle zone dove risultano mancanti le patine artificiali: tale attività infatti, dove è presente, interessa anche la pietra in quanto le colonie e gli apparati radicali penetrano nelle discontinuità e nelle porosità della superficie.

5. Conclusions

The diagnostic campaign assessed the actual state of degradation of the stone materials before beginning restoration work. The results obtained confirm that the changes in the stones examined are the typical kinds of alteration (such as the formation of black crust) seen in buildings in urban locations. The sulfurization of the calcareous surfaces does not seem particularly marked, likely because of the large presence of oxalate patinas that cover its surface. These artificial patinas, which are from old treatments that were applied using natural organic substances like caseins and animal glues, serve to protect the stone. Given the many different-colored blocks, the addition of a small amount of pigment likely makes the different colors of the wall face less obvious. In areas where these patinas are no longer found, the disaggregation of the stone and the detachment of stone flakes appear more significant.

Trachyte stone blocks that have a southern exposure seem to be particularly altered. This can be attributed less to chemical and mineral transformations (such as the alteration of feldspars) and more to physical phenomena such as the effect of freezing/melting and humidity that push inside micropores, causing the disaggregation of granules and the detachment of surface crust.

Finally, the appearance of biodeterioration agents such as algae, moss and lichen appear widespread, especially in areas without artificial patinas. Where there is this deterioration, the stone is also affected, as the colonies and root systems penetrate the surface's breaks and pores.

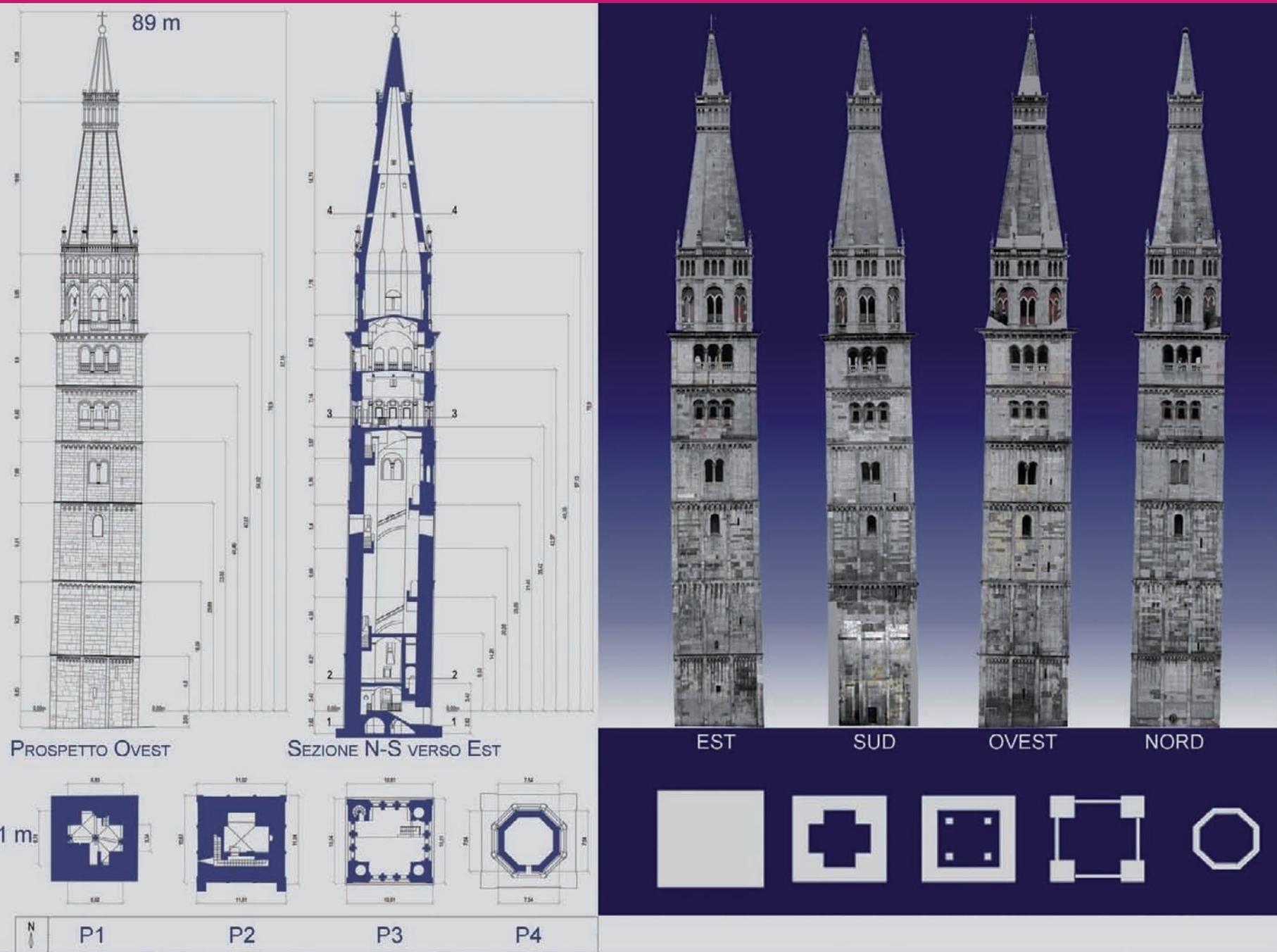
La struttura

The structure

LA STRUTTURA, STRUCTURE, DISSESTI E LESIONI DISORDERS AND CRACKS

Stefano Alfieri, Carlo Blasi, Matteo Carobbi, Eva Coisson

Fig. 1. Diverse sezioni della torre: P1 basamento, P2 pozzo, P3 cella campanaria, P4 guglia (Matteo Bonini e Silvia Tosini) Different sections of the Tower: P1 basement, P2 well, P3 bell-tower, P4 spire (Matteo Bonini e Silvia Tosini)



Fasi costruttive ed evoluzione dei fenomeni di dissesto

Carlo Balsi, Eva Coisson

La struttura La costruzione della Ghirlandina è avvenuta nell'arco di vari secoli, secondo una cronologia non completamente chiarita. A ognuna delle fasi costruttive, corrisponde una forma che si differenzia in modo evidente dalle altre.

Le fondazioni non sono molto profonde, come illustrato in altro capitolo, in quanto oggi arrivano solo a una profondità di circa 5 metri, ma circa due sono di sprofondamento; la torre aveva pertanto una fondazione interrata di poco più di tre metri, posta a un livello poco superiore a quello della Via Emilia e quindi poggiava su un terreno già alterato dall'uomo, anche se ricoperto da successive alluvioni. Ciò che desta sorpresa, per una torre di tali dimensioni in zona alluvionale, è che non è stata realizzata sopra una palificata di sottofondazione, come le regole vitruviane avrebbero imposto e come è stato constatato nella maggior parte di torri simili di epoca romana e bizantina su terreni di modesta consistenza; evidentemente la conoscenza dei testi classici era all'epoca modesta: troppo tardi per ricordare le regole del lontano passato, troppo presto per le rivalutazioni quattrocentesche dei trattati.

Le fondazioni non hanno nemmeno un allargamento consistente, per cui oggi possiamo facilmente constatare che lo stato tensionale sul terreno è decisamente superiore a quello sopportabile e non ci si può meravigliare dei dissesti fondali che hanno interessato la torre fino dalla costruzione dei primi piani; eppure le murature della parte basamentale sono possenti e fanno pensare alla volontà, fino dall'inizio, di realizzare una costruzione molto alta (fig. 1). La parte inferiore, fino al primo cornicione, realizzata all'inizio del XII secolo, è infatti massiccia, con limitati volumi interni e con vari orizzontamenti voltati. Dal primo al quarto cornicione l'interno della torre cambia completamente e diventa caratterizzato da un grande volume a pozzo unico con quattro possenti piloni angolari in muratura (fig. 2). I due successivi segmenti, rispettivamente della seconda metà del XII secolo la stanza dei Torresani e del XIII secolo la cella campanaria, sono decisamente più leggeri, aperti da trifore in ogni lato e sostenuti da quattro piloni sugli angoli che sono a loro volta alleggeriti dalla presenza delle scale. Sopra inizia la parte chiaramente gotica, piramidale su pianta ottagonale e interamente vuota all'interno, tenuta insieme da una serie di raggiere metalliche (fig. 3), completata all'inizio del XIV secolo. La torre termina con l'ulteriore sopraelevazione della guglia della fine del XVI secolo.

Building phases and the development of disorder phenomena

The structure The construction of the Ghirlandina Tower took place over several centuries, according to a chronology that is not fully clarified. To each phase there is a corresponding form that distinguishes it quite clearly from the others.

The foundations are not very deep, as explained in other chapters, because today they reach a depth of only approximately 5 metres, but approximately two meters are the result of sinking; thus the Tower had an underground foundation slightly exceeding three meters, placed at a level slightly higher than that of the Via Emilia and therefore it was resting on grounds already altered by man, even if it had been covered by the subsequent flooding. What is surprising, for a tower of such size in an alluvial area, is that it was not built on a poles foundation, as Vitruvian rules would have required and as it has been ascertained in similar towers of the Roman and Byzantine age on soft ground. Clearly the knowledge of classical texts at that time was not substantial. The foundations do not have a substantial width, so that today we can easily see that the stress on the ground is much greater than is bearable, so that the foundation problems affecting the Tower since the construction of the first floors are not surprising. However, the walls of the *lower part* are mighty and

hint at the intention, from the very beginning, to build something very high (Fig. 1). The lower part, up to the first cornice, which was built at the beginning of the 12th century, is in fact massive, with small interior spaces and several floors. From the first to the fourth cornice, the interior of the tower changes radically and its main feature a single large volume with four mighty corner pillars of masonry (Fig. 2). The remaining two segments, i.e., the Room of Torresani from the second half of the 12th century, and the Bell Cell from the 13th century, are much lighter, open with *trifore* on each side, and supported by four corner pillars that are in turn relieved by the presence of the stairs. Above this begins the clearly gothic part, which was completed at the beginning of the 14th century. It is pyramidal on an octagonal base, and is entirely empty, held together by a series of radial metallic elements (Fig. 3). The Tower ends with the further addition of the spire, which dates from the end of the 16th century (Fig. 3).

Fig. 2



Fig. 2 Il grande volume vuoto nel fusto della torre. Sono visibili i quattro piloni d'angolo e le scale su archi rampanti (foto Matteo Bonini e Silvia Tosini).
The large empty space in the body of the Tower, with four corner pillars, and the stairs on flying buttresses (photo Matteo Bonini and Silvia Tosini).

Fig. 3

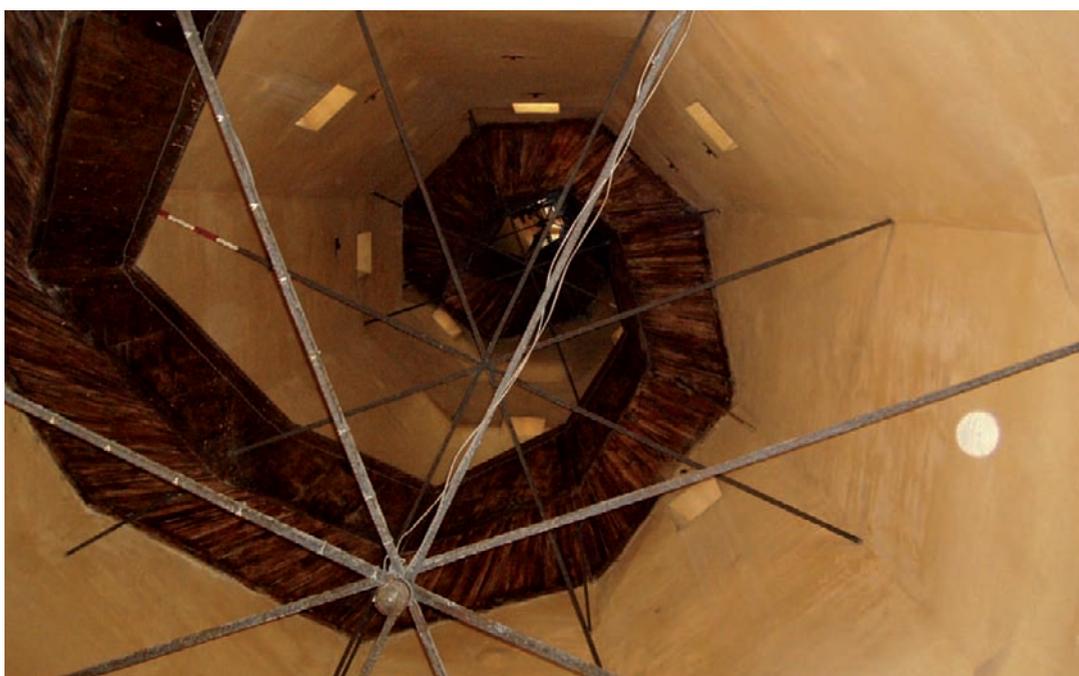


Fig. 3 Interno della guglia: sono visibili i tiranti radiali e la scala lignea a chiocciola (foto Matteo Bonini e Silvia Tosini).
Internal part of the spire: radial tie rods and the wooden spiral stair (photo Matteo Bonini and Silvia Tosini).

La struttura è sostanzialmente in muratura di mattoni, di buona qualità, uniforme e ben realizzata; un contrasto con la modestia e gli errori del progetto fondale. All'esterno il rivestimento è interamente in pietra di vario spessore e di varia tipologia.

Le lastre di pietra sono variamente collegate alla muratura in mattoni: in alcune zone sono completamente staccate, con intercapedini anche di qualche centimetro, in altre, come nella guglia, sono ancorate con staffe metalliche. Questa disomogeneità non giova alla stabilità e all'integrità del paramento di rivestimento che in alcune zone, in quanto più rigido della muratura interna in mattoni e sottoposto a minori fenomeni di rilassamento plastico, si è trovato con il passare dei secoli sottoposto a forti concentrazioni di tensioni, che hanno provocato fratture nelle pietre, mentre altre zone sono probabilmente meno caricate.

The structure is essentially made of brick masonry, of good quality, uniform and well built, in sharp contrast with the poor planning and the mistakes of the foundations. Outside, the coating is made entirely of stone of various thicknesses and types. The stone slabs are linked to the brick masonry in several different ways: in some areas they are completely detached, leaving an empty space of several centimeters, in others, in

the spire for example, anchored with metal clamps. This unevenness does not benefit the stability and integrity of some areas of the surface coating. Because the coating is more rigid than the interior brick masonry, it undergoes less intense phenomena of plastic relaxation, and therefore over the centuries it has undergone strong concentrations of tensions that caused breaks in the stones, while other areas were probably less loaded.

I fenomeni di dissesto

Con il termine “dissesto” nel linguaggio comune si indica ogni forma di danno o di pericolo che si manifesti in una costruzione, come la presenza di lesioni, di fratture o di movimenti. In realtà il significato etimologico della parola “dissesto” è “perdita della corretta geometria originaria, posizione fuori dal proprio sesto”, in contrapposizione ad “assestamento” che significa stabilizzazione in una posizione.

“Dissesto” infatti deriva dalla parola “sesto”, che nel suo significato antico, partendo dalla proporzione 1/6, divenne sinonimo di “geometria perfetta”, “forma corretta” (indice evidentemente dell’importanza, nell’architettura storica delle proporzioni, della geometria e dei numeri magici quali il 3 il 6 e soprattutto il 12).

Per chiarezza di esposizione, in un caso come quello della Ghirlandina, nel quale le variazioni di geometria e di assetto costituiscono fenomeni della massima importanza, è pertanto conveniente tenere presente le differenze di significato tra dissesti, lesioni, fenomeni di degrado eccetera.

In più, la realtà geometrica della Ghirlandina non è quella di un solido semplice e rettilineo, in quanto la torre è il risultato di successive correzioni della verticalità durante le varie fasi della costruzione, per cui non è possibile nemmeno individuare un asse geometrico e la quantificazione dei dissesti e degli strapiombi non è univoca, ma dipende dal riferimento che si adotta.

Per definire la gravità del dissesto e come questo si sia evoluto nel tempo, il primo indispensabile strumento è quindi rappresentato dal rilievo geometrico, che permette di identificare non solo la forma attuale, ma, ipotizzando ovviamente che ogni segmento sia stato realizzato verticale al momento della costruzione, di individuare i movimenti intersorsi nei secoli in ogni segmento.

Dal confronto della diversa inclinazione dei vari segmenti tra loro è possibile anche stabilire l’inclinazione della parte preesistente al momento della realizzazione di un segmento superiore.

Ulteriori informazioni si possono ottenere quando, come nel caso della Ghirlandina, siano disponibili rilievi effettuati in diverse epoche, che forniscono dati intermedi tra la situazione originaria e quella attuale.

The disorder phenomena

The term “disorder” in common language indicates any form of damage or danger that occurs in a building, as the presence of crack, fractures or movements.

In fact the etymological meaning of the word (in Italian: *dissesto*) is “out of order, loss of the original correct geometry”, in contrast to “in order” (in Italian: *assestamento*), that means stabilisation in a position.

Dissesto comes from the word *sesto* (sixth), which in its ancient meaning, starting with the proportion of 1/6, became synonymous of perfect geometry, proper form (showing the importance of proportions, of the geometry and the magic numbers, such as the 3, the 6 and especially the 12).

To be clear, in a case such as Ghirlandina’s, in which the variations of geometry and stance are of paramount importance, it is necessary, then, to keep in mind the differences in meaning among disorders, cracks, degradation phenomena, etc.

Furthermore, the Ghirlandina is not a simple, straight solid, because the Tower is the result of a series of corrections of

verticality during the various stages of construction.

Therefore, it is not even possible to identify a geometrical axis.

The quantification of the disorders and inclinations is controversial, since it depends on which reference is being used.

To define the severity of the disorder and how this evolved over time, the first essential instrument is the geometric survey, which enables the identification of the current form.

Also, based obviously on the hypothesis that each segment was first built on the vertical, it allows the identification of the movements that took place in each segment over the centuries. Comparing the respective lean of the various segments also makes it possible to determine the inclination of the pre-existing part at the time when an upper segment was built upon it.

Further information can be obtained when, as in the case of Ghirlandina, the surveys from different eras are available, providing data that show intermediate stages between the initial and the current conditions.

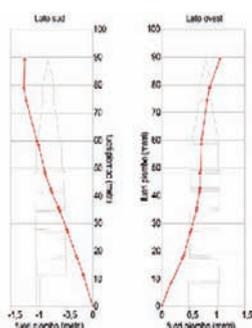


Fig. 4 Schema delle inclinazioni dei lati sud (verso ovest) (a) e ovest (verso sud) (b).
Chart of the leanings of the south side (to the west) and of the west side (to the south).

Analisi del rilievo,

lettura delle fasi costruttive ed evoluzione nel corso dei secoli.

Le informazioni che si possono cogliere da una attenta analisi del rilievo geometrico della torre sono molteplici, perché non si tratta semplicemente di quantificare il dissesto della torre, ovvero di stabilire “di quanto è inclinata”: ogni muro, a ogni piano, costruito in epoche differenti, è inclinato in maniera diversa e fornisce informazioni specifiche su quando è stato costruito, su quale era l’inclinazione dei piani sottostanti e su cosa è successo dal momento della costruzione. Come per l’universalmente nota Torre di Pisa, i costruttori, indomiti di fronte a ogni nuova inclinazione, hanno sempre tentato, a ogni ripresa dei lavori, talvolta dopo secoli, di raddrizzare i monumenti costruendo le nuove opere in verticale e, talvolta, modificando il baricentro delle piante; il risultato è la presenza di torri con andamento che volgarmente potremo chiamare “a banana”: un vero gioco d’equilibrio.

La complessa vicenda costruttiva si rispecchia pertanto nelle inclinazioni della torre stessa, analizzando le quali si possono ottenere informazioni utili sia a chiarire le fasi costruttive, sia a capire cosa sia successo nei secoli successivi, fino ai giorni nostri. A questo proposito è stato fondamentale il rilievo fotogrammetrico e topografico svolto nel 2006 dal gruppo dell’Università di Parma, in collaborazione con la ditta FO.A.R.T..

Il primo interessante aspetto che si coglie analizzando queste misure è il diverso andamento dell’inclinazione della torre nelle due direzioni principali di pendenza (fig.4), ovvero il sud (verso il Duomo) e l’ovest (verso la sacrestia). Se si esclude la parte della piramide ottagonale, che oltre a essere stata costruita in epoca molto successiva ha anche subito numerosi interventi di rimaneggiamento a causa delle frequenti infiltrazioni di acqua, si nota infatti che i vari piani della torre hanno una inclinazione sostanzialmente omogenea in direzione ovest, mentre in direzione sud mostrano un andamento marcatamente curvilineo, tipico delle costruzioni che subiscono cedimenti già in corso di costruzione e che poggiano ogni nuovo piano (costruito a piombo) su una struttura sottostante già inclinata. Se ne deduce quindi che l’inclinazione verso il Duomo è cominciata subito dopo l’inizio della costruzione ed è via via rallentata (tanto che il sesto piano ha subito minime rotazioni ed è oggi quasi verticale), mentre l’inclinazione verso la sacrestia si è sviluppata sostanzialmente solo dopo che la torre era già stata completata, portando a una inclinazione quasi uniforme in questa direzione (fig. 5). Andando più in dettaglio a studiare le inclinazioni dei vari piani in direzione sud (direzione

Survey analysis,

interpretation of the construction phases and changes over time.

Multiple types of information can be gathered from a careful analysis of a geometric survey of the Tower, because the aim is not simply to quantify the disorder of the Tower, to determine “how much it leans”. Each wall, on every floor, built in different eras, leans in different ways, and yields specific information about when it was built, the degree of lean of the lower floors, and about what has happened with the monument since it was built.

As was the case with the universally famous Tower of Pisa, the builders, when dealing with any new lean, have always tried to straighten the structure, building the new parts on a vertical and, sometimes, modifying the center of gravity of the base; the results are towers which we could roughly call “banana-shaped”: a real game of balance.

The complicated construction history therefore is visible in the leaning of the Tower itself. Through the analysis of such leanings, data may be obtained both to clarify the various building phases (particularly when documentation is lacking) and to understand what happened in the centuries that followed right up to our days.

To this purpose, the photogrammetric and topographical surveys carried out in 2006 by the University of Parma

group, in collaboration with FO.A.R.T., were essential.

The first interesting finding from the analysis are the different characteristics of the leanings of the Tower in the two main directions of slope (Fig. 4), the south (to the Duomo) and the west (towards the sacristy).

With the exception of the part of the octagonal pyramid, that was built much later, and that also underwent many repairs and changes because of the frequent infiltration of water, it can be seen that the various floors of the Tower have a uniform inclination to the west, while to the south, they are markedly curvilinear, which is typical of structures that already suffer defects during the construction and which base any new floor (built according to the plumb-line) on an already-tilted, underlying structure.

It therefore appears that the inclination towards the Cathedral began immediately after the start of the construction and gradually slowed down (the sixth floor suffered only low rotations and is today almost vertical), while the inclination towards the sacristy developed substantially only after the Tower had been completed, resulting in an almost-uniform leaning in this direction (Fig. 5). A more detailed study of the leanings of the different floors toward the south (the direction

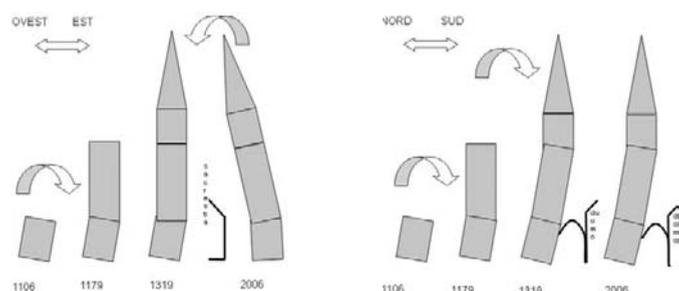


Fig. 5 Schema delle inclinazioni dei lati sud (verso ovest) e ovest (verso sud). Chart of the leanings of the south side (to the west) and of the west side (to the south).

caratterizzata dalla forma a “banana”) (fig. 4b), si può contribuire alla definizione delle fasi costruttive, problema che, in mancanza di dati documentali precisi, ha arrovellato gli storici per secoli. Si notano infatti due variazioni significative nell’inclinazione della torre in questa direzione: una tra il secondo e il terzo piano e una tra il quinto e il sesto. A queste variazioni devono aver corrisposto lunghe interruzioni nel processo costruttivo, durante le quali la torre ha continuato a inclinarsi, mentre nel terzo, quarto e quinto piano, l’inclinazione è quasi costante o va riducendosi lentamente, a testimonianza di un processo costruttivo lento ma continuo. Queste considerazioni sembrano smentire, quindi, sia l’ipotesi di una costruzione rapida, già completa fino al quarto piano al 1106 (Montorsi), sia l’ipotesi di un sesto piano costruito entro il 1217 (Quintavalle), confermando invece le ipotesi che vedono un intervallo di tempo di circa un secolo tra la costruzione del quinto (1169-1179) e la costruzione del sesto piano (1261). Queste osservazioni trovano ulteriore riprova nelle conclusioni alle quali si è giunti anche attraverso l’analisi della mappatura delle pietre, riportata nel capitolo a essa dedicato, che mostrano una netta discontinuità anche nell’uso dei materiali agli stessi livelli. Non ci sono dati per valutare gli effetti del forte terremoto del 1117 sulla Ghirlandina. A partire dalla costruzione del sesto piano, l’aumento dell’inclinazione verso sud si è quasi interrotto. Probabilmente il fatto è connesso alla costruzione nel 1338 degli arconi di collegamento con il Duomo, che evidentemente, nonostante il basso livello del contrasto in relazione all’altezza della torre, hanno avuto effetti positivi nella stabilizzazione della torre in questa direzione. Ciò testimonia come effettivamente l’equilibrio della torre sia sensibile anche a interventi modesti e la sua stabilità possa effettivamente essere paragonata a un gioco d’equilibrio.

La presenza del peso della cattedrale può quindi essere considerata una delle cause fondamentali della direzione del dissesto della torre, così come lo sprofondamento di circa due metri della fondazione della torre costituisce un fenomeno che, a sua volta, ha influenzato il comportamento della cattedrale. Più complesso è invece comprendere cosa sia successo nella direzione ortogonale, nella quale l’inclinazione si è manifestata in modo sensibile solo dopo che la torre era già stata completata, e che sembra aver avuto nuovi incrementi a seguito delle demolizioni degli edifici contigui all’inizio del XX secolo; è infatti in questa direzione che attualmente sembrano manifestarsi i maggiori incrementi a conferma della sensibilità della torre a ogni minima variazione del contesto.

of the “banana-shape”) (Fig. 4b) contributes to the definition of the construction phases, a problem that, given the absence of precise data derived from documents, has puzzled historians for ages. There are two substantial variations in the Tower’s leaning in this direction: one between the second and the third floor, and one between the fifth and the sixth. These variations probably correspond to prolonged pauses in the construction process, during which time the leaning of the Tower continued to increase, while the inclination of the third, fourth and fifth floor is almost constant or decreases slowly, which indicates a slow but steady construction process. These remarks, therefore, seem to refute both the hypothesis of a rapid construction, completed up to the fourth floor by 1106 (Montorsi) and the hypothesis of a sixth floor built by the end of 1217 (Quintavalle), confirming instead the hypothesis of a time interval of about a century between the construction of the fifth (1169-1179) and of the sixth floor (1261). These observations are further supported by the conclusions reached by the analysis of the stones mapping (see related chapter), which shows a sharp discontinuity also of the materials used for these floors. There are no data to assess the effects of the strong earthquake of 1117 on Ghirlandina.

Starting with the construction of the sixth floor, the increase of the leaning towards south nearly stopped. This is probably related to the construction in 1338 of the large arches that connect it with the Cathedral.

Clearly, this had a positive effect on the stabilisation of the Tower in this direction, even though the arches connect to the Tower at a fairly low height.

This shows that the balance of the Tower is quite sensitive even to slight interventions, and that its stability can really be compared to a “house of cards.”

The weight of the Cathedral load can therefore be considered one of the main causes of the direction of the Tower’s leaning, and, reciprocally, the sinking of approximately two meters of the Tower’s foundation has influenced the Cathedral.

It is more difficult to understand the movements in the orthogonal direction, in which the inclination happened in a noticeable way only after the Tower was completed.

The inclination seems to have increased since then, following the demolition of the adjacent buildings at the beginning of the 20th century. In fact, even now the greatest increases seem to show up in this direction, further confirming the sensitivity of the Tower to each minimal variation of its context.

Le demolizioni ottocentesche

Cosa può aver influenzato la modifica dell'orientamento del dissesto della torre? Per dare risposta a questa domanda è necessario ripercorrere non solo la storia della torre in sé, ma anche di tutti gli edifici che la circondano.

Mentre sul lato meridionale, dove sorge il Duomo, la situazione è rimasta pressoché immutata dal XIV secolo a oggi, sul lato occidentale vi sono stati maggiori mutamenti. Qui una prima piccola sacrestia era già esistente nel 1338, ma fu solo nel 1476 che essa fu ampliata e sopraelevata, in aderenza al lato settentrionale della cattedrale, creando certamente nuovi assestamenti del terreno su questo lato, non dissimili da quelli prodotti a suo tempo sul lato sud della torre dalla costruzione della cattedrale; dalle testimonianze storiche risulta che dopo soli 25 anni, però, un forte terremoto causò danni tali da costringere a una completa ricostruzione delle sacrestie; il fatto fa però pensare alla possibilità che le sacrestie fossero, al momento del terremoto, già danneggiate per le coazioni indotte dalla presenza in aderenza della torre.

Alla fine dell'Ottocento, come di moda all'epoca, l'intero insieme degli edifici intorno al Duomo subì notevoli modifiche e demolizioni: la parete nord del Duomo fu liberata, con parziale demolizione anche del chiostro della sacrestia e arretramento del protiro della Porta della Pescheria, che era allineato con lo spigolo sud-ovest della Ghirlandina e che, di fatto, svolgeva in direzione ovest un ruolo di contrasto ai movimenti della torre simile a quello dei benefici arconi sul lato sud (fig. 6).

A testimonianza della fiducia degli antichi costruttori negli effetti positivi di archi e logge di contrasto anche a edifici molto alti, può valere la pena ricordare come nel 1605, Giovan Battista Magnani, chiamato a esprimere un parere sulla stabilità della torre civica di Parma (alta secondo alcuni quasi 120 metri, affetta da vari segni di dissesto e crollata poi il 27 gennaio 1606) notasse la *“assenza di robuste fabbriche che l'affiancassero”* e proponesse, oltre a consistenti incatenamenti, anche la costruzione di *“una loggia verso settentrione appoggiata al vecchio palazzo comunale”*.

Da questo rapido quadro riassuntivo si possono pertanto avanzare delle ipotesi sulle cause che hanno portato a variazioni di inclinazione della torre al passare dei secoli, ferma restando la constatazione della sensibilità della torre a ogni alterazione del contesto, a causa della congenita debolezza fondale. La costruzione contemporanea della cattedrale può avere innescato le prime rotazioni verso sud della torre e lo sprofondamento della torre ha trascinato e dissestato la cattedrale, creando l'evidente

The nineteenth century demolitions

What may have influenced the change of orientation of the Tower's leaning? To give an answer to this question, it is necessary to retrace not only the history of the Tower itself, but also of all the surrounding buildings. While on the southern side, where the Cathedral stands, the situation has remained practically unchanged from the 14th century until now, on the west side there have been major changes. A first small sacristy, that already existed in 1338, was enlarged and raised in 1476, adjacent to the north side of the Cathedral, creating new soil settlements on this side, similar to those previously induced by the construction of the Cathedral on the south side of the Tower. However, historical documentation records that after only 25 years a strong earthquake damaged the sacristies to such an extent that they required complete reconstruction. This suggests the possibility that these sacristies were, at the time of the earthquake, already damaged due to the leaning of the adjacent tower. At the end of the 19th century, according to the fashion of that era, the buildings in the area around the cathedral underwent significant changes and demolition: the northern wall of the Cathedral was cleared, with partial demolition also of the cloister of the sacristy and retreat of the *protiro* of the Door of the

Fishmonger, which was aligned with the southwest edge of the Tower. This actually had a westward contrasting action against the movements of the tower, similar to the action of the beneficial great arches on the south side (Fig. 6). The ancient builders were very confident in the positive effects of strings and loggias of contrast, even in very high buildings. In keeping with this, it is worth remembering how, in 1605, Giovan Battista Magnani, a consultant on the stability of the Civic Tower of Parma (according to some authors, almost 120 metres high, and it showed several signs of disorder, and actually collapsed on 27 January 1606), recorded the “absence of strong constructions to support it” and proposed, in addition to the use of large ties, the construction of “on the north side of a loggia up against the old Palazzo Comunale”. From this brief overview, it is possible to speculate about the causes that led to changes of inclination of the Tower over the centuries, without forgetting the sensitivity of the Tower to every alteration of context, because of the congenital weakness of its foundations. The contemporaneous construction of the Cathedral may have triggered the first rotations of the Tower towards south, and the sinking of the tower has pulled the Cathedral, creating clearly converging deviations from

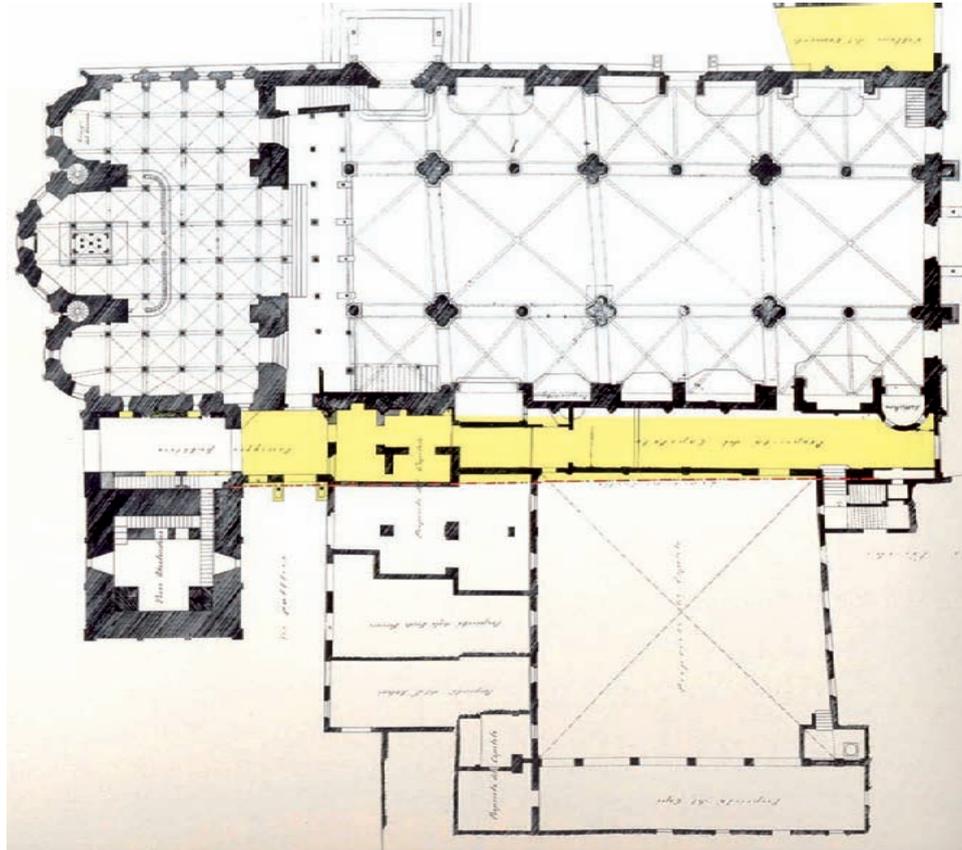


Fig. 6 Pianta storica
(con indicate in giallo le demolizioni)
e foto dei lavori.
Historical blueprint
(demolitions are shaded in yellow)
and photos of the work.



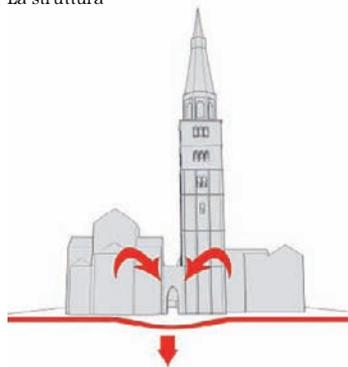


Fig. 7 Schema dei dissesti "convergenti" della torre e del Duomo e dell'effetto di trascinamento dello sprofondamento della torre (Matteo Bonini e Silvia Tosini).
Chart of the converging leanings of the Tower and of the Cathedral.

convergenza degli strapiombi tra i due edifici (fig. 7); la costruzione degli archi ha sostanzialmente ridotto il fenomeno in direzione sud, che ha però trovato nuovi stimoli in direzione ovest a causa del peso dei nuovi edifici. La rotazione verso ovest ha poi subito nuovi incrementi ed è oggi quella di maggiore derivata a causa delle demolizioni effettuate alla fine dell'Ottocento e in particolare della demolizione delle strutture di contrasto presenti in tale direzione.

Confronto con i rilievi di inizio '900

Conferma delle ipotesi sopra esposte si ha anche dalle ulteriori informazioni sull'evoluzione dell'inclinazione che ci sono fornite da una serie di rilievi effettuati per conto del Comune tra la fine del XIX e l'inizio del XX secolo, dati molto utili per il confronto con la situazione attuale. Il rilievo del dissesto fu affrontato per la prima volta in modo scientifico nel 1898 dall'ingegner Eugenio Marchi dell'Ufficio tecnico comunale in occasione del restauro del paramento di pietra della parte troncopiramidale della torre. Il metodo usato dal Marchi consisteva nella determinazione dello scostamento dalla verticale del filo a piombo, calato dal centro geometrico della base interna della guglia, del centro geometrico della sezione interna di base della torre. Il rilievo del Marchi si limitava, quindi, alla misurazione del centro degli ambienti interni. Nel 1901 l'analisi si estese al rilievo del paramento esterno e i lavori furono commissionati all'ing. Francesco Cavani, professore di geometria pratica all'Università di Bologna. Il rilevamento della geometria esterna della torre fu condotto solo per la parte prismatica, cioè fino al sesto piano. Facendo stazione su 5 capisaldi attorno alla torre, vennero determinati per doppia intersezione i vertici degli spigoli della torre alla sommità e a terra, nonché una serie di punti singolari intermedi. Si riuscì così a stabilire che l'asse era inclinato in direzione sud-ovest con una pendenza pari al 2,16%, e uno strapiombo di m 1,05 rispetto a un'altezza di m 48,80; i quattro spigoli presentavano invece un'inclinazione diversa a causa anche della rastremazione del profilo della torre dal basso verso l'alto. Il confronto con i dati attuali mostra come lo strapiombo dell'asse al sesto piano sia aumentato in un secolo di 13 cm, dato di poco superiore all'incremento medio al secolo dalla data di costruzione a oggi; in realtà bisogna tenere conto che i cedimenti del terreno normalmente hanno una fase iniziale più accentuata e vanno via via rallentando, cosa che in questo caso non sembra avvenire (fig. 8). Il sistema di monitoraggio automatico costituisce pertanto un elemento fondamentale di conoscenza e controllo per i prossimi anni.

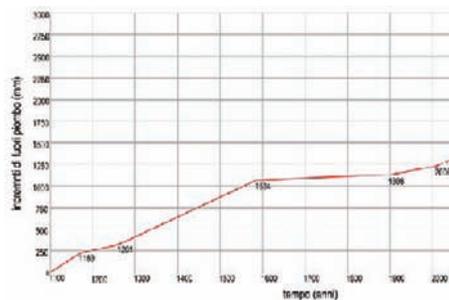


Fig. 8 Grafico dell'evoluzione dell'inclinazione della torre dalla costruzione a oggi: si nota una tendenza all'accelerazione negli ultimi decenni, che dovrà comunque essere confermata nei prossimi anni dal sistema di monitoraggio. La linea tratteggiata indica un incremento medio del fusto prismatico di circa 130 mm/secolo.

Chart of the evolution of the leaning of the Tower from its construction to today; in the last decades, the leaning has increased, but this will have to be confirmed in the coming years by the automatic monitoring system. The dotted line indicates an average increase of the drum prismatic of approximately 130 mm/century.

verticality between the two buildings (Fig. 7). The construction of arches on the south side substantially reduced the phenomenon; however, on the west side, the weight of the new buildings increased the

Comparison with the surveys from the early twentieth century

Additional information on the evolution of the inclination, supplied by a series of surveys carried out on behalf of the Municipality between the end of the 19th and the beginning of the 20th century confirm the above-mentioned hypothesis; these surveys are very useful for comparison with the current situation. The disorders survey was scientifically discussed for the first time in 1898 by Engineer Eugenio Marchi of the Municipal Technical Office on the occasion of the restoration of the stone skin of part of the Tower. Dropping a plumb-line from the center of the internal base of the cusp, Marchi determined the extent of the deviation from the vertical of the geometrical center of the internal base of the tower at that point. This survey was limited therefore to the measurement of the centre of the internal spaces. In 1901, the analysis was extended to the survey the external surface and the work was commissioned to Engineer Francesco Cavani, Professor of Practical Geometry at the University of Bologna. The survey of the external geometry of the Tower was

phenomenon. The rotation to the west subsequently increased, and is now the most relevant, because of the demolitions made at the end of the 19th century, particularly of the supporting structures that existed on this side.

limited to the prismatic part, that is, up to the sixth floor. The edges of the Tower at the summit and on the ground, and a series of singular intermediate points, were determined through double intersection using 5 strongholds around the Tower. It was determined that the axis was tilted to the southwest with a gradient of 2.16%, and a deviation from verticality of 1.05 m over 48.80 m of height. The four edges had different degrees of inclination due to the tapering of the Tower's profile from the bottom to the top. The comparison with the current data shows that the deviation from the plumb-line on the sixth floor has increased by 13 cm in a century, which is a little more than the average increase per century from the date of construction to today. To appreciate this change, in fact we must consider that the soil settlements are normally greater in an initial phase, then progressively slows down, which does not seem true in this case (Fig. 8). The automatic monitoring system is therefore an essential tool for knowledge and control over the coming years.

Quadro fessurativo Stefano Alfieri

Fratture nelle strutture portanti

Le “fratture” nelle strutture portanti costituiscono una manifestazione patologica strettamente connessa con i “dissesti”, della quale è indispensabile una conoscenza accurata, sia della situazione attuale che dell’evoluzione nel tempo, per interpretare la vita completa della struttura, ovvero per ricostruire la storia di quell’esperimento in scala al vero che ogni edificio storico rappresenta, come descritto all’inizio del capitolo sul monitoraggio. L’indispensabile lettura dei quadri fessurativi è pertanto da correlare a tutte le altre informazioni provenienti dalla conoscenza materica e costruttiva di una struttura, dalla lettura dei dissesti, dai dati di eventuali sistemi di monitoraggio e dalla conoscenza degli eventi eccezionali naturali e antropici a cui sono state sottoposte le strutture nella storia. Nella Ghirlandina, i primi dati storici relativi al rilievo di uno stato fessurativo importante e diffuso sono quelli contenuti nella descrizione dei lavori di restauro avvenuti successivamente al terremoto del 1501. In tale occasione il canonico Dondi scrisse: “Il terremoto del 1501 apportò non pochi guasti nelle rose delle finestre, e negli ornati collocati sopra il quadrato e la parte maggiore dell’ottagono soprastante. Le finestre dovettero fortificarsi con catene di ferro, e le opere di riparazione continuarono durante gli anni 1502, 1503, e 1504”. Il sisma del 1501 creò diversi danni anche alla cattedrale. Successivamente le notizie più recenti arrivano dai rapporti dei lavori ottocenteschi avvenuti sia nella parte piramidale che in quella quadrata. Nella relazione sui *restauri della Torre Ghirlandina eseguiti nell’anno 1890*, i rapporti dei lavori di restauro denunciano la presenza di lesioni diffuse nel paramento murario interno, in particolare nella cella campanaria e nella stanza dei Torresani (quinto e sesto piano) tali da dover prevedere l’uso di cerchiature e incatenamenti lungo il perimetro. “Aperte poi tutte le fenditure e levati i mattoni spezzati si sono fatte le ricostruzioni con ogni cura d’arte e così dicasi nei volti delle scale e dei finestroni e dei prospetti. E siccome di questa parte della Torre la murazione interna è tutta in mattoni romani a faccia a vista, così nei restauri si è scrupolosamente usato lo stesso materiale, o congenere, limitando al puramente necessario le parti nuove”². Il lato più danneggiato sembra fosse quello settentrionale che aveva ampie fenditure verticali. Altre lesioni sono state trovate nei parapetti delle scale a causa di abbassamenti degli archi che le sostengono. Durante i lavori di restauro della parte piramidale, inoltre, si trovarono anche una serie di cinque cerchiature poste nell’incamiciatura dei paramenti murari collegate tra loro da catene; introdotte probabilmente nella campagna di restauri avvenuta tra il 1574-87.

The crack pattern

Fractures in load-bearing structures

Fractures in load-bearing structures represent a pathological condition strictly connected with disorders.

A detailed analysis of their current status and their evolution in time is necessary to interpret the complete life of the structure.

The interpretation of fractures therefore has to be related to the all the data that come from the study of material and construction characteristics, disorders, various monitoring techniques and from the particular natural and man-made events to which the buildings were exposed during their history.

In the Ghirlandina Tower, the first historical data referring to widespread and relevant fractures are found in the description of the restoration works following the 1501 Earthquake, which also seriously damaged the Cathedral. Later reports came in the 19th century related to works both in the pyramidal and square parts of the Tower. *The Report of the Restoration of the Ghirlandina Tower in 1890*, these widespread lesions in the internal walls, particularly in the Bell Room and in the Torresani Room (floors 5 and 6) were described to justify the use of ties along the perimeter. The northern side was the most damaged, with large vertical fractures. Other cracks were found in the stairs parapet, probably due to the lowering of the supporting arches. During the restoration work on the top of the Tower, five perimeter ties were found between the external and internal walls, probably put on between 1547-87.

Più recentemente, negli anni '70, lavori di restauro si sono concentrati sul paramento esterno con la sostituzione di lastre di pietra ammalorate. Le ultime osservazioni sullo stato delle lesioni sono iniziate nel 2006 per le murature interne e sono poi proseguite nel 2008 sui prospetti esterni grazie alla presenza dei ponteggi montati in occasione dei lavori di restauro.

Concentrando l'attenzione sulle patologie di tipo strutturale, trascurando quelle legate a fenomeni di degrado delle superfici, i rilievi hanno evidenziato sia lesioni antiche, riconoscibili dalla presenza di depositi superficiali, sia lesioni più recenti stuccate e poi riaperte, anche se complessivamente all'interno della torre le murature in mattoni appaiono compatte e di buona fattura e la situazione strutturale, grazie anche agli interventi ottocenteschi appare non allarmante.

Le lesioni rilevate, per lo più verticali (sostanzialmente in accordo con quanto rilevato nell'ottocento), sono presenti soprattutto tra i 30 e i 50 m di quota. Le fratture verticali nelle zone alte sono ricorrenti nelle torri (così come ricorrenti ed efficaci sono gli interventi di cerchiatura) e sono la conseguenza della naturale tendenza ad aprirsi delle scatole murarie, talvolta innescate da fenomeni traumatici come i terremoti.

Nel caso della Ghirlandina le lesioni sono maggiormente giustificate dalla presenza di elementi costruttivi spingenti come le scale rampanti nel fusto centrale, la volta che copre la cella campanaria e la stessa guglia piramidale.

Un recente rilievo ha messo in evidenza però una distribuzione disomogenea a seconda dell'orientamento delle pareti. La muratura oggi più lesionata è quella a sud (figg. 9 e 10). Anche a ovest e a est sono presenti delle lesioni verticali ma meno estese (figg. 11, 12, 13, 14). Sebbene oggi la parete meno lesionata sembri quella a nord (figg. 15 e 16), dove le fessure si limitano alla stanza dei Torresani, è noto dai documenti storici sopracitati che prima del restauro del 1890 anche questa risultava decisamente fratturata. Si può pertanto considerare che il fenomeno sia simmetrico, e quindi prodotto dalle cause intrinseche ipotizzate, anche se si è manifestato nel tempo in modo leggermente diverso sulle varie facce della torre. Analizzando piano per piano a esclusione della parte ottagonale e piramidale, si possono trovare le principali lesioni nella zona cella campanaria, anche se la presenza del castello che sorregge le campane non permette di individuare forse tutte le fessure.

The most recent observations on the state of the fractures started in 2006 for the internal walls, and were extended in 2008 for the external walls. Concerning structural pathologies, omitting those related to natural material decay, the surveys showed both ancient and new fractures, the first ones covered by superficial deposits, the second plastered over and then reopened.

However, internal brick masonry appears well manufactured and its structural status is not alarming, especially thanks to the consolidation works of the 19th century. Fractures are mostly vertical and situated in the upper part of the Tower that is between 30 and 50 m from the ground, and are a consequence of the natural tendency of the masonry boxes to open, which is sometimes triggered by dramatic phenomena such as earthquakes. In the particular case of Ghirlandina, the cracks are even more justified by the presence of horizontal thrusts caused by the constructive elements like the stairs in the central body, the vault covering the Bell Cell, and the spire itself. A recent survey showed a non-uniform distribution of fractures, depending on the walls' orientation. The most damaged wall is the southern one (Figs. 9 and 10); vertical lesions in the

west and east sides are less widespread (Figs 11, 12, 13, 14). Even though the least damaged wall is now the northern one (Fig. 15 and 16), where fractures are limited to the Torresani room, historical documents report that before the restoration in 1890, this side was also severely fractured. Therefore we can conclude that the phenomenon is symmetrical, even with different manifestations over time in the various parts of the Tower, and is due to the intrinsic hypothesized causes. Analyzing floor by floor, omitting the octagonal and pyramidal parts, the main lesions are situated in the bell cell, even if the presence of the bells' supporting structure does not allow one to see all the fractures. In particular, the most evident cracks are in the stairs compartment, probably due to the fact that the stairs ties system is open and not anchored to external plates, rather, to visible anchor points in the interior of the cylindrical stair compartment. Also one of the four pillars, added to support the octagonal structure, is today jacketed. Descending in the Tower at the level of the room that hosted the Torresani room, three vertical lesions are present on the eastern side, of which a central one is almost vertical and on each side, two fractures symmetrically converge upwards.

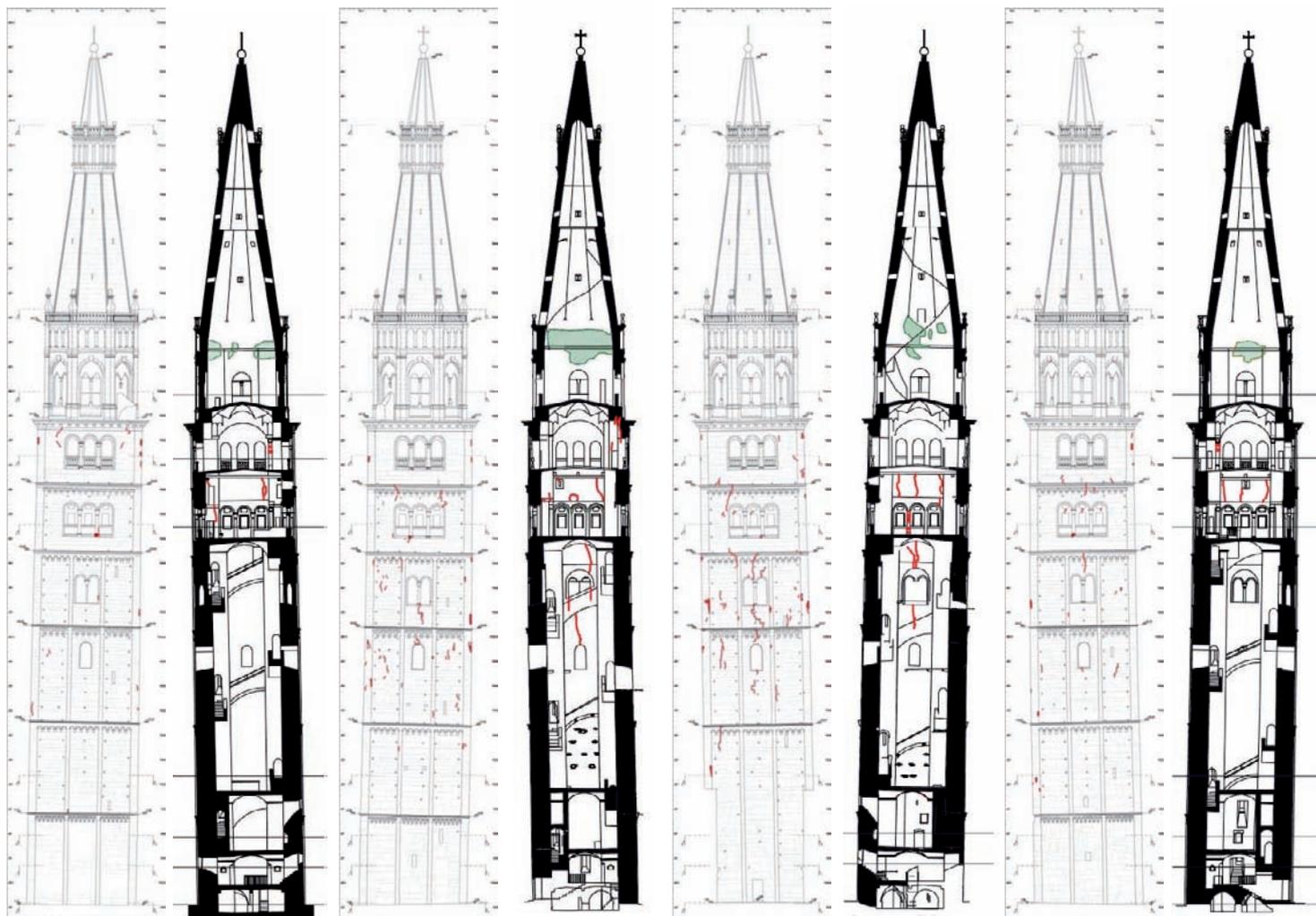


Fig. 9

Fig. 10

Fig. 9 Rilievo delle lesioni nel prospetto nord esterno.
Survey of the lesions on the external north side.

Fig. 10 Rilievo delle lesioni nel prospetto nord interno.
Survey of the lesions on the internal north side.

Fig. 11

Fig. 12

Fig. 11 Rilievo delle lesioni nel prospetto ovest esterno.
Survey of the lesions on the external west side.

Fig. 12 Rilievo delle lesioni nel prospetto ovest interno.
Survey of the lesions on the internal west side.

Fig. 13

Fig. 14

Fig. 13 Rilievo delle lesioni nel prospetto sud esterno.
Survey of the lesions on the external south side.

Fig. 14 Rilievo delle lesioni nel prospetto sud interno.
Survey of the lesions on the internal south side.

Fig. 15

Fig. 16

Fig. 15 Rilievo delle lesioni nel prospetto est esterno.
Survey of the lesions on the external east side.

Fig. 16 Rilievo delle lesioni nel prospetto est interno.
Survey of the lesions on the internal east side.

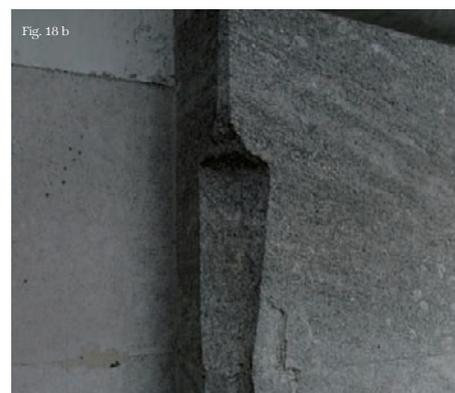
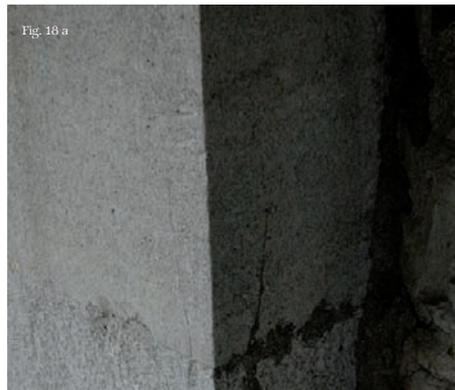


Fig. 17 a,b Lesioni sul paramento lapideo esterno, che hanno riscontro in lesioni interne; nella foto a la situazione è ancora a livello di lesione, mentre nella foto b il distacco è già avvenuto.

Lesions on external stone surface, consistent with internal lesions; in picture B', you can see what has been caulked, and thus you can see how wide the fracture is.

Fig. 18 a,b Lesioni "a clessidra" in corrispondenza degli spigoli dei costoloni esterni: nella foto a la situazione è ancora a livello di lesione, mentre nella foto b il distacco è già avvenuto.

Hourglass shaped lesion on the edges of the external ribs; in photo a, the condition is still only a lesion, while in photo b, the detachment has already occurred.

Fig. 19 Frattura e distacco di un frammento alla base di una semicolonna addossata al paramento lapideo.

Fracture and detachment of a fragment from the base of a brick half-column attached to the stone surface.

Evidenti sono quelle presenti nel vano scale, probabilmente determinate dal fatto che il sistema di catene non è "chiuso", in quanto non è ancorato a capi-chiave esterni, ma ad ancoraggi visibili all'interno del vano scale cilindrico.

Anche uno dei quattro pilastri, aggiunti per sostenere la struttura ottagonale, risulta oggi cerchiato.

Scendendo nella torre a livello della stanza che ospitava i Torresani si trovano tre lesioni verticali sul lato est di cui una centrale pressoché verticale e due simmetriche di lato con andamento convergente verso l'alto.

Sul lato nord si trovano una lesione verticale sulla finestra di sinistra e una lungo il muro che chiude il vano scala; a ovest le lesioni sono vicino allo spigolo di nord ovest e a sud sopra a una finestra; inoltre due lesioni sono presenti un architrave sul lato sud; a sud sono presenti anche tre lesioni verticali nella muratura ed una colonna lesionata è cerchiata.

Delle tre lesioni quella centrale prosegue anche nei piani inferiori fino a una quota di 30 m. (l'insieme delle lesioni è descritto dai grafici e dalle foto nelle figg. 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16).

In particular, on the north side, there is a vertical lesion on the left window and one along the wall at the top of the stairs; to the west, the crack is near the northwestern edge and on the south side, they are above a window; also two lesions are present on an architrave on the south side; on the southern side, three vertical lesions are also present in the masonry and a cracked column is jackedted. Of the three lesions, the central one continues on the lower floors to a height of 30 m (all the lesions are described in the graphs and photos in Figs. 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16).

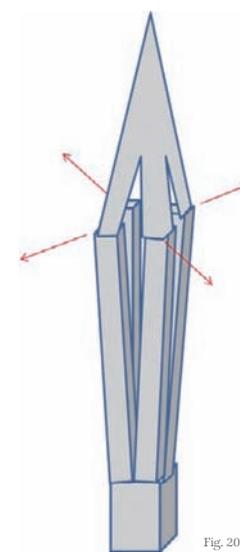


Fig. 20

Fig. 20 Schema del meccanismo ricorrente che produce lesioni verticali negli edifici snelli, riscontrato anche nella Ghirlandina. Graph of the recurrent mechanism producing vertical lesions in towers, which has also been found in the Ghirlandina.

Fratture negli spigoli dei costoloni

La presenza dei ponteggi all'esterno ha permesso di esaminare attentamente anche tutto il paramento lapideo, per cui è stato possibile identificare essenzialmente due tipologie di lesioni nelle pietre: lesioni corrispondenti alle lesioni interne e quindi prodotte dalle cause sopra ipotizzate e lesioni sugli spigoli dei costoloni prodotte probabilmente da concentrazioni di tensioni a livello locale, come meglio di seguito illustrato. Le lesioni "strutturali" esterne (fig. 17) sono state confrontate con quelle interne a conferma dell'unicità del fenomeno. La seconda tipologia di lesioni, si presenta con una ricorrente forma "a clessidra" (Fig. 18) che porta a distacchi completi di porzioni di pietra, come visibile nelle figure 18 a e b. La causa è certamente la concentrazione di tensioni che con il tempo si è creata nelle pietre del paramento esterno più rigide della muratura interna in mattoni. Il fenomeno della "migrazione" delle tensioni nelle strutture in pietra esterne più rigide, per fenomeni lenti di rilassamento plastico delle murature con maggiori strati di malta, è fenomeno ben noto ed è stato ben descritto da Rondelet nella sua famosa memoria del 1797 sulle fratture delle pietre dei piloni della chiesa di Sainte-Geneviève a Parigi. L'analisi di questi fenomeni se da un lato non ha evidenziato particolari situazioni di pericolo per la sicurezza complessiva dell'edificio, ha comunque consentito una migliore comprensione del comportamento globale della struttura (fig. 20), fornendo dati interessanti per futuri interventi di consolidamento.

Tiranti e ancoraggi metallici nella guglia

La guglia ha una forma piramidale realizzata con una muratura di mattoni rivestita da lastre di pietra. Nonostante la compattezza della muratura, il rischio di fratture verticali e il possibile insorgere di spinte radiali ha suggerito (probabilmente in occasione dei restauri cinquecenteschi) la realizzazione di un interessante sistema di tiranti incrociati a più livelli (fig. 3). Le recenti indagini, possibili grazie a un ponteggio interno, in aggiunta a quello esterno, hanno reso possibile una comprensione dell'intero sistema di ancoraggi: i tiranti radiali, originali, sono ancorati all'esterno della muratura in mattoni a profilati metallici inseriti probabilmente durante gli ultimi restauri di fine Ottocento. In tale occasione sono stati sostituiti gli ancoraggi antichi, ormai ossidati, che tenevano le lastre di pietra aderenti alla muratura. Il sistema sembra perfettamente funzionante e la situazione statica ottima.

Fratture in the edges of the ribs

The presence of outside scaffolding permitted careful examination of the stone face, so that it was possible to identify essentially two types of cracks in the stone: lesions corresponding to internal injuries and therefore produced by the same causes, and cracks in the edges of the ribs, probably produced by stress concentration at a local level, as is described below. The external "structural" lesions (Fig. 17) have been compared with internal ones (Figs. 18, 19) confirming that they have the same cause. The second type of injury is characterized by a recurrent hourglass shape that leads to a complete separation of portions of stone, as can be seen in the figures. The cause is certainly the

Tie rods and metal anchorages in the spire

The spire is in the shape of a pyramid, and made of bricks covered with stone slabs. Despite the compactness of the masonry, the risk of vertical fractures and the possible onset of radial forces imposed (probably on the occasion of the restoration in the 16th century) the execution of an interesting system of tie rods, crossed at many levels (Fig. 3). The recent investigations, made possible by an internal

concentration of stress in the stones of the outer surface, which are more rigid than the internal brick masonry. The phenomenon of "tension migration" in the more rigid external stone structures is due to slow plastic relaxation of the masonry that has thicker layers of mortar, which is well-known and was clearly described by Rondelet in his famous 1797 memoir about the stone fractures in the pillars of the Church of Sainte Geneviève in Paris. The analysis of these phenomena, on the one hand, has not shown relevant threats to the overall safety of building; it has, however, allowed a deeper understanding of the behaviour of the structure (Fig. 20) and has provided data that will be useful for future interventions.

scaffolding, allowed a better understanding of the entire anchorage system: the original, radial tie-rods are anchored on the outside of the brick masonry to metal plates that were probably inserted during the last restoration of the 19th century. At that time, the old anchorages, holding the stone slabs to the masonry, were found to be rusted and were replaced. This system seems to work perfectly and the static situation is excellent.

Dissesti e interazioni tra la Ghirlandina e il Duomo

Stefano Alfieri, Matteo Carobbi

Chiunque si fermasse in prossimità dell'abside del Duomo, con lo sguardo rivolto in direzione ovest, verso la facciata della cattedrale, noterebbe l'evidente convergenza dei profili verticali meridionale della torre e settentrionale del Duomo (fig. 21).

Sebbene questa anomalia sia evidente a occhio nudo, più difficile risulta comprendere motivazioni, origini e cause di questo fenomeno e vari sono gli elementi che vi hanno influito: dai processi costruttivi paralleli dei due edifici, ai cambiamenti che questi hanno subito nell'arco della storia, dalle influenze reciproche a livello fondale alle variazioni altimetriche dovute a fenomeni geologici (subsidenza).

Su questa base conoscitiva sono stati realizzati rilievi geometrici di precisione finalizzati alla comprensione dei movimenti che potrebbe aver subito il Duomo dalle origini a oggi e al confronto con le informazioni sugli studi della pendenza della torre (fig. 22). Gli archi di collegamento tra torre e Duomo che vediamo oggi sono in realtà un rifacimento risalente ai primi anni del Novecento di strutture realizzate a partire dal 1338 (fig. 23). La presenza di questi archi a partire dalla metà del XIV secolo si deve probabilmente a una duplice necessità, statica e funzionale; infatti tra le due strutture venne creato uno spazio sovrelevato dedicato sia a sacrestia sia a passaggio diretto verso la torre ad uso esclusivo del clero.

Questo percorso aveva accesso diretto dalla zona presbiterale, sovrelevata rispetto alla navata. La ricostruzione del sistema storico di accessi è stato possibile durante i lavori di fine Ottocento per l'isolamento della parete settentrionale del Duomo, una volta esaminati i ritrovamenti avvenuti sulla parete esterna della cattedrale compresa tra i due archi. Come si può infatti notare nel disegno, realizzato da Tommaso Sandonni, segretario del Comitato per i restauri del Duomo (fig. 24), vennero individuate due tracce di porte indicate con le lettere A e B a quote differenti: "Si lavora tra la torre ed il Duomo: si è scoperta un'altra porta che aveva la soglia un metro più in basso dell'altra che era aderente all'altare delle reliquie, soglia corrispondente all'antico piano del presbiterio e si trovava sotto alla finestrella del secondo arco al punto - A - di questo informe disegno ... Modena 1 agosto 1900- Durante il mese di luglio si è sempre lavorato fra la torre e il Duomo. Abbattute finalmente le volte e tolti i muri su cui poggiavano, si sono scoperte antiche pitture a fresco, che insieme a quelle levate nel 1882 coprivano la parete del Duomo a poca altezza da terra, terminanti tutte in alto ad una stessa linea indicante che lì eravi un piano, corrispondente appunto alla soglia della porta più bassa.

Disorders and Interactions between Ghirlandina Tower and Modena Cathedral

Next to the Cathedral apse, looking westward to the Cathedral façade, the convergence between the southern vertical Tower profile and the northern one of the Cathedral is clear (Fig. 21). Although this anomaly is quite evident, it brings up motivations, origins and causes of this phenomenon that are more difficult to understand. Several elements have influenced this phenomenon: the two buildings' parallel construction process, the several changes that occurred during their history, as well as the mutual influences at the foundation level and the huge altimetric variations caused by geological phenomena (subsidence). Based on this knowledge, precision geometric surveys have been accomplished in order to understand the movements of the Cathedral since its origin, comparing it with the information that was derived from the studies on the inclination of the Tower (Fig. 22). The link arches between Tower and Cathedral, as they are today, are an early 20th century reconstruction of the original structures that date back to the 14th century (1338) (Fig. 23). The presence of these arches is probably due to a double necessity, a static one and a functional one; as a matter of fact, between the two structures, an upper level has been created. This foot-bridge contained a sacristy and functioned as an exclusive direct path for the clergy towards the Tower. This linking passage had direct access from the presbytery, which is higher than the nave.



Fig. 21

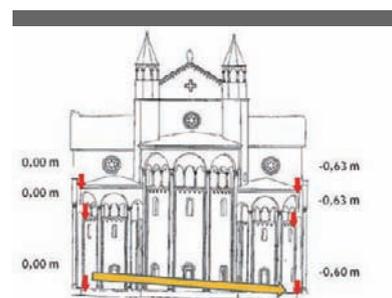


Fig. 22



Fig. 23

Fig. 21 Duomo e torre: vista del lato est. Si può notare come le absidi siano inclinate verso la torre e viceversa.

The Modena Cathedral and the Ghirlandina Tower: East side. The apse movement towards the Tower and vice versa is clear.

Fig. 22 Rilievo altimetrico della zona absidale. Altimetric survey of the apse area.

Fig. 23 Immagine della zona absidale del duomo in cui si vede l'arco di collegamento con la torre. Apse zone of the Cathedral, with reference to the arch between the Tower and the Cathedral.

Nell'arcata a sinistra verso il palazzo del Comune c'era la pittura murale di S. Geminiano levata nel 1882 e illustrata dal Bortolotti, in quella di mezzo si è trovato un trittico con la Vergine nel mezzo che allatta il Bambino; a sinistra un santo con in mano un coltello ed un libro, forse S. Pietro martire, a destra S. Geminiano. Nell'altra arcata dimezzata dal muraglione, un vescovo, di cui si vede solamente una parte della persona, un S. Tommaso d'Aquino. La pittura continua voltando sul muraglione dove c'è una Vergine con Bambino. Questa pittura, quando venne levato il piano orizzontale contro cui finiva, venne in parte guasta, quando al piano a travatura fu sostituito una volta, la cui monta le passò per mezzo, vòlto che costrinse anche a spezzare la cornice del muraglione... Modena 25 Giugno 1900".

L'ing. Tosi direttore dei restauri, durante la demolizione degli archi tra torre e Duomo, verificò il mancato ammorsamento delle murature con quelle del Duomo, e questo venne interpretato come un segno dell'inefficacia del collegamento e dell'inutilità dello stesso. In realtà la storia dell'inclinazione della torre mostra chiaramente l'efficacia degli arconi (figg. 25, 26, 27). In realtà la commissione di tecnici creata per la valutazione della possibilità di ripristinare gli archi, anche di fronte allo stato avanzato delle lesioni, che mostravano un movimento progressivo della torre verso il Duomo, decise saggiamente di ricostruirli. Dalla loro ricostruzione di inizi '900 a oggi si sono manifestate negli arconi delle deformazioni geometriche che mostrano come in realtà gli archi siano nuovamente compressi dalla torre: entrambi gli archi mostrano una traslazione geometrica della parte superiore in direzione orizzontale verso il Duomo e solo quello a sud ovest si è abbassato in direzione verticale (fig. 28). Da questo fatto si può desumere che gli archi abbiano ripreso nuovamente il loro ruolo attivo nella statica del complesso Torre-Duomo. In particolare quello di rallentare il processo di avvicinamento reciproco dei due edifici e di realizzare una connessione che certamente ostacola lo sprofondamento del lato sud della torre. Per quanto attiene lo stato fessurativo degli archi l'analisi ha mostrato lesioni legate alla formazione di cerniere all'estradosso dell'arco, in prossimità della chiave, del tutto simili alle lesioni che si erano rilevate agli inizi del '900 nei vecchi arconi, e delle aperture divergenti in senso verticale nelle posizioni di contatto tra archi e torre, a ulteriore conferma del ruolo attivo condotto dagli archi a sostegno della torre (figg. 29, 30, 31a, b). Il rilievo fotogrammetrico della torre, eseguito nel 2006, che ha consentito la misurazione delle pendenze, è servito per un confronto con i risultati ottenuti dallo studio della pendenza di inizi '900 eseguito dall'ing. prof. Francesco Cavani dell'Ateneo di Bologna.

During the work to isolate the north-side Cathedral wall, which occurred at the end of the 19th century, some traces were discovered on the external wall between the two arches. From examining them, it has been possible to reconstruct the historic access system (Fig. 24). During the demolition of the arches between the Ghirlandina Tower and the Cathedral, the restorations director, Engineer Tosi, verified that the connection of masonries with the Cathedral was almost non-existent. He had explained this fact as a sign of the weakness and uselessness of the intermediate structure between the two buildings. Instead, the inclination history has shown the real structural efficiency of the big arches (Figs. 25, 26, 27). The Technical Commission in charge of the evaluation of the arches' reestablishment voted for their reconstruction, in spite of the advanced state of cracks which had shown a progressive movement of the Tower towards the Cathedral. Since their reconstruction, from the early 1900s to our days, the arches have presented several geometrical deformations which have shown the new state of compression that is caused by the Ghirlandina Tower: both arches show a geometrical horizontal translation of the upper part towards the Cathedral and only the southwest side has shown a vertical settlement (Fig. 28). We can gather that the arches are again exercising

their active role in the whole static system. In particular, they work to oppose the mutual approach that is occurring between Tower and Cathedral, also by constituting a connection preventing the fall of the Tower's south side.

The arches' crack pattern analysis has shown cracks compatible with hinges formations at the arches' extrados, close to the keystone, which are very similar to the ones surveyed on the old arches in the early 20th century.



Fig. 24 Schizzo a mano che mostra la serie di aperture individuate. (Sandonnini 1900) Dei due accessi A- B indicati nel disegno, quello più alto il B immetteva dal presbitero alla sagrestia salendo alcuni gradini, da cui poi si accedeva alla torre attraverso un'apertura ricavata in prossimità dello spigolo sud ovest. L'accesso denominato con la lettera A venne utilizzato quando all'inizio del '500 venne rifatto il voltone tra i due archi di collegamento e impostato a una quota inferiore (fig. 24). Da qui si comprende come il collegamento tra torre e Duomo fosse costituito da setti murari, solai e archi. Il ruolo statico di queste strutture venne ampiamente dibattuto agli inizi del 1900 al momento della demolizione durante i lavori di isolamento del Duomo. Per comprenderne l'utilità da un punto di vista statico si iniziarono una serie di studi legati all'analisi della pendenza e della stabilità della torre, inoltre si eseguirono dei saggi sulle fondazioni dei piedritti degli archi. Sketch representing the series of individuated openings (Sandonnini 1900). The upper access B is introduced from the presbytery to the sacristy by climbing up few steps, and then from here to the Tower across an opening that is close to the southwest corner. The access A had been used in the beginning of the 1500s, when the big vault lying at a lower height was made again, between the two arches that link the Tower and the Cathedral. The connection between Tower and Cathedral was made by walls, floors and arches. The static role of these structures was widely debated in the early 1900s, until their demolition during the isolation works of the Cathedral. To understand the usefulness of these structures from a static point of view, several investigations were begun on slope analysis and Tower stability. Further, several samples were extracted from the foundations of the arches' abutments.

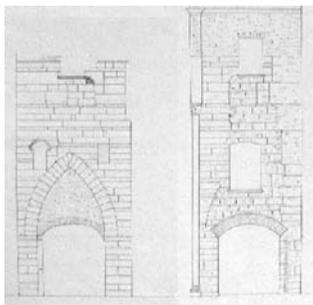


Fig. 25



Fig. 26

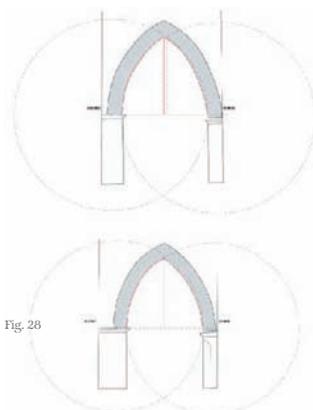


Fig. 28

Fig. 25 Giovanni Tosi, rilievo dei muri trasversali tra il Duomo e la Ghirlandina, 1898. ASCMo, Cartografia, Cartella VII ter. Giovanni Tosi, Cross-walls survey between Ghirlandina Tower and Modena Cathedral, 1898. ASCMo, Cartografia, Cartella VII ter.

Fig. 26 Il prospetto dell'arcone occidentale in una foto prima della demolizione mostra in chiave chiaramente i segni del dissesto dovuto alla forza spinta della torre. Fotografia Orlandini precedente il 1902. (Lanfranco e Wiligelmo, il Duomo di Modena). West arch front in a picture predating its demolition. It clearly shows the signs of the disorders due to the pushing of the Tower. Orlandini, before 1902. (Lanfranco e Wiligelmo, il Duomo di Modena).

Fig. 28 Immagini dei rilievi eseguiti sugli attuali archi di collegamento tra torre e Duomo, in rosso il profili deformati, in tratteggiato grigio le geometrie corrette. È evidente la traslazione orizzontale dovuta alla spinta della torre. Surveys of the actual arches that link the Ghirlandina Tower and Modena Cathedral, distort profiles (red) and correct geometries (hatch grey). The horizontal translation due to the Tower pushing is clear.

Il risultato del confronto evidenzia in maniera significativa che l'incremento delle inclinazioni verso il Duomo è modesto, mentre sono particolarmente accentuati i movimenti in direzione ovest, dove la torre è libera, dall'inizio del Novecento. Gli effetti sul Duomo di questo movimento progressivo sono stati rilevati nei prospetti interni settentrionali della cattedrale. Si possono vedere infatti delle lesioni nelle posizioni in cui gli archi si appoggiano al Duomo.

In particolare l'arco est, quello corrispondente all'angolo sud ovest della torre, è causa di un'importante lesione, con rotture delle pareti fuori dal piano, che prosegue anche in cripta.

Le azioni della spinta dell'arco della torre non sono le uniche ad agire sul Duomo: agiscono infatti anche le spinte del passaggio creato per il clero di accesso diretto dalle sacrestie alla zona presbiterale. La sacrestia (che venne fortemente ridimensionata in occasione dei restauri di fine Ottocento sul Duomo) dalla metà del 1200 fino al 1900, è stata in aderenza sul fronte settentrionale della cattedrale; inoltre oggi, come la torre, presenta un'inclinazione verso il Duomo (fig. 32). Sebbene separati a livello fondale, torre e Duomo presentano comportamenti tra loro correlati.

L'analisi dei dati degli strumenti di monitoraggio posti alla base della torre e nella zona absidale del Duomo, hanno mostrato, da quando sono stati installati, cedimenti differenziali, ma correlati, tra il prospetto sud della torre e quello nord e tra il lato nord del Duomo e quello sud. Gli abbassamenti registrati a partire dal 2003 hanno avuto un andamento tendenzialmente continuo, e i valori maggiori registrati si sono letti negli strumenti collocati tra Duomo e torre. I dati degli strumenti sono confermati dalle livellazioni topografiche, come illustrato nel capitolo sul monitoraggio; ugualmente significativo è il rilievo riportato in figura 22 che mostra un abbassamento delle absidi verso la torre di circa sessanta centimetri.

Questi dati altimetrici e numerici hanno avuto ulteriore conferma nello studio dello stato deformativo e fessurativo del Duomo e della cripta, dove le lesioni delle volte e delle colonne mostrano un chiaro meccanismo di abbassamento verso la torre (figg. 33, 34).

In conclusione si può affermare che esiste una chiara e importante relazione di reciprocità tra torre e Duomo e che da tale reciprocità non è possibile prescindere. In particolare lo sprofondamento di circa due metri della base della torre costituisce il motore principale dei dissesti dell'intera area e di quelli della cattedrale.

Several divergent vertical cracks, along the connecting area between arches and Tower, confirm the active role of the arches in supporting the Tower (Figs 29, 30, 31a, b).

The photogrammetric Tower survey, made in 2006, allowed the inclination to be measured; a comparison was then made with the early 20th century inclination, which was investigated by Professor of Engineering Francesco Cavani from the University of Bologna.

The comparison results have underlined a moderate Tower inclination increment towards the Cathedral, while westward movements, where the Tower has been free since the beginning of the 1900, are quite considerable.

The northern internal fronts of the Cathedral show the effects of this progressive movement. We can clearly see some cracks in the areas where the arches rest on the Cathedral.

The east arch, in particular, at the southwest corner of the Tower, reached an important crack, with out-of-plane splits, which continues on in the crypt. The Tower arches' thrust actions are not the only ones acting on the Cathedral. Also the foot-bridge, the direct access from sacristy to the presbyterial zone, pushes on the Cathedral walls.

The sacristy (strongly reduced by restorations of the Cathedral at the end of 19th century) has been laid on the North side until the 1900s. Today, like the Tower, it shows an inclination towards the Cathedral (Fig. 32).

Ghirlandina Tower and Modena Cathedral present linked behaviours, although they are unlinked at the foundation level. The data analysis of

the monitoring instruments placed at the Tower base and in the apsidal zone of the Cathedral has shown, since their installation, differential settlements that are strictly linked, between the southern and the northern fronts of the Tower, and between the northern and southern sides of the Cathedral. Since 2003, the recorded settlements have shown a continuous trend, and the greatest ones have been recorded in the instruments placed between Tower and Cathedral. The instruments' data are confirmed by the topographic levellings, as shown in the monitoring chapter. There is also a very important survey, reported in Fig. 22, which shows an apsidal settlement of about 60 cm towards the Tower. These numerical and altimetric data have been confirmed by the investigation of Cathedral and crypt cracks and deformations; here the cracks in the vaults and in the columns, in fact, clearly show a mechanism of lowering towards the Tower (Figs. 33, 34). In conclusion, it's obvious that a clear and important mutual relationship exists between the Tower and Duomo behaviours; this is the fundamental point at which to start. The two metres' sinking of the Tower base represents the most evident phenomenon, but in general the actual overall disorders are the result of the sum of the loadings of the various buildings.



Fig. 27a



Fig. 27b

Fig. 27a,b Confronto tra il muro ovest visto dalla porta della pescheria in un'immagine del 1902 e il muro oggi; nella foto storica sono evidenti i segni delle fratture prodotte dalla spinta della torre. Comparison of the west wall view from the door of the fish shop, 1902 and today. In the historic view, the cracks due to the pushing are clear.



Fig. 29

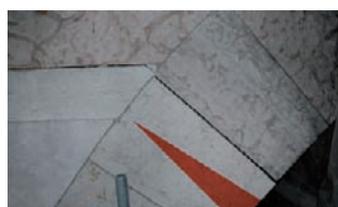


Fig. 30

Fig. 29, 30, Particolare arco ovest, lesione a in prossimità della chiave dell'arco. West arch detail, the crack next to the keystone.



Fig. 31a



Fig. 31b

Fig. 31a, b Arco est, attacco con la torre, si può notare la maggiore apertura verso il basso della lesione. East arch, link with the Tower, with the main leak towards the lower side of the crack.

Fig. 32 L'immagine mostra una lesione in prossimità della linea d'unione tra le canoniche e gli edifici retrostanti, caratterizzata da un'apertura divergente verso l'alto, indice di una rotazione complessiva verso il Duomo. (Foto Silvia Tosini e Matteo Bonini). Crack next to the linking line between the vicarage and the buildings lying behind. That the leak diverges upwards is a signal of a whole rotation towards the Cathedral (Photo Silvia Tosini and Matteo Bonini).



Fig. 32

Fig. 33 Schema interpretativo del comportamento di reciproca influenza tra torre e Duomo (Matteo Carobbi). Clarifying scheme of the mutual influence behaviour of the Tower-Cathedral system (Matteo Carobbi).

Fig.34 Meccanismi di rottura del Duomo (Matteo Carobbi). Modena Cathedral breaking mechanisms (Matteo Carobbi).

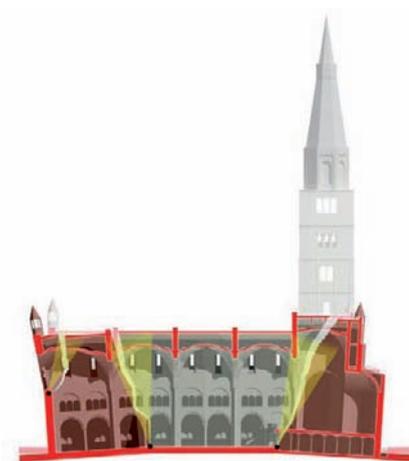


Fig. 33



Fig. 34

**ANALISI STRUTTURALE
STATICA E DINAMICA
DELLA TORRE GHIRLANDINA**

**STRUCTURAL
STATIC AND DYNAMIC ANALYSIS
OF THE GHIRLANDINA TOWER**

**Angelo Di Tommaso,
Francesco Focacci, Federica Romaro**



1. Premessa

In occasione degli interventi di restauro sulla torre del Duomo di Modena, in considerazione del rischio sismico della zona e del registro storico che segnala che la torre ha già subito in passato dei terremoti che l'hanno danneggiata, è parso opportuno integrare il lavoro di conoscenza storica e materiale del manufatto con un'analisi strutturale volta alla definizione del rischio sismico cui la torre è soggetta.

L'analisi strutturale di costruzioni a torre presenta alcuni aspetti caratteristici: queste costruzioni rappresentano in genere episodi di grande impegno costruttivo che in alcuni casi cimentano i materiali costruttivi già ai limiti anche solo per il peso proprio; fenomeno che risulta certamente accentuato in presenza di fuori piombo. L'evento sismico, considerate le masse coinvolte e l'altezza su cui sono distribuite, rappresenta in genere lo scenario di carico più gravoso per la costruzione.

L'analisi strutturale delle costruzioni storiche in muratura si trova in genere a dover affrontare difficoltà peculiari quali, esempio, l'incerta caratterizzazione delle proprietà meccaniche del solido murario, le scarse conoscenze sulla configurazione originale della struttura (trasformazioni nel tempo), la presenza di fasi costruttive eterogenee o di interventi pregressi di restauro e consolidamento che possono aver modificato il comportamento strutturale originario. Per questa ragione in genere lo strumento di analisi che appare più indicato è l'analisi limite, che puntando sulla individuazione dei più probabili meccanismi di collasso della struttura può prescindere dalla caratterizzazione meccanica dei materiali che la costituiscono. Questo tipo di analisi consente di valutare la capacità di spostamento ultimo del sistema dopo che un meccanismo si è attivato, assegnando incrementalmente al cinematismo configurazioni variare in spostamenti finiti di entità crescente. La verifica riguardo lo stato limite ultimo viene poi svolta mediante spettro di capacità, confrontando la capacità di spostamento ultimo del meccanismo considerato con la domanda di spostamento.

Un'alternativa all'analisi limite è rappresentata dall'analisi elastica (modale), utilizzata con maggiore confidenza in presenza di strutture flessibili e geometricamente ben modellabili, come per esempio le torri, i campanili o altre strutture a prevalente sviluppo verticale. La modellazione elastica di queste opere, infatti, agevolata dalla regolarità strutturale e dal fatto che spesso si presentano isolate dal tessuto urbano circostante, consente di analizzare il comportamento flessionale in presenza di azioni orizzontali e valutare l'importanza dell'interazione terreno-struttura.

1. Introduction

The studies regarding the restoration of the Tower took into consideration the seismic risk of the region as well as the historical record that shows that the building had already sustained earthquake damage over the past centuries; thus, a structural seismic analysis appeared necessary to complete the historical and material knowledge of the monument.

Structural analysis on tower buildings presents certain characteristic aspects.

These constructions are usually examples of great structural effort and in some cases they stress the construction materials to their limits even simply for dead load condition; this situation of course can be more dangerous when there is the condition of leaning.

For towers, seismic events, considering the great masses involved and the heights to which they are built, often represent the most unfavorable load case for the construction. Difficulties in analyzing historical masonry structures stem from the fact that they have usually undergone deep transformations during their existence, which can result in an uncertain characterization of the mechanical properties; a lack of knowledge of the original construction; the presence of different construction phases (floor additions, raisings, masonry wall additions, etc.); and damage induced by earthquakes, fires, lightning, recent retrofit and strengthening interventions that could have changed the original structural behavior.

For these reasons, usually the most appropriate analysis tool is the limit analysis which, focusing on the identification of the most probable collapse mechanisms, can be done without any material properties assessment. By studying equilibrium conditions during the rocking phase, limit analysis allows the evaluation of displacement capacity of the system once a collapse mechanism has started. Assessment on ultimate limit state is then obtained through capacity spectrum: the ultimate displacement capacity of the collapse mechanism under consideration is compared to the displacement demand. A common alternative to limit analysis is modal elastic analysis, which is used with more certainty vis-à-vis flexible structures with regular and easy geometry, such as towers, bell towers and other high-rise buildings. Elastic modeling of these structures is, in fact, made easier as a result of structural regularity and by the fact that they are usually isolated from the surrounding buildings, which allows for the analysis of bending behavior under horizontal actions and for the evaluation of the importance of soil-structure interaction.

2. Descrizione morfologica ai fini strutturali

La torre Ghirlandina è una costruzione alta complessivamente circa 87 m, con base quadrata di 10,8 m di lato.

Il fusto, a perimetro esterno costante fino all'altezza di 48 m, presenta una sezione cava, caratterizzata da un maggior spessore nelle angolate per la presenza di quattro pilastri murari.

Superiormente al fusto si innalzano il tamburo ottagonale e la guglia piramidale.

Pertanto, secondo un approccio che recentemente ha fornito un ottimo strumento operativo, si considera la costruzione in esame costituita da tre macroelementi, il fusto (o canna) a prisma con base quadrata, il tamburo a prisma ottagonale e la cuspide a piramide ottagonale.

Questa geometria di involucro esterno ha poi pareti di vario spessore e morfologia costruttiva. Strutturalmente, oltre alle valenze intrinseche del macroelemento, ha rilevanza la tipologia di connessione fra i macroelementi.

Si rimarca, come esempio di quanto detto, che gli otto pilastri costituenti l'ossatura portante del tamburo insistono sugli archi delle trifore della sommità della canna, costituendo così una singolarità strutturale oltre che per discontinuità delle rigidità anche per flussi tensionali perturbati.

Schematizzando la sezione di base sul piano di campagna come quadrata con una cavità a croce all'interno, l'area di impronta dei muri misura 75 m² e ha raggio di inerzia pari a 3,5 m.

La torre pertanto, con snellezza $h/\bar{U} = 48$, può considerarsi "costruzione snella".

I diaframmi strutturali orizzontali in muratura nella canna sono: la volta a copertura del piano terra, il solaio della stanza dei torresani e la volta di copertura della cella campanaria (il piano di calpestio della cella è invece un impalcato ligneo). Alla base, sul lato sud, due arconi esterni connettono la canna con la cattedrale.

Dalle analisi visive effettuate si ipotizza la canna costituita da muratura di laterizi con un paramento esterno lapideo "ammorsato" il cui spessore varia da 10 a 15 cm.

La torre esibisce un marcato fuori piombo, in particolare l'inclinazione è verso lo spigolo sud-ovest su cui si innesta uno dei due arconi. La verticalità è stata corretta progressivamente durante la costruzione.

2. Structurally aimed morphological description

Ghirlandina Tower is a square based (side: 10.8 m) building, $h = 87$ m tall; the structure shows a regular outer cross section from the base up to 48 m, with an inner hollow cross section, thicker on the corner due to the presence of masonry columns, and the upper part of the structure is characterized by the tambour and steeple macroelements.

Modelling the base cross section as a hollow squared one, with an inner cross-shaped profile, the masonry surface of base is 75 m², and inertia radius $\bar{U} = 3.5$ m.

Hence the Tower, with a slenderness ratio $h/\bar{U} = 49$ can be considered a slender structure.

The masonry diaphragms built in the Tower comprise the vault on the first floor, the floor of the Torresani cell and the vault above the bell dome (the floor instead is a timber structure). At the base of the Tower, two masonry arches connect the structure with the Cathedral.

Upon visual inspection, a full masonry cross section is hypothesized, with a connected stone skin on the outer side.

The Tower exhibits a marked leaning, in particular on the southwest corner where the two masonry arches are built to connect the Tower to the cathedral. The verticality has been corrected over the various phases of construction.

3. Sintesi storica degli episodi interessanti la struttura

La valutazione del comportamento strutturale di una costruzione storica deve necessariamente prendere avvio dalla conoscenza della sua storia costruttiva, analizzando le trasformazioni subite nel tempo, gli eventi eccezionali che l'hanno colpita ed eventualmente danneggiata e i relativi interventi pregressi di restauro e consolidamento. Dall'analisi storica inoltre è possibile determinare la tipologia dei materiali impiegati e le tecniche costruttive adottate. Si è quindi ritenuto essenziale individuare nella storia della torre alcuni eventi importanti dal punto di vista dell'evoluzione costruttiva dell'opera. Nella tabella 1 si sono riportati i dati cronologici fondamentali reperibili in letteratura relativi alla storia costruttiva del manufatto.

3. Structurally relevant events

Evaluation of structural behavior of historical monuments must necessarily begin with a knowledge of the construction history, analysis of the transformations that have occurred during the monument's life, damages sustained, and retrofit interventions completed on the building. Through historical analysis,

it is also possible to discover which material was used and which building techniques were employed. Delineating the most important events in the building history was hence considered essential toward completing our knowledge of the Tower. In tab. 1, the fundamental chronology of the building is laid out, based on historical bibliographical data on the Ghirlandina.

1099	Posa della prima pietra del Duomo.	Beginning of Cathedral construction.
1265-1319	I Campionesi lavorano al completamento della torre.	Campionesi work to complete the Tower.
1481	La torre viene colpita da un fulmine che incendia e danneggia la parte superiore.	A lightning hit and burn the upper part of the Tower
1483	Intervento di restauro.	Restoration.
1488	Dopo le riparazioni si passa a quasi totale rifacimento del paramento, i restauri continuano almeno fino al 1492.	After repairing, parts of the building restoration continues with an almost complete substitution of the outer stone skin.
1501	Si registra un terremoto.	Earthquake.
1504	Inizio dei lavori di restauro della torre: si inizia da porta d'ingresso sulla parete meridionale (dopo sopraelevazione sagrestia la porta non è più fruibile e si costruisce nuova apertura ribassata per edificio sagrestia allora a due piani – poi demolito nell'800)	Beginning of Tower restoration.
1505	Si registra un nuovo terremoto.	Earthquake.
1510	Restauro della Ghirlandina più alta e rifacimento dell'impalcato ligneo della cella campanaria.	Restoration of the upper Ghirlandina and substitution of wooden deck of bell dome.
1554-1590	Paolo Castro, responsabile dei lavori del Comune, si occupa del restauro completo torre. Dalla relazione sullo stato di fatto si evince che non viene fatta una semplice sopraelevazione, ma un'incamiciatura lapidea della guglia precedente – con demolizione parziale della sommità (*).	Paolo Castro, in charge for the Commune, lead the Tower restoration.
1600	Costruita una nuova scala lignea a chiocciola per la nuova piramide di sommità con soluzione apposita per evitare di forare volta a catino.	New wooden stairs are built for the steeple.
1803	Grazie a una convenzione il Comune riesce a far ricadere la torre e l'urgente intervento di restauro sul Demanio.	Thanks to an agreement, the Comune is able to assign the financial responsibility for urgent intervention on the Tower to the State.

Tab. 1

(*) Questo fatto spiegherebbe le piastre e altri magisteri metallici rinvenuti all'interno della cuspide che potrebbero aver avuto la funzione di connettere le due parti, vecchia e nuova, dell'ampliamento del macroelemento cuspide.

4. Modellazione strutturale

Lo studio preliminare del comportamento sismico della torre è stato svolto mediante:

- un'analisi elastica, utilizzando due modelli numerici elaborati con un commerciale codice di calcolo agli elementi finiti di tipo *general purpose* (Straus 7 rel 2.2.3 della *G+D Computing, Sydney Australia*): un primo modello semplificato costituito da elementi monodimensionali di tipo *beam* e un secondo modello più accurato costituito da elementi tridimensionali di tipo *brick*;
- un'analisi per meccanismi di collasso a blocchi rigidi dei macroelementi che costituiscono la torre. I meccanismi presi in considerazione sono *intra-macroelemento*, ossia entro il macroelemento, e *inter-macroelemento* ossia per cesura della connessione fra macroelementi contigui.

Dal punto di vista geometrico i modelli utilizzati rispecchiano i dati geometrici derivati dal rilievo, includendo anche l'inclinazione attuale che la torre presenta.

4.1 Analisi elastica

Per quanto concerne l'analisi elastica allo stato attuale, per approfondire la modellazione, sono in corso ulteriori verifiche e indagini sulla compattezza della muratura e una stima sperimentale delle caratteristiche meccaniche, mediante indagine sonica con martello strumentato e prelievo di carote in posizioni coerenti con le rilevazioni soniche e compatibili con il rispetto del monumento.

Nella fase preliminare, la modellazione si è basata quindi sui primi input derivanti da analisi visiva e dati di letteratura via via ricalibrati dalle sperimentazioni.

I valori medi assunti pertanto sono stati: peso specifico 20 kN/m³, modulo elastico di 10.000 MPa per tutta la sezione muraria. La scelta di questi valori è stata dettata dalla volontà di mantenere l'analisi a favore di sicurezza; l'azione sismica infatti è essenzialmente determinata dalla massa distribuita lungo l'altezza della costruzione opportunamente pesata con un coefficiente (ordinata di spettro) che dipende dalla frequenza. Poiché a una maggiore rigidità corrisponde, in generale, un'azione sismica maggiore, l'attribuzione di un modulo elastico piuttosto basso (come in genere si fa corrispondere alla muratura degradata) avrebbe determinato un'accelerazione ridotta nella risposta sismica. Analogamente sottostimare il peso dell'intera costruzione ridurrebbe le masse sismiche attivate.

4. Structural modeling

Preliminary analysis of Ghirlandina seismic behavior was completed by developing: Elastic analysis on two numerical models built in a finite element general purpose commercial code (Straus7 rel 2.2.3, G+D Computing, Sydney Australia): a first, simplified monodimensional beam model, and a second, more accurate tridimensional bricks model.

4.1 Elastic analysis

At the present time, for a complete structural model, an integrity check on the masonry material and experimental data on the material properties are needed. In situ testing could be done using sonic techniques and by taking some specimens; both of these would primarily guarantee the maintenance of the historical construction. In a preliminary phase, material properties can be estimated according to visual survey and literature data; preliminary chosen values are: density: 20 kN/m³; Young's modulus $E = 10000$ MPa.

Limit analysis of the most probable collapse mechanisms of the Tower. Mechanisms considered: intra-macroelements (with fracture lines within a macroelement), and inter-macroelements (with fracture lines between adjacent macroelements). From a geometric point of view, the models correspond to a geometrical survey also including the Tower leaning.

These values were chosen in order to maintain the analysis on the safe side; seismic action, in fact, is mainly influenced by mass distribution weighted by a coefficient (based on elastic spectra) depending on natural frequency. Since high stiffness values correspond to greater seismic actions, the choice of a lower elastic modulus value would have determined a reduced acceleration in seismic response. Similarly, an underestimation of the building weight would reduce the entity of activated seismic masses.

4.2 Condizioni vincolo

Per la caratterizzazione sismica del manufatto e in generale per gli edifici alti, la conoscenza o le ipotesi fatte sulla sola struttura in elevazione non sono in genere sufficienti; diviene infatti fondamentale integrarle con le indagini geologico-geotecniche sulle caratteristiche meccaniche dei terreni di fondazione per stimare le condizioni di vincolo da essi fornite alla costruzione. A questo proposito ci si è quindi appoggiati all'analisi geotecnica e archeologica compiuta nel terreno di fondazione della Ghirlandina che ha determinato i parametri di rigidità e smorzamento viscoso assegnati poi al modello.

A un'ispezione fondale la base di appoggio della torre è risultata cava, pertanto la sezione terminale è un quadrato con cavità omotetica.

Per entrambi i modelli il vincolo con il terreno è stato rappresentato mediante l'inserimento, nel nodo baricentrico della sezione di base (nel modello tridimensionale connesso rigidamente agli altri nodi della sezione), di un elemento visco-elastico (*spring-damper*) e di molle elastiche rotazionali a cui sono state attribuite le caratteristiche assegnate al terreno. L'influenza del vincolo fornito dal terreno è stata poi valutata confrontando i risultati ottenuti con la condizione di vincolo rigido nella medesima posizione.

L'altro vincolo che si è considerato opportuno modellare è stato quello fornito dalla presenza degli arconi di collegamento con la zona absidale del Duomo; questi infatti in entrambi i modelli sono schematizzati con una serie di molle traslazionali con rigidità corrispondente a quella teorica flessionale dei due setti murari. Un affinamento del modello di interazione con il Duomo si potrà ottenere quando la modellazione dell'edificio del Duomo sarà definita in maggior dettaglio.

4.3 I modelli

Il modello a elementi monodimensionali (beam) è costituito da dieci tipologie di sezione cava (rettangolare o ottagonale a seconda che costituiscano il fusto o il tamburo o la guglia della torre) variabili lungo l'altezza e aventi lo spessore medio delle sezioni reali; in questo modello è stata trascurata la presenza di diaframmi rigidi all'interno della torre e di riduzioni di sezione in corrispondenza delle aperture. L'utilizzo di questo modello semplificato è stato sostanzialmente quello di controllo e riferimento per i risultati forniti dal secondo modello.

4.2 Restraint conditions

For seismic assessment on the Tower, and in general for every high-rise construction, knowledge and hypothesis concerning only the structure are not sufficient.

It is, in fact, very important to combine them with geological-geotechnical surveys on soil mechanical properties in order to estimate restraint conditions provided by the foundation soil. Archeological and geotechnical analysis identified the stiffness and viscous damping properties to assign in the models. Observations showed that the base cross section is hollow square-shaped. In both finite element models, ground restraint is represented by a spring-damper element and a rotational stiffness located at the base cross section centroid (in the brick model, this node is then linked to other cross section nodes by rigid connections).

4.3 Models

The beam model is made of ten different hollow cross sections (squared for the lower part and octagonal for the steeple) according to median thickness of real geometry; in this model, the presence

Restraint attributes were assigned according to soil properties. The importance of restraint given by the soil was then evaluated comparing analysis results with those of a model with a fixed restraint in the same position. Other restraint conditions considered in the models represent the presence of masonry arches connecting the Cathedral with the Tower; in both models, arches are represented as a series of translational stiffness corresponding to the theoretical bending stiffness of masonry walls. A model refinement including interaction with the Cathedral building will be available when the church model is completed.

of horizontal diaphragms and the section singularities due to window openings have not been considered. The simplified model has been used mainly to check results given by the second, more accurate, model.

Fig. 1 Vista del modello
tridimensionale a bricks
View of tridimensional
bricks mesh.

Fig. 2 Visualizzazione
a *contour* delle tensioni verticali
dovute al peso proprio.
Vertical stress contour
for the self weight load case.

Fig. 1

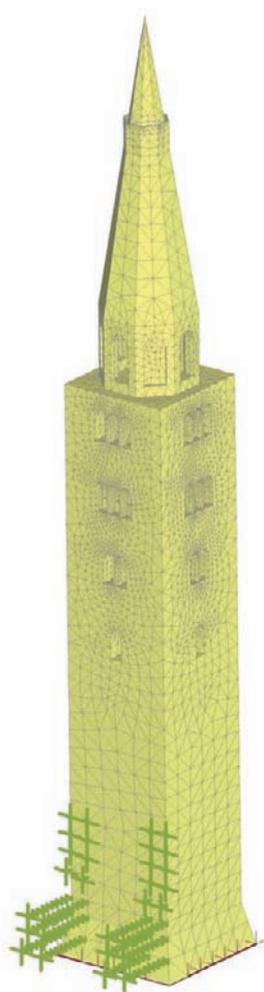
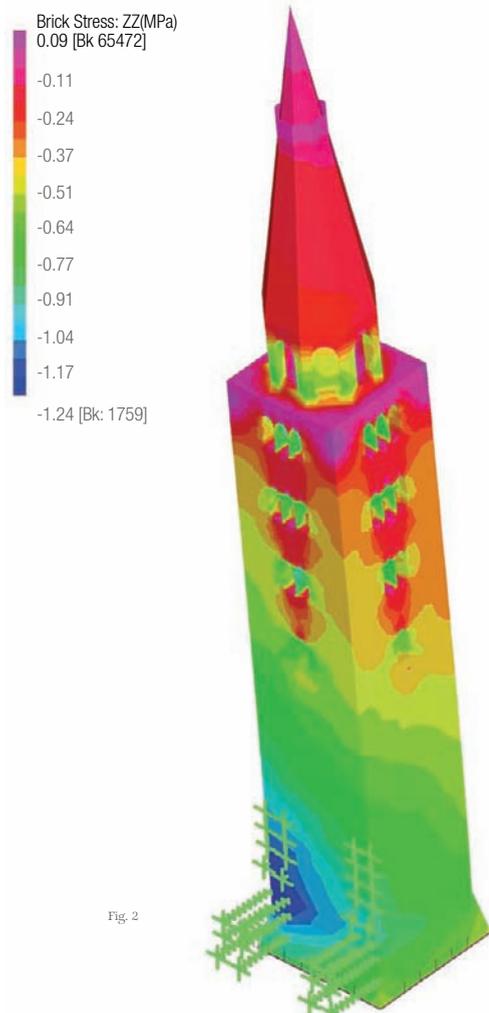


Fig. 2



Nel secondo modello quindi si sono introdotti i dati non rappresentati nel primo modello, quali una geometria più complessa che tenesse conto con minor approssimazione della reale geometria del manufatto e delle sue sezioni (fig. 1) e la presenza di diaframmi orizzontali all'interno della torre (volte e impalcati).

I due modelli sono stati utilizzati in una prima analisi lineare statica per rilevare le condizioni della torre per il solo peso proprio e valutare l'incidenza del fuori piombo rilevato sul regime tensionale e successivamente in un'analisi sismica per una valutazione preliminare del comportamento della torre durante gli eventi sismici. I risultati ottenuti dai due modelli per la condizione di solo peso proprio, risultano tra loro coerenti e indicano tensioni massime di compressione pari a 1,2 MPa, in corrispondenza dello spigolo sud-ovest della torre; non avviene tuttavia la parzializzazione della sezione di base che, nonostante un'eccentricità massima di 47 cm, rimane interamente compressa. Per un peso teorico complessivo della torre di circa 92.000 kN, le corrispondenti tensioni medie sul terreno risultano di 0,086 MPa, in buon accordo con quanto ottenuto dall'analisi geotecnica. L'analisi elastica per peso proprio (fig. 2) ha evidenziato quindi l'influenza dell'inclinazione della torre sui valori di picco tensionale e le zone a più alto gradiente tensionale nei punti geometricamente singolari (zone di passaggio tamburo/canna e prossime ad aperture).

Hence, in the second tridimensional model, data not represented in the first one were added, such as a more complex geometry (Fig. 1) and presence of vaults and slabs as internal horizontal diaphragms. The two models were first employed in a linear static analysis to study tower behavior in dead load condition and to evaluate the leaning influence on stress distribution, and then in a seismic analysis for a preliminary assessment of structural behavior during earthquake. Results obtained from both models in dead load condition are coherent and show maximum compressive stress of 1.2 MPa in the southwest edge of the base cross section;

in this condition, the eccentricity of the normal force is such that the whole base cross section is subjected to compressive stress. Total weight was estimated as 92000 kN; corresponding maximum compressive stress on the soil results in 0.086 MPa, which is in agreement with geotechnical analysis.

Elastic analysis under dead load (Fig. 2) showed in particular the influence on peak stress of the progressive leaning of the tower and structural parts where the highest stress values are found (geometrical singularities). Modal analysis was performed for both the beam and bricks models in the case of fixed and viscoelastic restraint.

Per poter procedere con l'analisi sismica si è reso necessario dapprima caratterizzare dinamicamente la torre selezionandone i principali modi di vibrare mediante un'analisi frequenziale eseguita su entrambi i modelli beam e brick, sia in presenza di vincolo rigido con il terreno sia in presenza di vincolo elasto-viscoso. Oltre alla sostanziale corrispondenza delle frequenze fondamentali nei due diversi modelli (a parità di condizioni di vincolo), l'effetto fondamentale dell'introduzione di una più realistica condizione di vincolo fornita dagli elementi spring-damper e molle rotazionali è stato quello di abbassare le frequenze dei modi propri (figg. 3 e 4) spostando quindi la risposta sismica della struttura nelle regioni dello spettro a minor accelerazione.

In addition to the similarity of results obtained from the two models (with the same restraint condition), the most important consequence of inserting a more realistic restraint condition (spring damper and rotational stiffness elements) was that of obtaining lower natural frequency values (Figs. 3 and 4), moving structural seismic response towards lower acceleration spectrum regions.

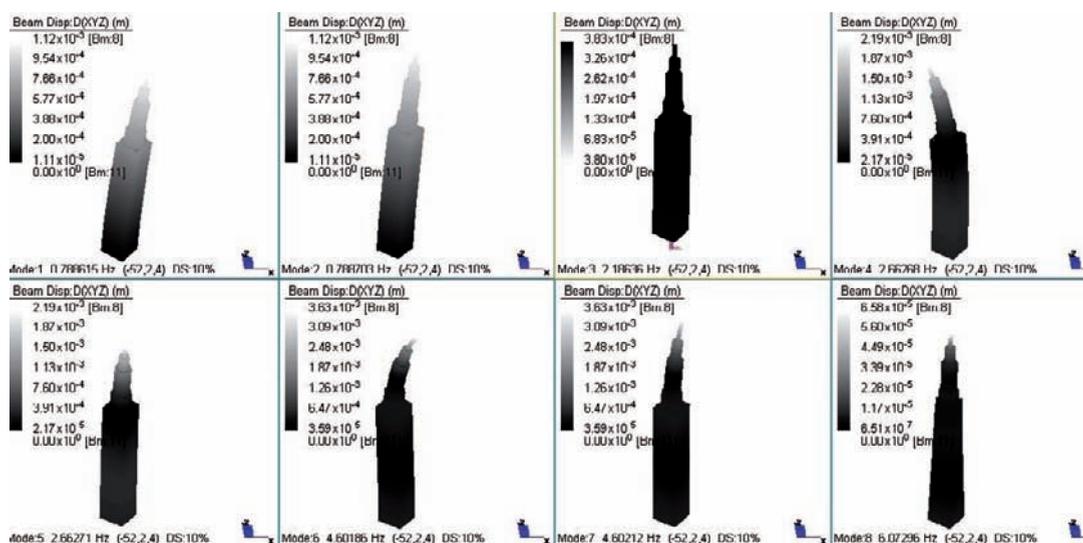


Fig. 3 Visualizzazione dei primi otto modi di vibrare e relative frequenze per il modello a beam. View of the first eight modal shapes and corresponding natural frequencies for the beam model.

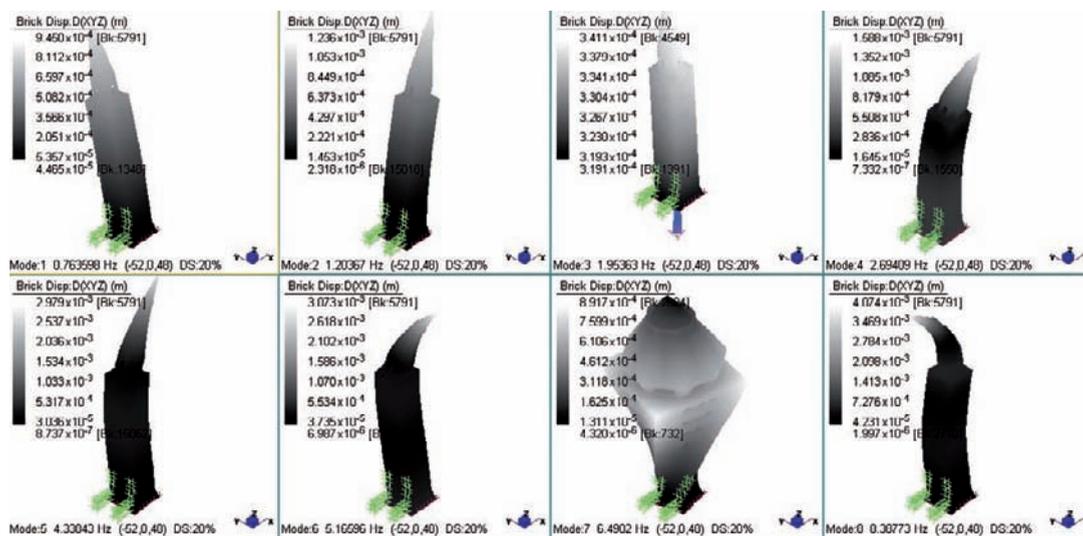


Fig. 4 Visualizzazione dei primi otto modi di vibrare e relative frequenze per il modello a bricks. View of the first eight modal shapes and corresponding natural frequencies for the bricks model.

4.4 Analisi sismica

Una prima valutazione degli effetti sismici viene quindi condotta considerando la torre soggetta a forze orizzontali affini alla deformata di primo modo vibrazionale, mediante cioè un'analisi statica equivalente.

L'importanza di una corretta modellazione del vincolo terreno-struttura è resa evidente anche in questo tipo di verifica semplificata: il diverso valore di T1 (periodo del primo modo di vibrare) che si ottiene dall'analisi frequenziale dei modelli a vincolo rigido e a vincolo elasto-viscoso determina diversi valori di forze statiche equivalenti e la verifica risulta molto più gravosa nella condizione di vincolo rigido.

Calcolati i valori massimi di momento nelle due direzioni e di sforzo normale si può procedere con una verifica a pressoflessione della sezione di base. Limitando la verifica al modello con vincolo elasto-viscoso, la sicurezza imposta dalla verifica normativa (OPCM 3431) sarebbe conseguita assumendo una resistenza a compressione di calcolo della muratura tra 6 e 7 MPa.

4.4.1 Analisi modale

In presenza di strutture flessibili e strutturalmente ben modellabili, come le torri, i campanili o altre strutture a prevalente sviluppo verticale, per la geometria della costruzione la massa partecipante è simmetricamente distribuita perlomeno nelle due direzioni x e y; possono quindi risultare importanti i contributi dei principali modi superiori.

Nell'analisi modale devono essere considerati quindi tutti i modi con massa partecipante significativa, usualmente un numero tale che la somma delle masse partecipanti risulti superiore all'85% della massa totale.

Combinare le diverse azioni nelle due direzioni del sisma con il peso proprio, la verifica consiste nel confronto tra gli enti sollecitanti e quelli resistenti; anche in questo caso i due modelli forniscono dati in buon accordo. Rispetto ai risultati dell'analisi statica equivalente, le sollecitazioni di combinazione risultano ridotte di circa il 20%, permettendo quindi di affermare che, in questo caso, il valore di resistenza a compressione di calcolo che la muratura dovrebbe avere per rendere soddisfatta la verifica di normativa è di circa 5 MPa.

4.4 Seismic analysis

A first analysis of seismic behavior was performed considering the Tower under horizontal loads according to the deformed shape of the first mode (static analysis). The importance of an accurate soil-structure restraint modeling is also made clear in this simplified analysis: the different values of T1 (first natural frequency) obtained from modal analysis of models with different restraint conditions implies different

4.4.1 Modal analysis

In the case of flexible structures with a clear geometry, such as towers, bell towers and other high-rise buildings, due to their specific shape, participant mass is symmetrically distributed along x and y directions; superior modes contributions could thus be important. In modal analysis, in fact, every mode with significant participant mass must be considered: in general the number of modes is such that the participant mass is greater than

Fig. 5 Meccanismi di collasso per forze orizzontali. Collapse mechanisms.

values of seismic loads, making the analysis more demanding in the case of fixed restraint. After combining maximum values of bending moments in both seismic directions with the axial force, a flexural check of the base section is required. Referring to the viscoelastic soil case only, the flexural check would be satisfied considering a masonry design compressive stress of 6-7 MPa.

85% of the total mass. After combining different actions in two seismic directions, the check was done comparing demand and capacity. In this case, demand is reduced by about 20% with respect to static analysis, thus flexural check would be satisfied with a design masonry compressive strength of about 5 MPa.

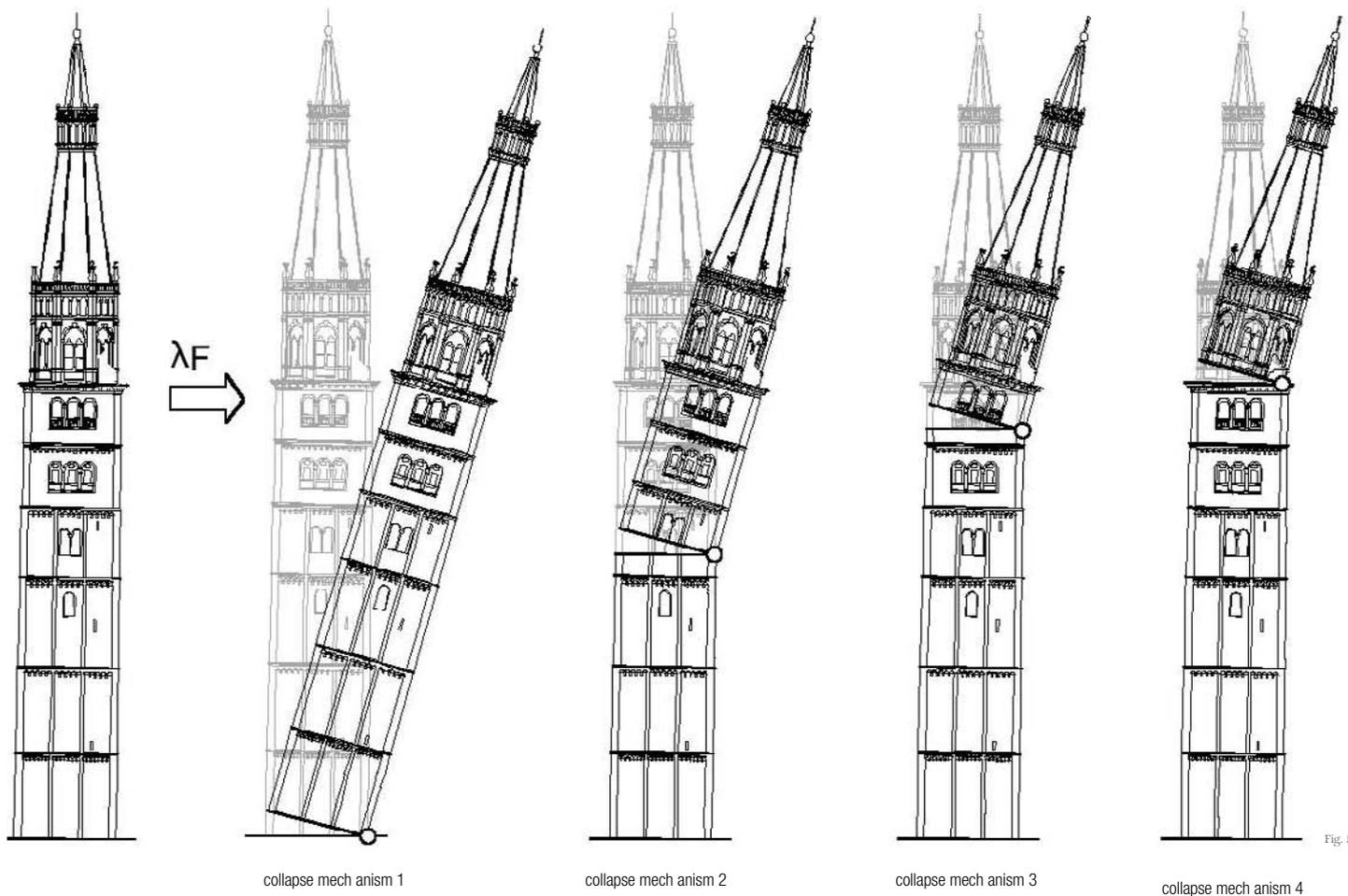


Fig. 5

4.4.2. Analisi limite

Semplici valutazioni preliminari sulle condizioni di equilibrio della torre soggetta a forze orizzontali possono essere formulate utilizzando i criteri dell'analisi limite, secondo l'approccio a macroelementi, ipotizzando la muratura non resistente a trazione e infinitamente rigida resistente a compressione.

La torre viene considerata soggetta a una distribuzione di forze orizzontali crescenti proporzionalmente ad un moltiplicatore λ , fino al raggiungimento di un meccanismo di collasso, identificato dalla formazione di una cerniera posta (come conseguenza delle ipotesi semplificative sulla muratura) sul lembo di una sezione trasversale del fusto (fig. 5).

A ogni possibile meccanismo di collasso può quindi essere associato, mediante equazioni di equilibrio, il corrispondente moltiplicatore che produce l'attivazione del meccanismo stesso. Fissata la forma, il sistema di forze orizzontali applicate può essere scalato in modo che la sua risultante sia pari al peso dei blocchi coinvolti nel meccanismo.

In questo modo il moltiplicatore di attivazione del meccanismo assume significato di "frazione del peso" che applicato orizzontalmente attiva il meccanismo di collasso.

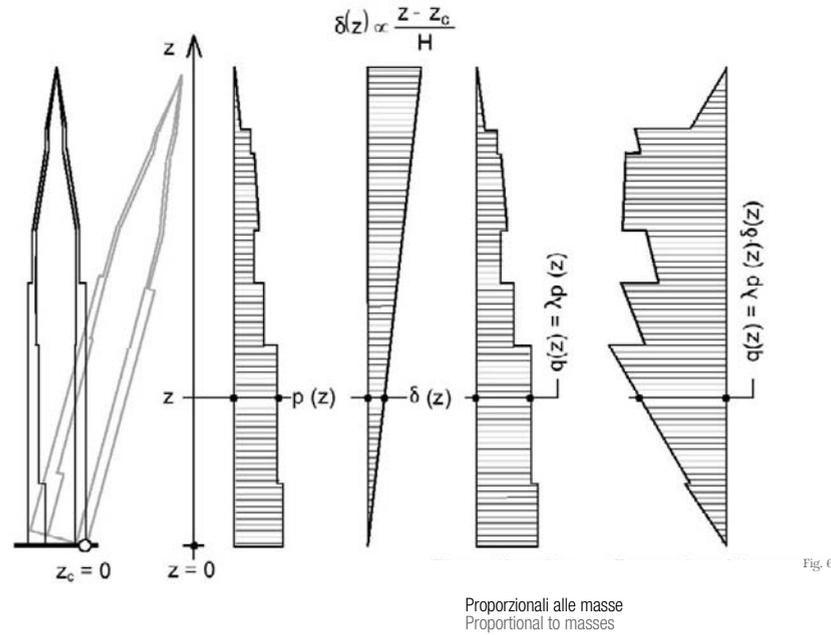
4.4.2. Limit analysis

Preliminary assessment of the tower seismic capacity can be performed by limit analysis, based on collapse mechanisms, under the assumption that masonry material has no tensile strength and infinite compressive strength and stiffness.

The tower is considered loaded by horizontal forces. Applied forces increase proportionally to a load multiplier, λ , until a collapse mechanism is reached, being the mechanism identified by the formation of a hinge, which is placed on a cross section wedge (as a consequence of masonry behavior assumptions), as shown in Fig. 5.

To each possible collapse mechanism there is a collapse mechanism activation load multiplier that corresponds, via equilibrium equations. Once the shape of the horizontal forces distribution is chosen, the distribution itself can be scaled such that the total applied horizontal force equals the weight of the rocking blocks. In this way, the horizontal load multiplier assumes the meaning of weight ratio which, applied in the horizontal direction, produces the collapse mechanism activation.

Fig. 6 Forze orizzontali. Horizontal loads.



Sia $p(z)$ il peso della torre per unità di lunghezza di fusto alla quota z ; se il peso specifico è costante nel volume di muratura

Let $p(z)$ be the tower weigh per unit length at the position z .

$$p(z) = \gamma_m A(z),$$

being $A(z)$ area of the section at z position.

con $A(z)$ area della sezione alla quota z .
Con riferimento alla fig. 6, le forme piú frequentemente utilizzate per il sistema di forze orizzontali sono:

Referring to Fig. 6, horizontal forces $q(z)$ are usually distributed:

1) forze orizzontali proporzionali alle masse; alla quota z si considera applicato il carico orizzontale:

1) proportionally to structure masses distribution; at the position z , the horizontal load is:

$$q(z) = (\lambda) \cdot p(z)$$

in questo modo le risultanti delle forze orizzontali applicate ai blocchi coinvolti nel meccanismo sono applicate ai baricentri delle masse dei blocchi stessi;

in this way, the net horizontal forces on rocking blocks are applied at the block centers of mass;

2) forze orizzontali proporzionali al prodotto delle masse per gli spostamenti relativi al meccanismo di collasso considerato; alla quota z si considera applicato il carico orizzontale:

2) proportionally to structure masses and displacements of the considered collapse mechanism; at the position z , the horizontal load is:

$$q(z) = (\lambda) \cdot p(z) \cdot k \cdot \frac{z - z_c}{H - z_c}, \quad \text{con } k \text{ tale che: } \quad k \cdot \int_{z_c}^H p(z) \cdot \frac{z - z_c}{H - z_c} dz = \int_{z_c}^H p(z) \cdot dz$$

being k such that:

in questo modo la risultante delle forze orizzontali applicate ai blocchi coinvolti nel meccanismo non sono applicate ai baricentri delle masse dei blocchi stessi. Determinato il moltiplicatore λ_{c0} di attivazione del meccanismo, è possibile studiare l'equilibrio del sistema durante l'evoluzione del meccanismo stesso. Scelto un punto di controllo K e detto δ_K lo spostamento orizzontale di tale punto, è cioè possibile associare a ogni valore di δ_K il corrispondente moltiplicatore λ di equilibrio, fino al raggiungimento dello spostamento δ_u cui corrisponde moltiplicatore nullo. Il luogo dei punti di equilibrio può infine essere tracciato nel piano (λ, δ_K) .

in this way, the net horizontal forces on rocking blocks are not applied at the block centers of mass. Once the activation multiplier λ_{c0} is determined and a control point K is chosen in the structure, it is possible to study the equilibrium multiplier as a function of the horizontal displacement δ_K of point K . To each δ_K , an equilibrium load multiplier λ corresponds, until the displacement δ_u , corresponding to $\lambda = 0$ is reached. Equilibrium locus of points can be represented in the (λ, δ_K) plane.

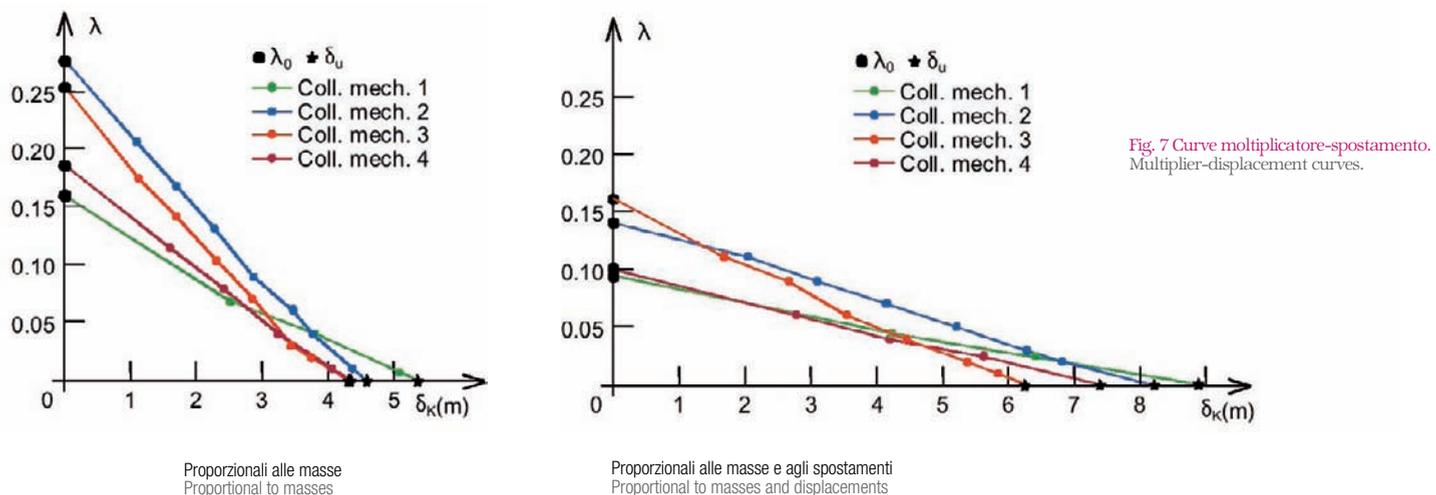


Fig. 7 Curve moltiplicatore-spostamento.
Multiplier-displacement curves.

A ogni meccanismo di collasso resta così associata una curva moltiplicatore-spostamento del punto di controllo (λ, δ_K) , e in particolare un valore del moltiplicatore di attivazione del meccanismo λ_{c0} e uno spostamento δ_u cui corrisponde, in condizione di equilibrio, l'annullamento delle forze orizzontali.

Lo spostamento δ_u cui compete forza orizzontale nulla si raggiunge, in generale, quando il percorso del baricentro delle masse coinvolte nel meccanismo raggiunge un punto stazionario, cioè raggiunge la massima quota compatibile con il meccanismo che si considera, e quindi, nel caso di sistemi con una sola cerniera, quando è posizionato sulla verticale per la cerniera stessa.

Nel caso di elementi con sezione costante questo spostamento è indipendente dalla quota della cerniera ed è pari alla metà della larghezza della sezione dell'elemento. Nel caso in esame gli spostamenti δ_u relativi ai diversi meccanismi considerati sono diversi, essendo la sezione della torre non costante e a causa dell'inclinazione iniziale.

Valutazioni sulla capacità sismica della struttura possono effettuarsi sia sulla base del moltiplicatore λ_{c0} sia sulla base dello spostamento δ_u (metodi basati sulla capacità di spostamento).

Il meccanismo di collasso non è in generale noto a priori.

Nel caso della torre civica, a partire dall'attuale inclinazione della torre sono stati considerati quattro possibili meccanismi di collasso (fig. 5): uno con cerniera posizionata alla base (ribaltamento dell'intera struttura) e tre con cerniera posizionata a diverse quote alle quali si ha una discontinuità della sezione trasversale.

Per ognuno di questi meccanismi, relativamente alle distribuzioni delle forze orizzontali sopra ricordate, è stata tracciata la curva (λ, δ_K) , considerando come punto di controllo il punto di applicazione della risultante delle forze orizzontali (fig. 7).

Displacement δ_u is reached when the path of the center of mass involved in the mechanism reaches a stationary point, that is reaches the maximum height, according to the mechanism evolution. In cases of material system with only one hinge (as in the present case), this corresponds to the configuration with the center of masses lying on the vertical over the hinge. Thus, in cases of structures with constant cross sections δ_u does not depend on the hinge position. In the present case, with the transversal cross section not being constant, and due to the tower inclination, displacements δ_u corresponding to different hinge positions are different. Seismic capacity assessment can be outlined based on the activation multiplier λ_{c0} and based

on displacement δ_u (displacement based methods).

Collapse mechanism is not, in general, known *a priori*.

In the case of the Tower, considering the actual inclination, four possible collapse mechanisms were considered (Fig. 5). Mechanism 1 consists of the overturning of the whole structure over an hinge at the base cross section, while in mechanisms 2-4, a hinge is placed where a discontinuity in the cross section is observed.

Considering these mechanisms and the above mentioned horizontal load distributions, the (λ, δ_K) curves were determined, adopting, as control point K, the point where the net horizontal force is applied (Fig. 7). The smallest activation

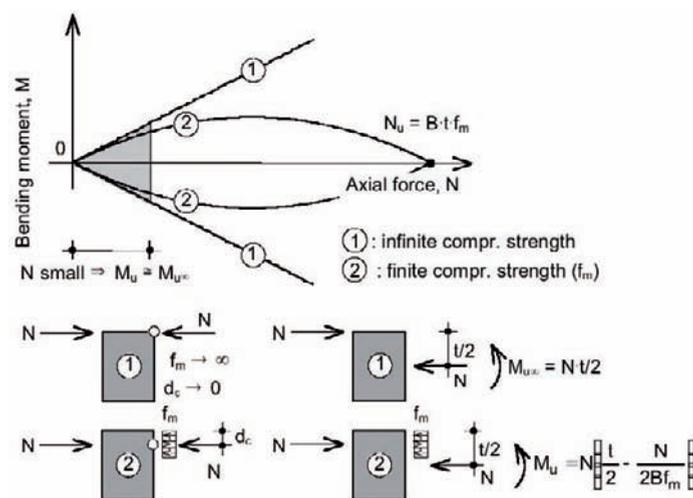


Fig. 8

Fig. 8 Influenza dello sforzo normale sulla posizione della cerniera. Influence of axial force on hinge position.

Fig. 9 Influenza della posizione della cerniera. Influence of hinge position.

Fig. 10 Influenza della forma del blocco. Influence of the shape of the rocking block.

Il più piccolo moltiplicatore di attivazione compete al meccanismo di ribaltamento globale della torre (meccanismo 1, cerniera nella sezione di base). Questo risultato, sebbene molto probabile, non è ovvio nel caso di distribuzione non uniforme delle masse lungo il fusto e di sezione del fusto variabile. Simili valori del moltiplicatore sono relativi al meccanismo 4, (ribaltamento della sola parte superiore della torre). Questi due meccanismi di collasso sembrano quindi quelli più meritevoli di ulteriori approfondimenti.

Applicando il criterio descritto nell'allegato 11C dell'OPCM 3431, basato sul confronto tra domanda e capacità in termini di spostamento, risulta che i meccanismi di collasso più probabili (cioè quelli con inferiori valori del rapporto capacità/domanda) sono il 3 e il 4 di fig. 5, in parziale accordo con le valutazioni basate sul moltiplicatore di collasso. Le valutazioni esposte sono da ritenersi qualitative, al solo scopo di individuare i più probabili meccanismi di collasso per le successive analisi di approfondimento. Nel caso delle torri, infatti, l'ipotesi di resistenza infinita a compressione (che più correttamente consiste nell'ipotizzare che le tensioni di compressione nella muratura siano molto più piccole della resistenza a compressione del materiale, fig. 8) non può ritenersi soddisfatta in quanto il peso della struttura induce notevole sforzo normale e notevole tensione di compressione nelle sezioni vicine alla base. In questi casi bisogna tenere conto del fatto che, nelle sezioni più basse, il centro di pressione (punto di applicazione dello sforzo normale e sede della cerniera) non può essere posizionato sul lembo delle sezioni, ma a una certa distanza d_c da questo, dipendente dall'entità dello sforzo normale e dalla resistenza a compressione del materiale (fig. 9). La cerniera non può quindi essere posta sul lembo della sezione, ma arretrata di d_c . Questo riduce, rispetto al caso finora considerato, la capacità della struttura, in quanto produce una diminuzione del moltiplicatore di attivazione del meccanismo (riduzione del braccio della forza peso, che è l'ente stabilizzante) e anche una riduzione dello spostamento δ_u . Inoltre, nelle considerazioni svolte, il blocco coinvolto dal meccanismo è stato considerato delimitato da una sezione trasversale della torre.

multiplier corresponds to the global tower overturning (mechanism 1, hinge at the base cross section). This result is not obvious in cases of non uniform mass distribution and non uniform size of transversal cross section. A similar multiplier was obtained for mechanism 4.

Thus, these collapse mechanisms appear to merit most strongly further investigations.

The application of criteria described in annex 11C of OPCM 3431, which is based on the displacement capacity, furnishes collapse mechanisms 3 and 4 of Fig. 5, as most probable ones.

This result is in partial agreement with multiplier-based predictions. The above considerations are qualitative, only having the sole objective of enumerating the most probable collapse mechanisms for further analysis. Indeed, in cases of towers, the assumption of infinite masonry compressive strength (which, in more detail, assumes that masonry compressive stress is small compared to strength, Fig. 8) is not very reliable.

This is because the relevant structure's actual weight produces high normal

force and compressive stress at the base zone. In such cases, it has to be taken into account that in the lower cross sections (near the base) the application point of normal force (and thus, the hinge) cannot be placed at the cross section edge, rather, at least at a certain distance d_c from it, depending on normal force and masonry compressive strength (Fig. 9). Compared to the above case, this fact reduces the structure capacity, due to the reduction of the activation multiplier (reduction of the weight moment arm) and also the reduction of the displacement δ_u . Moreover, in the collapse mechanisms considered above, the rocking blocks are delimited, at hinged cross section, by horizontal planes. Thus, the whole rocking block weight contributes to the mechanism's stability. Less favourable and differently shaped rocking blocks, delimited by non-horizontal planes, should also be considered in further investigations (Fig. 10).

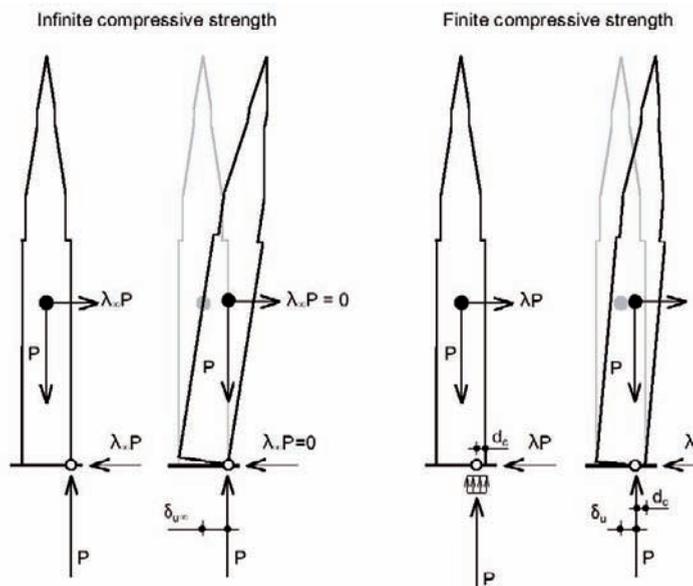


Fig. 9

In questo modo tutto il peso del materiale sopra a detta sezione costituisce l'ente resistente che ostacola il cinemismo. È tuttavia da considerare anche la possibilità di attivazione di meccanismi di collasso "meno favorevoli", in cui il blocco coinvolto nel meccanismo è delimitato da una sezione inclinata passante per la cerniera (fig. 10).

Come si può desumere dal precedente contesto l'iter di verifica sismica, pur avendo acquisito i primi dati, è in corso di espletamento. Le verifiche in cui i parametri di resistenza del materiale sono determinanti si gioveranno del programma di indagini non distruttive di prossima attivazione che completerà quello parziale già effettuato. La procedura che si fonda sui meccanismi di collasso verrà arricchita con ampie casistiche di cesure possibili, per fornire le valutazioni sul minimo moltiplicatore che produce il collasso.

Essendo il peso specifico della muratura partecipante nelle condizioni di equilibrio dei meccanismi, la sua determinazione più approfondita mediante le prove soniche apporrà ulteriori benefici all'affidabilità del procedimento analitico. In effetti dal programma di prove soniche ci si aspetta anche la conferma della compattezza della muratura o meglio dei lotti omogenei in cui le caratteristiche meccaniche possono essere individuate: i diversi periodi storici di completamento dei lavori avranno senz'altro comportato differenti proprietà meccaniche per parti (mattoni e malte di diverse estrazioni e composizioni). Scendendo più nei particolari si può considerare la muratura portante composta da una corteccia esterna lapidea a grossi conci sovrapposti senza interposizione di malta (giunti di spessore nullo) e una parte interna, ammorsata, di mattoni con giunti di malta orizzontali di circa 5 mm. Le distribuzioni tensionali saranno variate nel tempo per la pseudo-viscosità della parte interna di mattoni a fronte della maggior rigidità e complessivamente minor viscosità della corteccia lapidea. Altre indagini sperimentali sono in corso sugli arconi di collegamento col Duomo, le informazioni che si trarranno chiariranno l'interazione meccanica oggi in atto fra torre e Duomo.

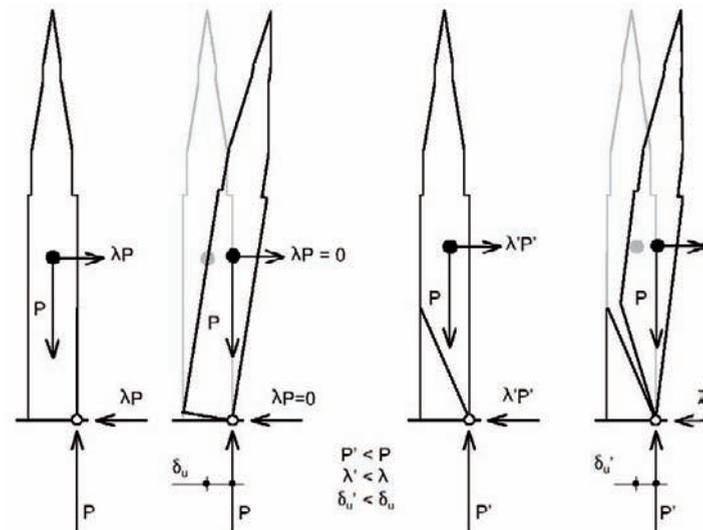


Fig. 10

As can be seen, the Tower seismic capacity assessment is in progress. Procedures based on characteristics of the materials will be updated with the results of scheduled experimental tests, which will complete the data that are actually available. Collapse mechanism-based evaluations will be completed by the examination of several possible positions of the fracture plane, in order to achieve reliable information on the minimum collapse horizontal load multiplier. Moreover, as the structure weight and the mass distribution play a very important role in the analytical procedure results, sonic tests will be performed in order to obtain information on these parameters. In more detail, the Tower masonry can be considered as being composed of two parts: an external skin made of big stone blocks (usually without mortar),

and an internal part made of clay, bricks, and mortar (of roughly 5 mm thickness). Stress distribution is also influenced by this material distribution, due to the different elastic and pseudo-viscosity properties of these two materials: external skin is very stiff compared to internal. Further investigations on the big arches connecting the Tower to the church are also in progress.

ASPETTI GEOTECNICI NELLA CONSERVAZIONE DELLA TORRE GHIRLANDINA
GEOTECHNICAL ASPECTS RELATED TO THE PRESERVATION OF THE GHIRLANDINA TOWER

Renato Lancellotta



Le motivazioni per gli studi di carattere geotecnico

Il fascino di una torre pendente nasconde in realtà problemi legati alla sua interazione con il terreno, talora non immediatamente decifrabili. Ma al tempo stesso è stupefacente notare come l'osservatore, anche digiuno di conoscenze scientifiche, riesca a cogliere la vera essenza del problema, perché, interrogandosi su come la torre possa reagire a una qualunque azione che ne perturbi l'attuale configurazione, pone di fatto l'accento sulla natura dell'equilibrio, ossia sulla stabilità dell'equilibrio.

Questa stabilità risulta tanto più precaria quanto minore è la rigidità del terreno e la torre di Pisa rappresenta al riguardo un esempio emblematico, perché il tema della conservazione del campanile di piazza dei Miracoli si è identificato al termine di tanti studi con quello della stabilità dell'equilibrio (Hambly, 1985; Lancellotta, 1993; Desideri e Viggiani, 1994; Nova e Montrasio, 1995). Beninteso, altri problemi di natura strutturale, che esulano dalle finalità del presente capitolo, possono mettere in crisi l'apparato murario (Heyman, 1992), come testimoniano le rovinose vicende del campanile di Venezia e della torre civica di Pavia. E la torre, giunta fino a noi attraverso tanti secoli, ha superato durante le fasi della sua edificazione momenti che acquisivano carattere di criticità ogni qualvolta il carico unitario trasmesso al terreno di fondazione risultava prossimo alla capacità portante del sistema fondazione-terreno (si sta ora menzionando un meccanismo condizionato dalla resistenza del terreno, in contrapposizione a quello prima citato della stabilità dell'equilibrio, condizionato dalla rigidità del terreno). Per comprendere le fortunate circostanze che hanno garantito la sopravvivenza della torre è dunque indispensabile rileggerne la storia e identificare quelle interruzioni (probabilmente non programmate dall'architetto ignaro dei principi di meccanica delle terre, che costituiscono la nostra chiave di lettura dei problemi di interazione terreno-struttura, ma indiscutibilmente *ingenio clarus, doctus et aptus*), quei periodi di stasi, che hanno consentito al terreno di consolidarsi sotto i carichi a esso trasmessi, con conseguente miglioramento delle caratteristiche meccaniche e possibilità quindi di resistere agli ulteriori incrementi di sollecitazione prodotti dalle successive fasi di accrescimento della struttura. Partendo da queste motivazioni, l'obiettivo del presente contributo è quello di presentare i risultati delle indagini, svolte nell'ambito delle attività del Comitato Scientifico, per la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione, che alla luce dei possibili meccanismi succintamente richiamati, si pone come una imprescindibile premessa per ogni successiva analisi delle condizioni di stabilità della torre e della sua evoluzione nel tempo, nonché per lo studio del problema, non meno complesso né tantomeno disgiunto, della interazione torre-cattedrale.

Rationale for geotechnical studies

The fascination of a leaning tower can actually camouflage some problems related to the interaction with the foundation soil, which are sometimes not so evident at first glance. At the same time, it's clear that the observer, even without scientific knowledge, has the ability to capture the essence of the problem, because, when asking himself about the reaction of the tower if it were to be perturbed by any external action, he is just wondering unconsciously about the *stability of equilibrium*.

The danger of a *leaning instability* increases if there is *lack of stiffness* of the soil; in this respect the leaning tower of Pisa represents a powerful example, because the preservation of the tower was recognised as being a problem of leaning instability (Hambly, 1985; Lancellotta, 1993; Desideri and Viggiani, 1994; Nova and Montrasio, 1995). There are certainly other aspects of a structural nature (that are beyond the scope of this chapter) linked to the masonry behaviour as a unilateral material, that deserve special attention as was shown by the collapse of the Campanile in Venice and the Civic Tower in Pavia (Heyman, 1992). Moreover, we also have to mention that, during the first stage of construction, the Tower could have been close to a *bearing capacity* collapse, due to *lack of strength* of the soil, and safely survived thanks to some delay or interruption of the building process.

Therefore, it is of paramount interest to get a full description of the history of the Tower and to highlight the construction stages and the rest periods that allowed the foundation soil to improve its strength, during the consolidation process under constant external load, which allowed the tower to be successfully finished. Moving from these arguments, the object of this chapter is to provide a picture of the subsoil conditions (namely soil profile, groundwater conditions and relevant mechanical parameters) that, by considering the above mentioned mechanisms, must be considered a prerequisite to later studies of the stability of the Tower and its evolution with time, as well as the fascinating problem of its interaction with the Cathedral.

Il quadro delle conoscenze relative alla struttura di fondazione della Torre

Gli studi sulla Ghirlandina, collocano l'inizio della costruzione tra il 1099 e il 1106 (a opera di maestranze legate alla figura dell'architetto Lanfranco) e il suo completamento nel 1319 (a opera di Enrico da Campione). Il dibattito critico riguardante la cronologia delle fasi costruttive è caratterizzato da tesi discordanti (si veda il capitolo su *Fonti e Storiografia* di Cristina Dieghi), ma sembrerebbe realistico assumere come data di ultimazione dei primi cinque piani della torre, concepita senza divisioni interne e quindi aperta dalla base fino al quinto piano, il 1169 o il 1179. Le cronache modenesi consentono poi di affermare che nel 1261 alla torre era stato aggiunto il sesto piano e nell'edificazione del sesto piano si legge il primo tentativo di correggerne la pendenza verso sud. Nel 1319 viene completata da Enrico da Campione la parte ottagonale, coronata da una sfera di rame dorato. Infine le cronache indicano nel 1338 la data di realizzazione degli archi a sesto acuto di collegamento tra il Duomo e la torre, con edificazione, al di sopra di essi di una piccola sagrestia che consentiva il passaggio dal Duomo alla torre. Le cronache non segnalano il problema della pendenza e della stabilità della torre, sollevato (sembra) per la prima volta dall'architetto comunale Raffaele Rinaldi detto "il Menia" nei carteggi degli interventi seicenteschi. Per far luce sulla geometria, dimensione e tipologia delle fondazioni della torre occorre attendere la fine del XIX secolo, quando gli studi furono affidati a Silvio Canevazzi, professore nella Scuola di applicazione degli ingegneri di Bologna e a Francesco Cavani, professore di geometria pratica nell'Università di Bologna. In particolare, tra il 1898 e il 1901 venne eseguito uno scavo al piede della torre sul lato sud, sotto gli archi di collegamento con il Duomo, e il Sandonnini riporta che venne rilevata la soglia dell'antica porta a 1,80 m di profondità. La fondazione della torre sporgeva dal muro di 50 cm e presentava un orlo arrotondato. Lo scavo si spostò nell'angolo nord-est e proseguì fino al ritrovamento del selciato romano della Via Emilia, alla profondità di 4,90 m. Fu accertato che le fondazioni terminavano 60-70 cm al di sotto di tale selciato.

Nella relazione tecnica dell'architetto Raffaele Faccioli, riguardante i lavori compiuti dall'Ufficio regionale tra il 1898 e il 1901, si riporta (si veda la fig. 1) che durante lo scavo nell'angolo nord-est si osservò il paramento lapideo della torre fino alla profondità di 1,36 m, la presenza quindi di una banchina marmorea sporgente 48 cm dal muro e infine la muratura laterizia (molto curata) della fondazione, che scendeva fino alla profondità di 5,45 m. Nella relazione si legge: "dalle ricerche eseguite sembra che il terreno non sia stato consolidato né con palificazioni né con altri mezzi".

The state of knowledge about the foundation structure of the Tower

There still some debate about the construction stages of the Tower (see the chapter on *Fonti e Storiografia* by Cristina Dieghi). The majority of historians indicate that the Tower was begun at the same time as the Cathedral by Lanfranco (i.e. 1099 or 1106) and reached its final stage in 1319. It is argued that the first five floors were successfully standing in 1169 or 1179 and that the tower reached the height corresponding to the sixth floor in 1216. Finally, it is of interest to observe that in 1338 the arches connecting the southern side of the Tower to the Cathedral were already in place, eventually to prevent additional tilt of the Tower towards the Cathedral, since there is evidence that the Tower did begin to tilt during the construction, and that the ancient masons did make some corrections accordingly (mainly during the construction of the sixth floor).

Investigations aimed at clarifying the founding depth and the presence of piles and

measurements of tilt started at the end of the 19th century. At that time (from 1898 to 1901), a pit was initially excavated near the southern side of the Tower and the inspection revealed the socle of the ancient door at depth of 1.80 m from the ground surface (see the section sketched in Fig. 1). Then, a trench was safely excavated at the northeast edge up to the depth of 4.90 m, where the *basolato* of the Roman road (Via Emilia) was found. Upon direct inspection, the presence of the socle was observed at a depth of 1.36 m and the masonry of the foundation was observed to reach the depth of 5.45 m. It was then concluded that there was an absence of any piled foundation, but this was rather arbitrary because of a lack of any investigation beneath the founding level.

Ma non è chiaro come si sia giunti a tale conclusione, dal momento che i disegni mostrano che gli scavi non sono stati estesi in alcun punto al di sotto della fondazione.

Le uniche deduzioni certe sono quindi che la fondazione si allarga di pochissimo (di appena 70 cm) rispetto al paramento murario della torre e in corrispondenza della soglia dell'antica porta gira una banchina, con il suo piano inclinato verso sud-ovest.

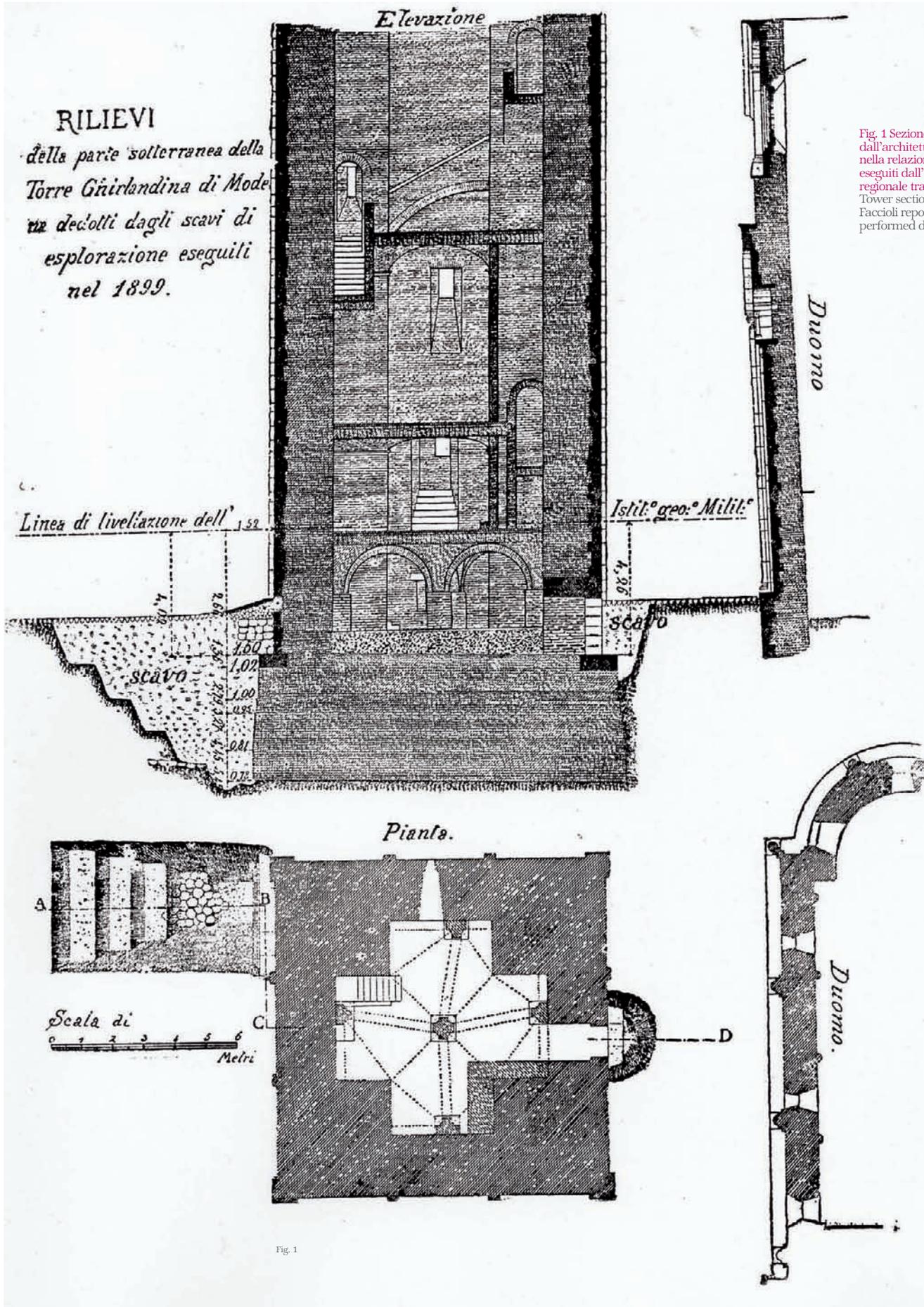


Fig. 1 Sezione pubblicata dall'architetto Faccioli nella relazione sui lavori eseguiti dall'Ufficio regionale tra il 1898 e il 1901. Tower section as referred in Faccioli report on investigations performed during 1898-1901).

Fig. 1

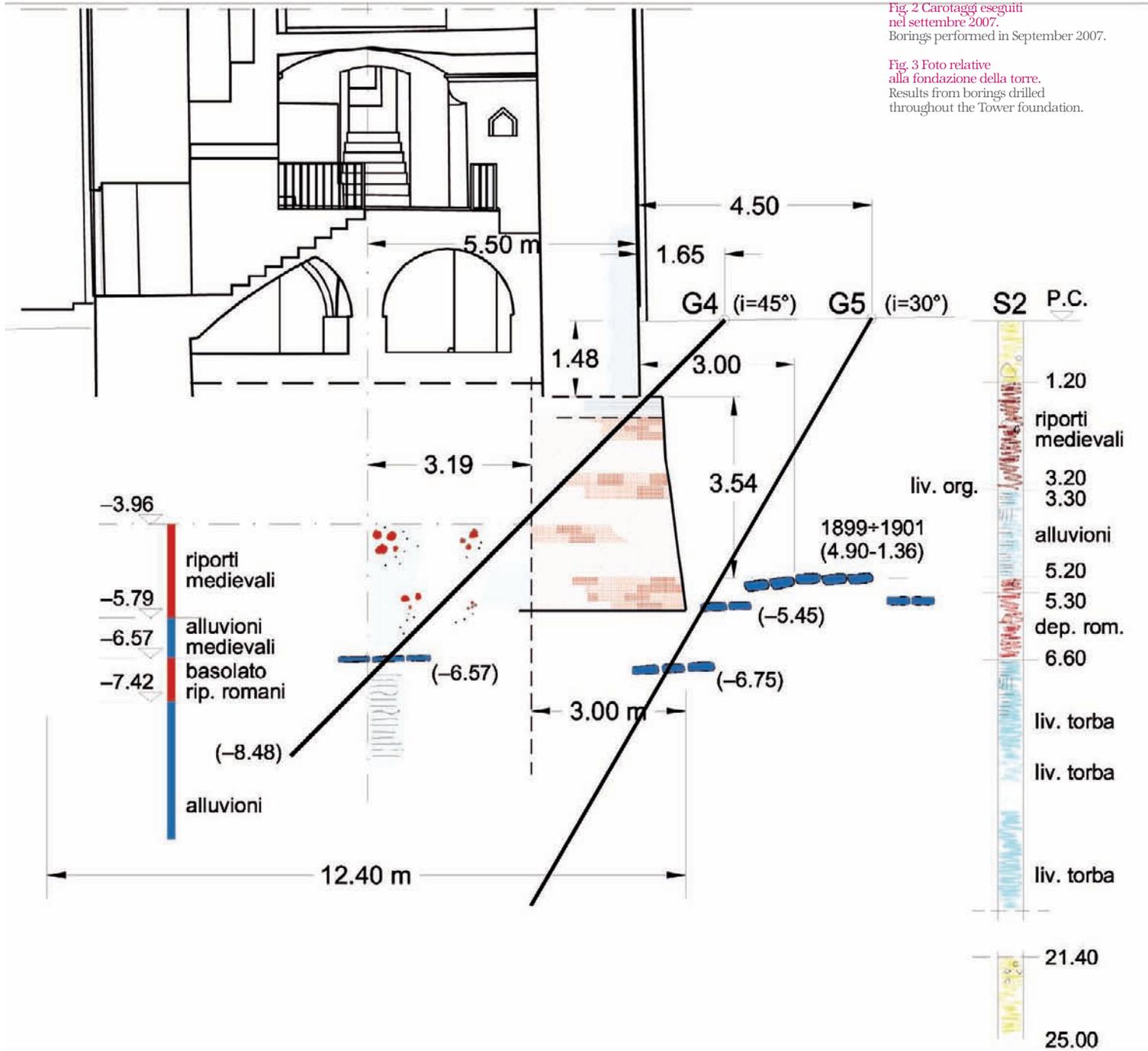


Fig. 2 Carotaggi eseguiti nel settembre 2007. Borings performed in September 2007.

Fig. 3 Foto relative alla fondazione della torre. Results from borings drilled throughout the Tower foundation.

Fig. 2



Fig. 3

Per quanto concerne la pendenza della torre, il professor Cavani nel 1903 era giunto alle seguenti conclusioni: “Riassumendo ora tutto lo studio fatto sulla torre Ghirlandina di Modena e prendendo dei valori medi fra quelli ottenuti coi diversi metodi adoperati per determinare la pendenza, si possono stabilire le risultanze seguenti.

La Ghirlandina è inclinata verso il sud-ovest e il piano verticale di inclinazione del suo asse fa un angolo di soli $7^{\circ} 5'$ colla diagonale nord-est, sud-ovest della base della torre, misurato dalla parte sud-ovest nel senso sud-ovest-nord. L'asse della torre è inclinato alla verticale di un angolo che può ritenersi di $1^{\circ} 14' 16''$ e ha quindi una pendenza del 2,16 per cento”. Partendo da questi dati, per completare il quadro delle conoscenze relative alla struttura di fondazione, nel settembre 2007 sono stati eseguiti tre carotaggi secondo lo schema riportato in fig. 2, che mostra una sezione nord-sud della fondazione, con vista verso ovest.

1. Il sondaggio G4, eseguito alla distanza di 1,65 m dal paramento del torre e con una inclinazione di 45° , ha permesso innanzitutto di appurare la presenza della banchina che gira intorno alla torre alla profondità di 1,48 m dall'attuale piano campagna. Inoltre, si è appurato che la fondazione della torre è una fondazione internamente cava, con uno spessore delle murature, di ottima fattura, pari a 3,00 metri (si veda la documentazione fotografica riportata in fig.a 3).

Il sondaggio è stato quindi spinto fino alla profondità di 8,48 m dal piano campagna e nell'ambito di tale profondità non sono state riscontrate tracce di palificazioni.

La successione stratigrafica in corrispondenza dell'asse della torre consente infatti di leggere la presenza di riporti antropici medievali da 3,96 m a 5,79 m, al di sotto dei quali è riconoscibile un livello (fino alla profondità di 6,57 m) di alluvioni medievali. Nell'intervallo compreso tra 6,57 e 7,42 m si ritrovano il basolato della Via Emilia e riporti antropici romani e da tale profondità in poi si è in presenza dei depositi naturali (argille limose).

La conclusione raggiunta sull'assenza di pali di fondazione riveste rilevanza notevole, ma sotto il profilo geotecnico altrettanto significativo è l'aver ritrovato la Via Emilia alla profondità di 6,57 m al di sotto della Ghirlandina, giacché, prestandosi tale dato a un confronto con la profondità della stessa Via Emilia in condizioni di campo libero, si è intravista la possibilità di pervenire a una stima attendibile del cedimento subito dalla torre.

As far as the measurement of the tilt of the Tower, Professor Cavani (from the University of Bologna) reached the conclusion in 1903 that the tilt was equal to $1^{\circ} 14' 16''$ and that the vertical plane of tilt was oriented approximately from the northeast to the southwest (actually the deviation from this direction was of about $7^{\circ} 5'$ from southwest towards west).

The Scientific Committee that met in 2007 realized the need to have a deeper knowledge of the Tower foundation, and we thus performed the borings sketched in Fig. 2.

This investigation allowed us to reach the following conclusions: (a) the brickwork foundation (see pictures in Fig. 3) has a thickness of 3 m and was conceived as a spread foundation without supporting piles; (b) the socle of the ancient door was found at depth of 1.48 m from the actual ground level; (c) the boring G5 (and a second one G1, not shown in the Figure) was intentionally drilled in such a way to intercept the *basolato* of the Roman road (Via Emilia) near the edge (at a depth of 5.45 m) and just below the foundation (at a depth of 6.75 m).

2. Con questa idea in mente è stata individuata la configurazione di altri due sondaggi, il G1 e il G5, illustrata in fig. 2 (la figura riporta in realtà, per chiarezza espositiva, solo i risultati del sondaggio G5, essendo questi del tutto analoghi a quelli del G1). Con tale configurazione, caratterizzata da una distanza della testa del sondaggio dal paramento della torre pari a 4,50 m e da una inclinazione di 30° rispetto alla verticale, si è potuto intercettare il basolato della Via Emilia una prima volta a ridosso della fondazione (alla profondità di 5,45 m) e, successivamente, al disotto della fondazione stessa (alla profondità di 6,75 m). A questo punto possono essere formulate le seguenti due ipotesi che permettono di stimare un limite inferiore e un limite superiore del cedimento della torre. Se si accetta come profondità della Via Emilia (alla data di costruzione della torre) quella rilevata con i saggi del 1898-1901 (fig. 1), assumendo come piano di riferimento il piano corrispondente alla banchina, si avrebbe una differenza tra tale profondità e quella della banchina pari a 3,54 m (4,90-1,36). La stessa operazione, fatta nella configurazione attuale, porterebbe ad una differenza di 5,27 m (6,75-1,48), sicché il cedimento subito dalla parete nord della torre risulterebbe pari a 1,73 m (5,27-3,54). Tenendo presente i dati rilevati dal Cavani, a tale valore corrisponderebbe un cedimento della parete sud pari a 1,97 m e un cedimento medio pari a 1,85 m. Inoltre, poiché traslando la fondazione rigidamente verso l'alto di 1,48 m si riporterebbe la banchina al livello del piano campagna, si deduce che la differenza di 25 cm (1,73-1,48) rappresenta il cedimento manifestatosi durante la costruzione della fondazione, il cui piano di appoggio originario si collocherebbe quindi a circa 3,90 m dal piano campagna attuale. L'analisi sopra riportata corrisponde a un limite inferiore del cedimento della torre, in quanto la profondità della Via Emilia rilevata con i saggi del 1898-1901 è certamente influenzata dall'interazione con la torre e non può essere considerata in condizioni di campo libero. Se in alternativa si fa riferimento ai risultati del sondaggio E2, che collocano la Via Emilia alla profondità di 4,80 m dall'attuale piano campagna, si dedurrebbe un cedimento della parete nord della torre pari 1,95 m (6,75-4,80), e corrispondentemente un cedimento medio di circa 2,07 m e un cedimento della parete sud di circa 2,19 m. In questo secondo caso, il cedimento verificatosi durante la fase di realizzazione della fondazione risulterebbe pari a 47 cm e il piano di posa si collocherebbe a 3,70 m dall'attuale piano campagna. È significativo osservare che il sondaggio S5, eseguito a una distanza di 3 m dall'abside sud della cattedrale e con un'inclinazione di 45° , ne colloca la fondazione a una profondità di 3,68 m, sicché la seconda ipotesi indicherebbe lo stesso piano di fondazione per le absidi e la torre.

By comparing the difference (6.75-1.48) with that (4.90-1.36) found during the investigation made in 1898-1901, we can argue that the Tower settlement was of the order of 1.73 m at the North side and, by considering the tilt, the average settlement was of the order of 1.85 m. This value represents a lower bound of the settlement the Tower experienced, because we can certainly speculate that the depth of the *basolato* near the side of the foundation cannot be considered as representative of a free-field condition. Similar arguments, linked to the depth of the *basolato* when referred to free field conditions (the boring E2, related to archaeological investigation gives a depth of 4.80 m) would suggest an upper bound value of the average settlement equal to 2.07 m.

Gli studi di carattere geologico e geotecnico

A partire dal 1980 il Comune di Modena ha avviato un'organica attività di studio del fenomeno della subsidenza. Tale attività si è concretizzata nella realizzazione di una rete di livellazione geodetica (Russo, 1985) e nell'esecuzione di indagini geotecniche (Cancelli, 1986; Cancelli e Pellegrini, 1984; Pellegrini e Zavatti, 1980; Righi, 1980), con particolare attenzione alla misura dei livelli piezometrici della falda superficiale e della falda relativa agli acquiferi più profondi.

Tali studi hanno mostrato come il livello piezometrico profondo, che originariamente superava il piano campagna, si sia abbassato nel tempo a causa dei forti prelievi di acqua, stabilizzandosi dopo il 1970 a circa 10 m di profondità e determinando il vistoso incremento di subsidenza che ha raggiunto punte di 80-90 cm (Russo, 1985; Cancelli, 1986). Negli anni successivi, grazie alle iniziative del Comune di Modena volte a ridurre i prelievi di acqua, il livello piezometrico degli acquiferi compresi tra i 22 e 34 m e i 54 e 63 m di profondità è passato dai 10 m degli anni 1975-1976 a 3-4 metri, e il livello nell'ambito dell'orizzonte più superficiale si colloca a circa 1,50-1,20 m dal piano campagna.

A questi studi si sono successivamente aggiunti i contributi di Cremaschi e Gasperi (1989), Gasperi *et al.* (1989), Fazzini e Gasperi (1996) e Lugli *et al.* (2004) e di molti altri autori, che hanno consentito di formulare un quadro sull'evoluzione sedimentaria della pianura modenese.

Per approfondire infine il dettaglio stratigrafico relativo agli orizzonti più direttamente interagenti con la torre, nel settembre 2007 e nel dicembre 2008 sono stati eseguiti cinque sondaggi, con prelievo di campioni indisturbati.

Questi sondaggi sono indicati nelle successive figg. 4, 5 e 6 con i seguenti simboli: S2 (T) in prossimità della torre, spinto alla profondità di 25 m; S1 (PT) in Piazza della Torre, profondo 20 m; S1 (PG), S2 (PG) e S3 (PG) in piazza Grande, spinti rispettivamente fino alle profondità di 80 m, 53,20 m e 30 m. Questi ultimi tre sondaggi sono stati utilizzati anche per l'esecuzione di prove cross-hole.

Le conoscenze disponibili consentono oggi di tracciare il seguente quadro: le formazioni di ambiente alluvionale del sottosuolo modenese (e più in generale dell'alta e media pianura modenese), dello spessore di 200-300 m, sono il risultato di cicli deposizionali, sviluppatisi a partire dal pleistocene medio, su una superficie di discontinuità stratigrafica che li separa dai più antichi depositi di ambiente litorale (Lugli *et al.*, 2004).

Geological and geotechnical investigations

Since 1980, the town council of Modena has promoted studies and investigations related to the subsidence of the Modena alluvial plain (Russo, 1985; Cancelli, 1986; Cancelli e Pellegrini, 1984; Pellegrini e Zavatti, 1980; Righi, 1980). Significant changes of piezometric levels within the major aquifers occurred during the mid 1970's for municipal water supply purposes, lowering to 10 m the original level, and the old town centre experienced a subsidence phenomenon of up to 80 to 90 cm.

This necessitated controls in order to reduce or prevent further negative effects, so that the piezometric level of the two aquifers, ranging from 22 to 34 m and from 54 to 63 m (see Figs. 4 and 5), rose progressively at the end of 1980's to a depth of 4 m from ground level, whereas within the first horizon the groundwater level oscillates from depth of 1.50 to 1.2 m. In addition to these studies, it is important to mention that the Modena alluvial plain is characterized by a unique abundance of archaeological sites, and the related interest has promoted research on the Quaternary sedimentation of the Modena plain (Cremaschi and Gasperi, 1989; Gasperi *et al.*, 1989; Fazzini and Gasperi, 1996; Lugli *et al.*, 2004).

Fig. 4 Profili stratigrafici. Soil profiles.

In corrispondenza della città di Modena e in particolare in corrispondenza di Piazza Grande e di piazza della Torre (si vedano i profili stratigrafici riportati nelle figg. 4, 5 e 6), le alluvioni sono costituite per i primi 21-22 metri da argille limose grigio-azzurre, da 22 m a circa 34-35 m da ghiaie e sabbie di colore ocra, da 34 m a circa 54 m da argille limose e limi con sottili livelli sabbiosi, da 54 m circa 63 m da ghiaie e sabbie di colore grigio con un livello di argilla consistente compreso tra 58,20 e 59 m, da 63,20 m a circa 80 m da argille consistenti grigio-azzurre con marcata presenza di lamine sabbiose. Approfondendo la descrizione degli orizzonti piú superficiali (i primi 50 m mostrati in fig. 5), i primi 5-7 m sono costituiti da sedimenti alluvionali argillosi depositati dopo l'età romana. Tale unità, indicata come unità di Modena, si ritiene sia il prodotto delle esondazioni di un corso d'acqua minore (torrente Fossa-Cerca) (Cremaschi e Gasperi, 1989; Lugli *et al.*, 2004). La rimanente parte dell'orizzonte argilloso superiore (fino a circa 21-22 m, di profondità) è caratterizzato dalla presenza diffusa di lamine di sabbia e di livelli di torba. Questi ultimi si ritrovano nel sondaggio S1 (PG) alle profondità di 10,50, 13,40, 14,40 e 17,50 m.

Finally, in order to establish a detailed soil profile and the relevant mechanical parameters aimed at investigating the behaviour of the Tower in relation to subsoil conditions, a rather comprehensive site investigation was planned in September 2007 and December 2008. Soil profiles referred to in Figs. 4, 5 and 6 have been obtained by performing continuous sampling, and samplers producing either disturbed or undisturbed samples have been used. In Fig. 5, the soil profile

down to the investigated depth of 80 m is composed of a first horizon of medium to high-plasticity inorganic clays, with an abundance of laminae of sands and peat, mere millimetres thick. The upper portion of this horizon, whose thickness ranges from 5 to 7 meters, is known as *Modena Unit* and is linked to the flooding events (of post-Roman age) produced by minor streams (T. Fossa-Cerca).

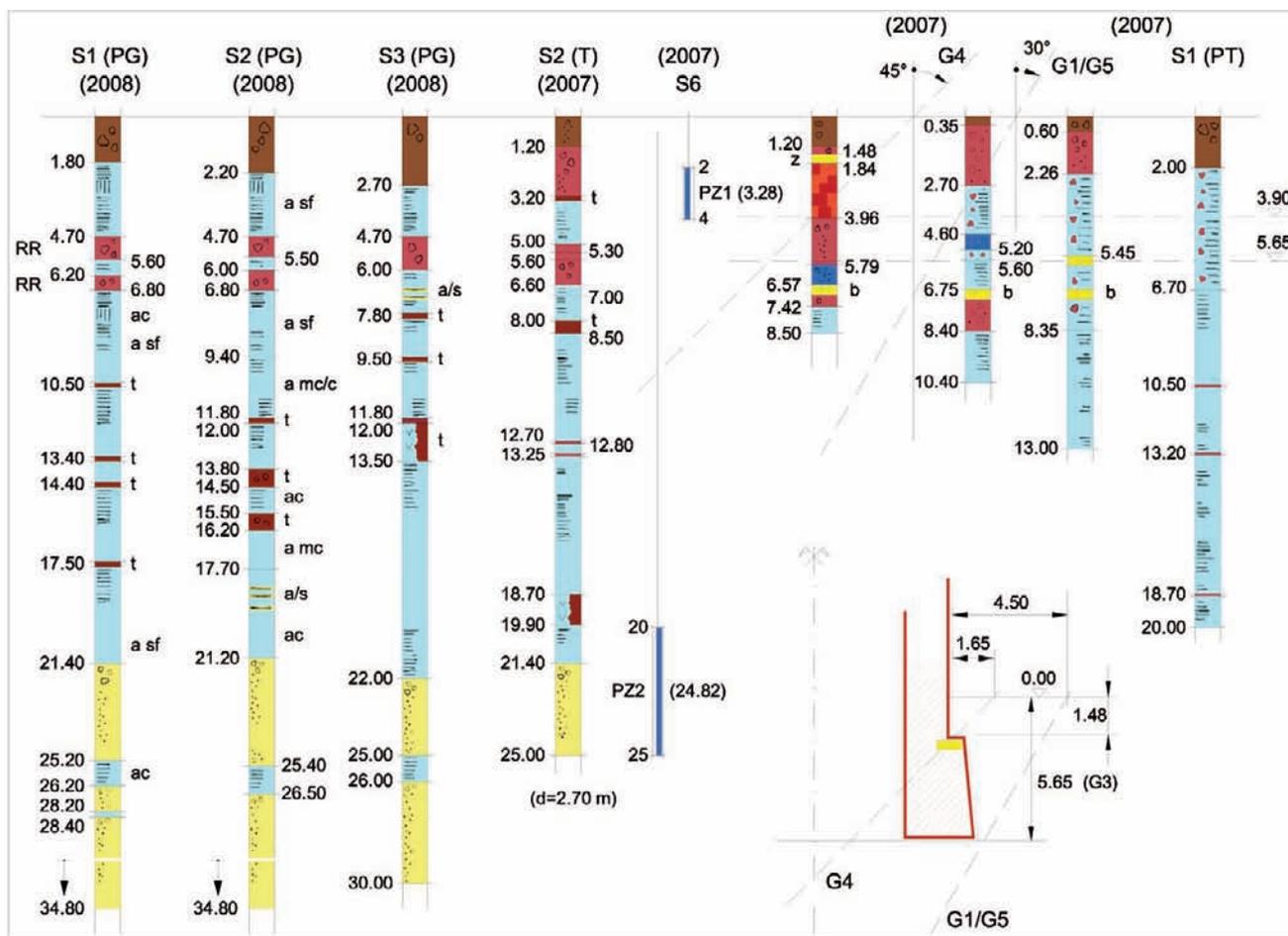


Fig. 4

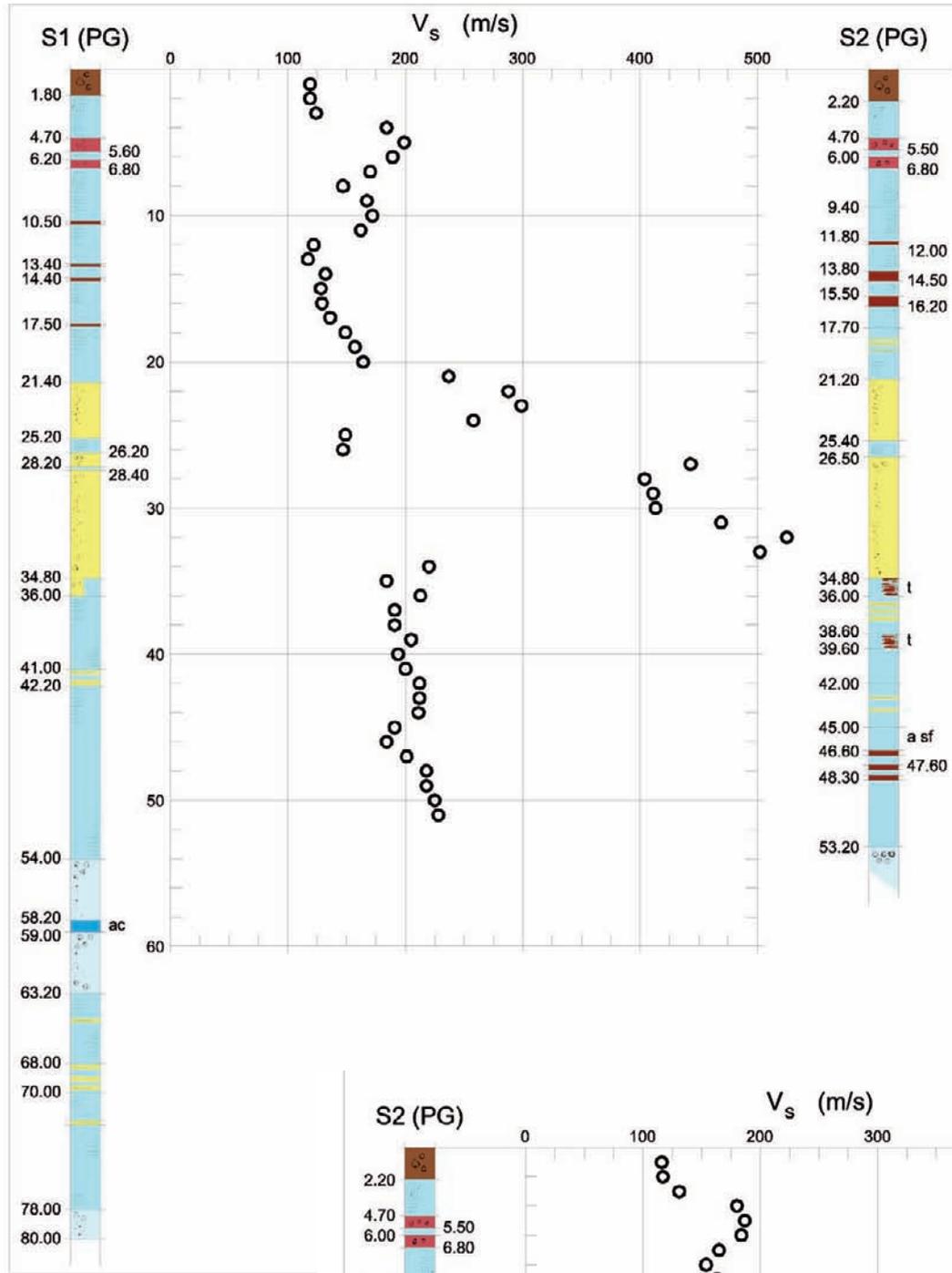


Fig. 5 Prove cross-hole S1-S2. Cross-hole tests.

Fig. 6 Prove cross-hole S2-S3. Cross-hole tests.

Fig. 5

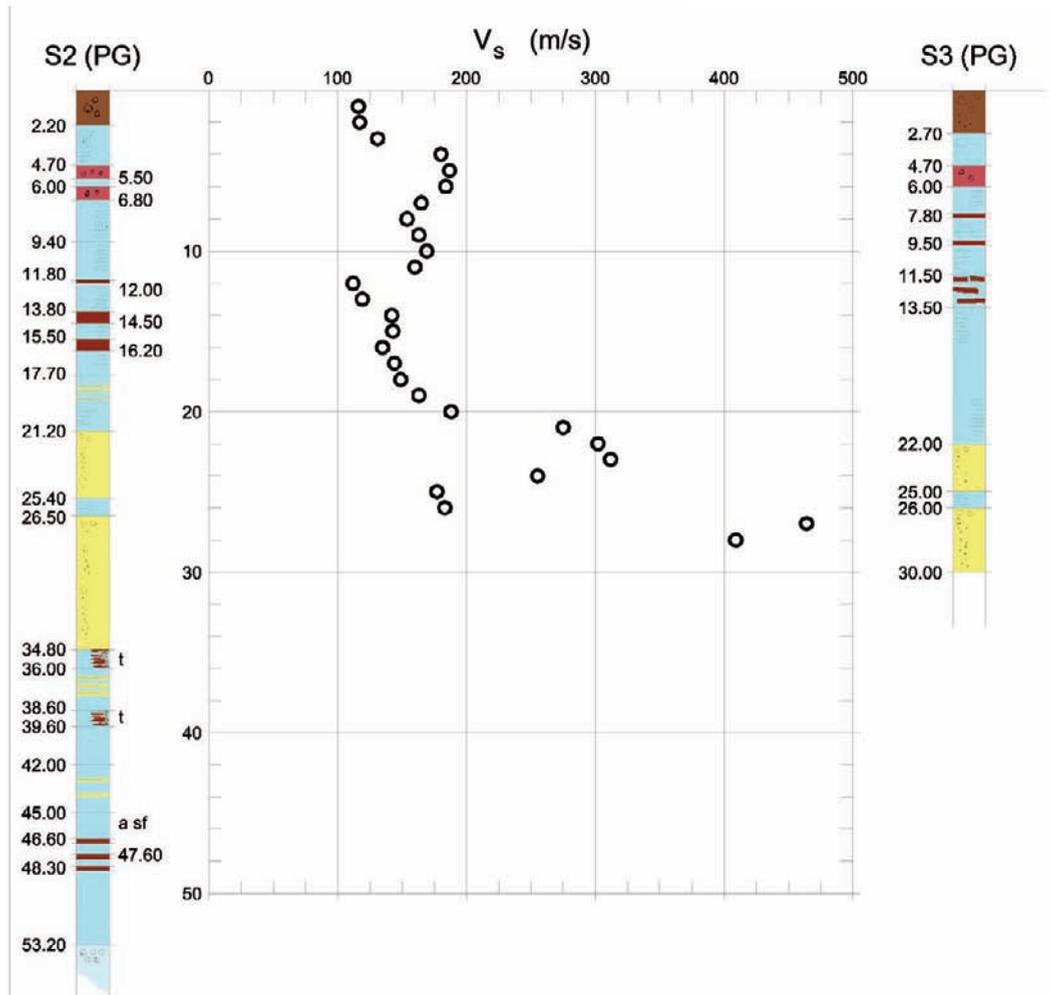


Fig. 6

I due successivi orizzonti, compresi tra le profondità di 22 m e 54 m (fig. 5), sono il risultato di un ciclo trasgressivo-regressivo completo e identificano l'unità pelitica (unità di Niviano), deposta durante la penultima fase interglaciale, alla quale segue l'orizzonte ghiaioso (corrispondente all'unità di Vignola), attribuibile all'attività di trasporto del fiume Secchia (Lugli *et al.*, 2004). Nell'ambito di quella che è individuata come unità di Modena (i primi 6-7 m) il profilo stratigrafico del sondaggio S2 (T), riportato in fig. 2, mostra più in dettaglio la seguente successione: dopo un primo orizzonte dello spessore di 1,20 m, costituito da depositi antropici recenti, si ritrovano nell'ordine i riporti medievali (da 1,20 a 3,30 m), le alluvioni medievali (da 3,30 a 5,30 m), il basolato e i riporti di epoca romana (da 5,30 a 6,60 m) e infine le alluvioni costituite da argilla limosa grigia, con livelli torbosi e concrezioni calcaree.

I profili delle prove penetrometriche statiche eseguite durante la campagna del 1980 (riportati nelle figg. 7 e 8), i dati preliminari relativi alle prove di laboratorio (si vedano le figg. 9, 10, 11, 12 e 13 e le tab. 1, 2 e 3) e in particolare i risultati delle prove di compressione edometrica (riportati in fig. 11), eseguite sui campioni indisturbati prelevati nel corso dei suddetti sondaggi, lasciano ipotizzare la presenza nell'ambito del primo orizzonte argilloso di livelli caratterizzati da diverso grado di sovraconsolidazione.

The subsequent underlying horizons, ranging from depths of 22 to 54 meters, represent the result of a complete transgressive-regressive cycle: the fine-grained sediments belonging to the horizon known as *Niviano Unit* were deposited during the penultimate interglacial cycle, and the superimposed coarse-grained materials belonging to the *Vignola Unit* are linked to transport activities of the Secchia river. A second horizon of coarse-grained materials is encountered at depths ranging from 54 to 63 m, and thereafter a fine-grained materials horizon is found down to a depth of 78 m, here again characterized by

a diffuse presence of laminae of sand.

Mechanical cone penetration tests were performed in 1984, and the profiles obtained are conveniently grouped in Figs. 7 and 8. These profiles and the results of laboratory tests on undisturbed soil samples (see Tabs. 1, 2 and 3 and Figs. 9, 19, 11, 12 and 13) suggest the presence, within the first horizon, of preconsolidated soil layers, due to exposure and dessication during the deposition cycles.

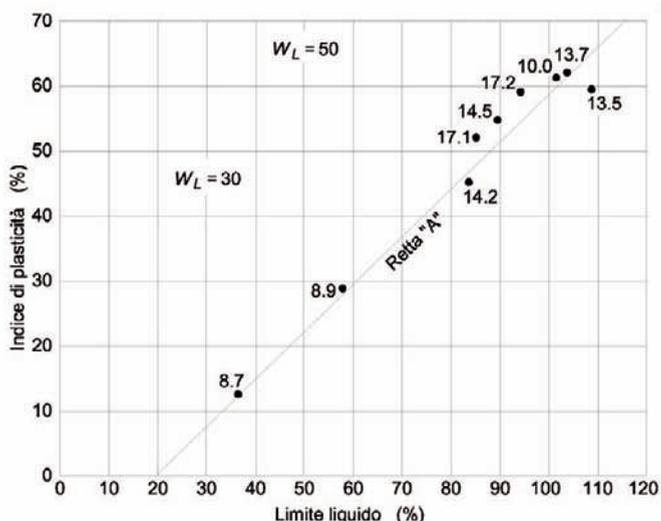


Fig. 9

Fig. 7 Prove penetrometriche statiche. Cone penetration tests.

Fig. 8 Prove penetrometriche statiche. Cone penetration tests.

Fig. 9 Carta di plasticità. Plasticity Chart.

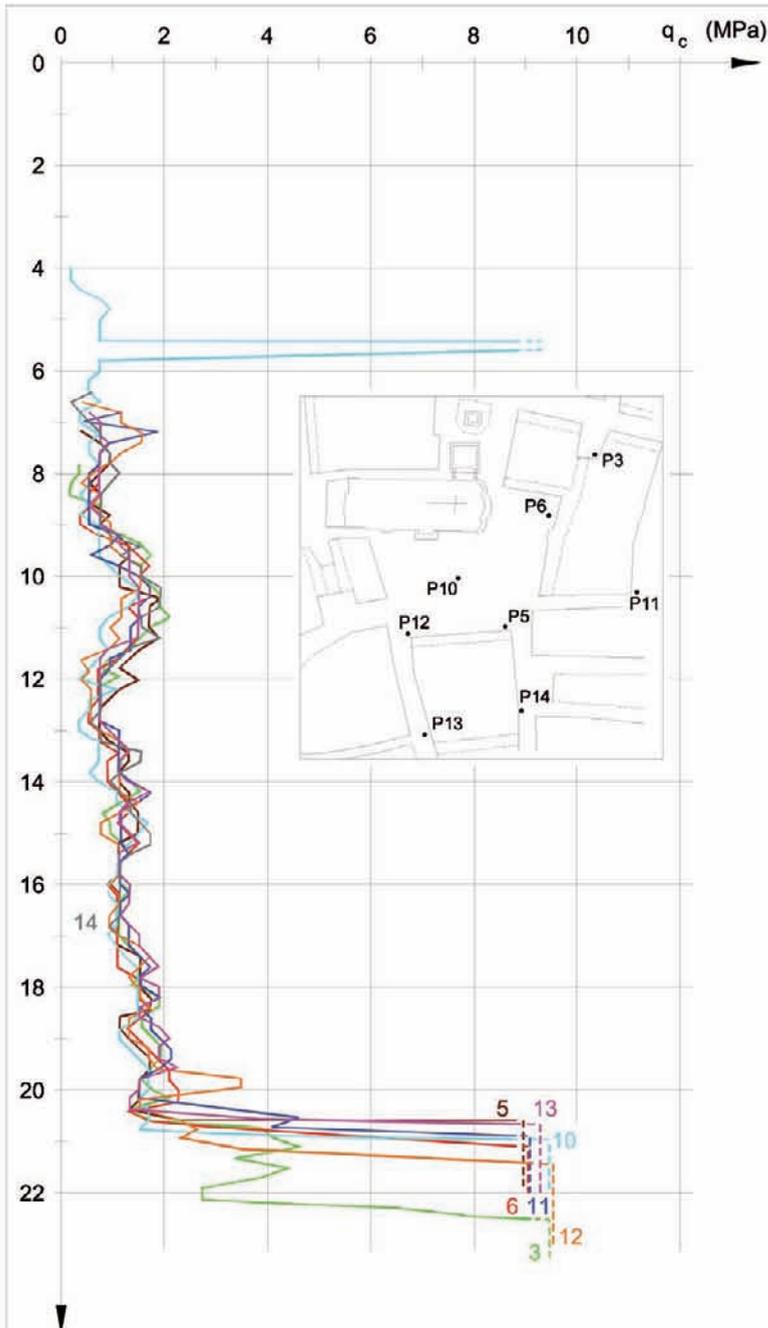


Fig. 7

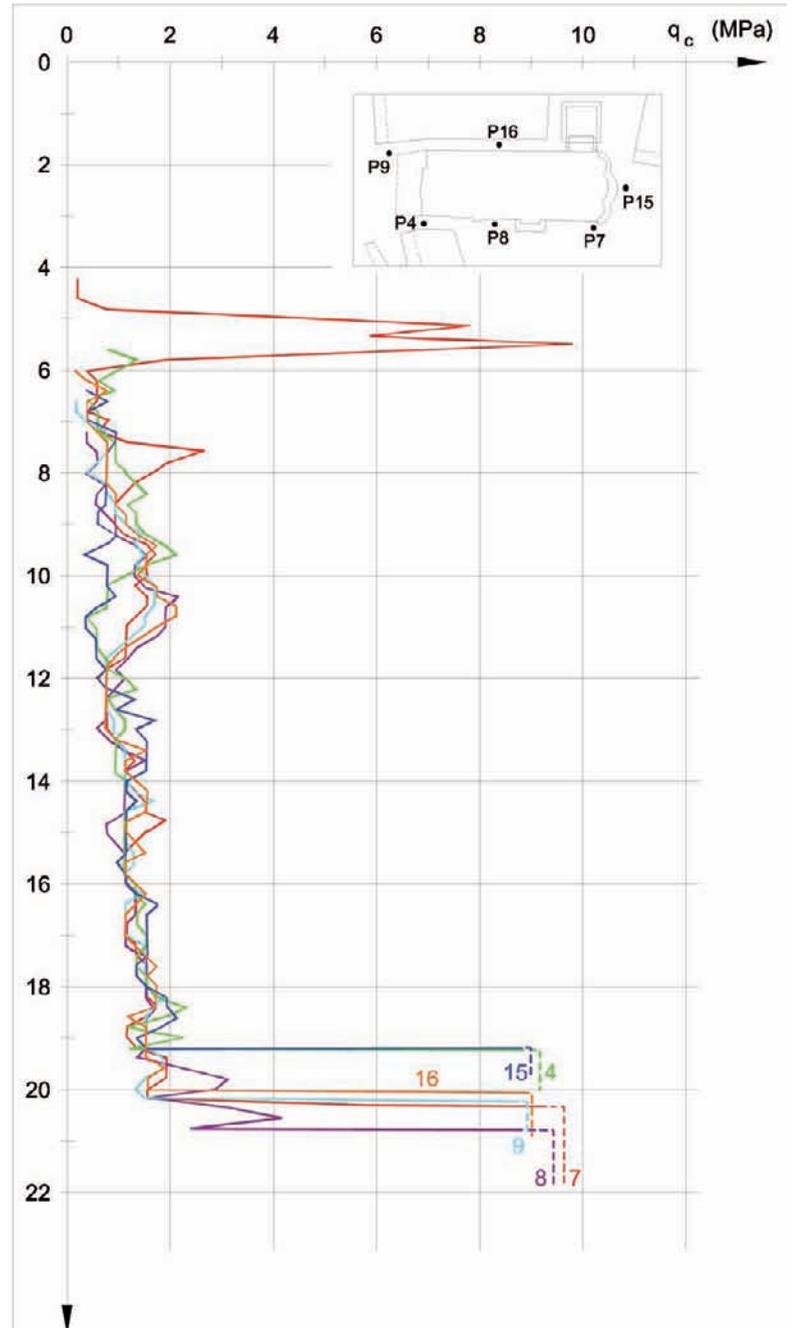


Fig. 8

Tenuto conto dell'ambiente di deposizione, le suddette alternanze di livelli normalconsolidati e sovraconsolidati possono spiegarsi con una fase di temporanea emersione dello strato superficiale, e quindi di essiccamento, seguita da copertura di nuovi sedimenti. In alcuni livelli è inoltre presente una pedogenesi diffusa, anche se poco marcata, con sviluppo notevole di calcinelli e concrezioni. Le suddette analisi sono state infine integrate con l'esecuzione di prove cross-hole (figg. 5 e 6), effettuate utilizzando i fori dei sondaggi S1 (PG), S2 (PG) e S3 (PG), sia allo scopo di caratterizzare l'orizzonte compreso tra 21,40 e 36 m, costituito da materiali a grana grossa dei quali non è possibile ottenere campioni indisturbati con le usuali tecniche di campionamento, sia per approfondire gli aspetti legati alla struttura delle diverse unità. Tale struttura, che è il risultato finale di processi di sedimentazione e di processi diagenetici, la cui evoluzione dipende dall'ambiente di deposizione, dalle condizioni climatiche, dalla composizione e tessitura dei sedimenti, influenza in maniera particolare la risposta dei materiali a piccoli livelli deformativi, sicché per ottenere attendibili informazioni sui moduli di deformazione è necessario ricorrere a tecniche di indagine non invasive, quali le tecniche geofisiche adoperate in questo caso.

Finally, the geotechnical activity has been complemented with the execution of cross-hole tests (see Figs. 5 and 6). In this respect, we would like to mention that shallow seismic exploration tests of soils represent an important class of field tests because of their non-invasive character. This allows preservation of the initial structure of soil deposits as well as the influence of all diagenetic phenomena contributing to a stiffer mechanical response. Soils are tested at small strain level, i.e. less than 10-3%, and a reasonable assumption is to analyze the results of these tests by referring to the wave propagation theory in elastic materials. Therefore, the cross-hole test represents one of the most reliable methods of determining the shear modulus at small strain amplitude.

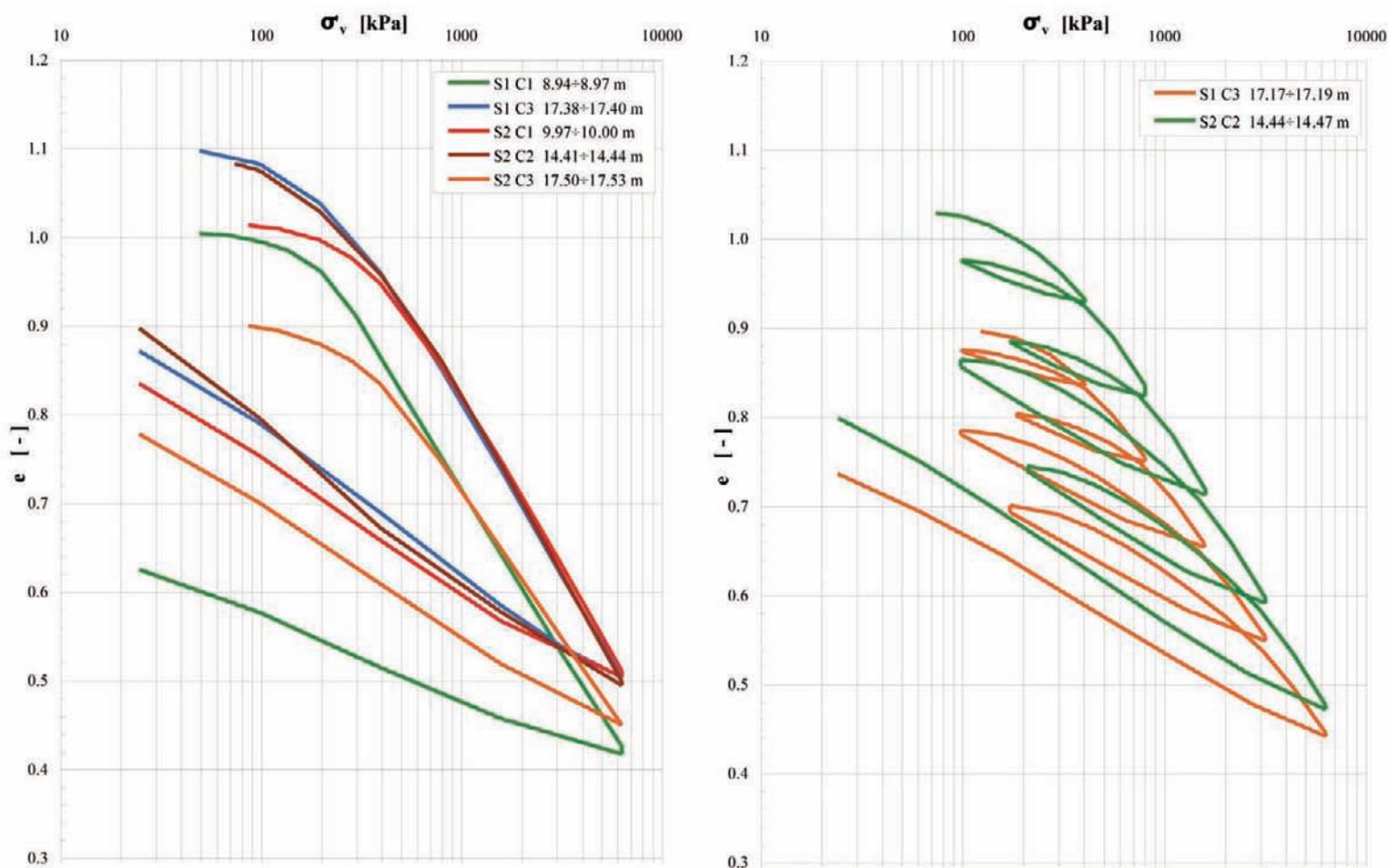
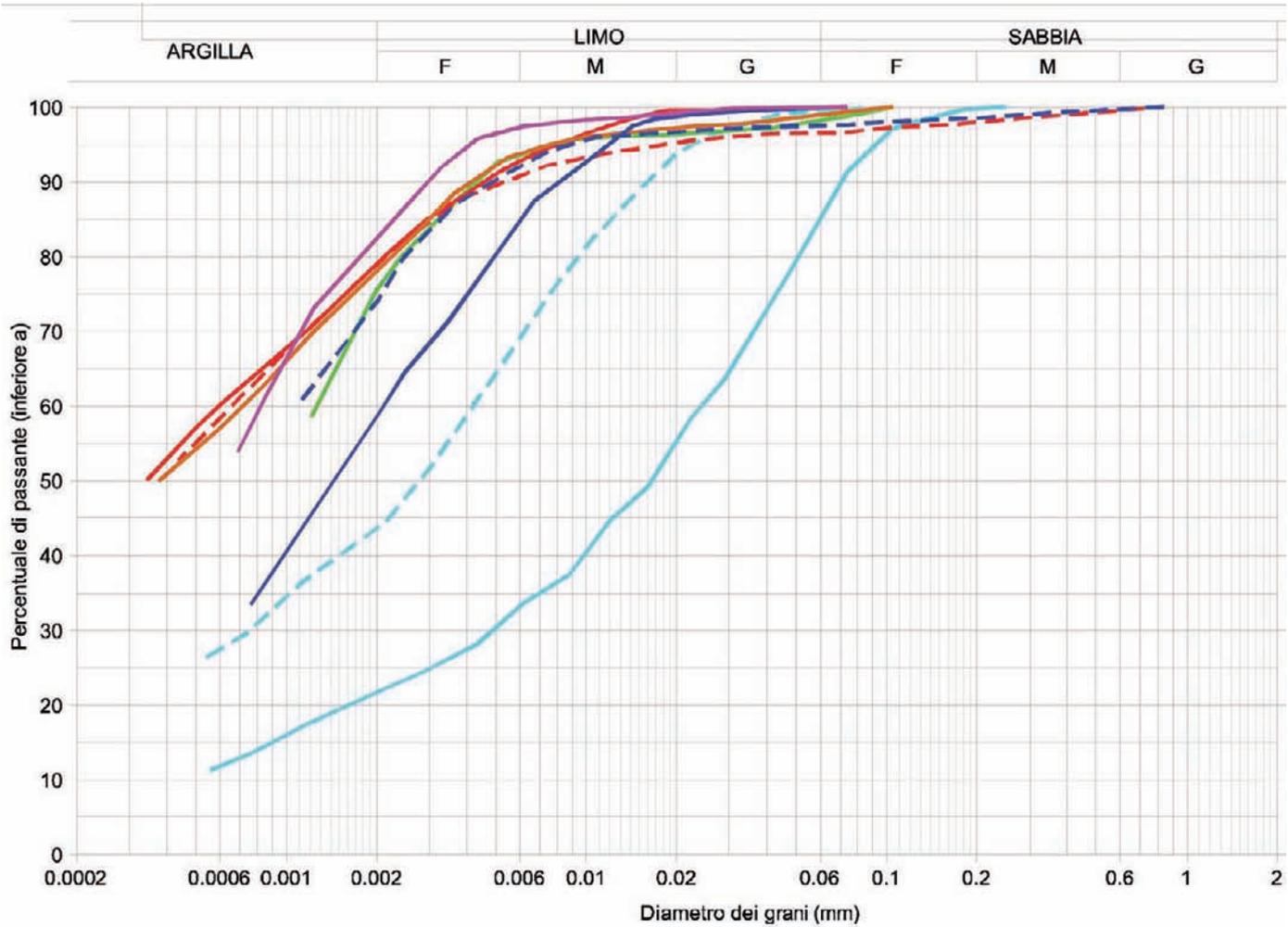


Fig. 11



	Sond. N.	Camp. N.	Prof. dal p.c. m	% Sabbia	% Limo	% Argilla	Descrizione
	1	1	8.60+8.78	15.0	63.3	21.7	Limo argilloso sabbioso di colore grigio
	1	1	8.78+9.10	0.6	55.7	43.7	Limo con argilla di colore grigio
	1	2	13.50+13.60	-	21.0	79.0	Argilla limosa di colore grigio-marrone con tracce di materiale organico
	1	2	13.60+13.80	3.4	17.6	79.0	Argilla limosa di colore grigio scuro
	1	3	17.15+17.40	1.8	22.7	75.5	Argilla limosa di colore grigio
	2	1	9.80+10.30	1.1	20.8	78.1	Argilla limosa di colore grigio
	2	2	14.00+14.35	-	41.4	58.6	Argilla con limo di colore grigio chiaro con tracce di materiale organico
	2	2	14.35+14.50	2.5	23.5	74.0	Argilla limosa di colore grigio scuro con rari frammenti di torba
	2	3	17.00+17.50	-	17.6	82.4	Argilla limosa di colore grigio scuro con rare tracce di materiale organico

Fig. 10

Fig. 10 Curve granulometriche.
Grain size distribution curves.

Fig. 11 Curve di compressione edometrica.
One-dimensional compression curves.

Per completare il presente contributo giova riprendere i profili stratigrafici riportati in fig. 4 per mettere in evidenza ancora due aspetti. Il primo riguarda la profondità del tetto dell'orizzonte argilloso superiore, al di sotto dell'unità di Modena. I sondaggi S1 (PG), S2 (PG), S2(T), S1(PT) indicano una profondità di 6,60-6,80 m dall'attuale piano campagna, mentre i sondaggi G1 e G5, che si spingono sotto la torre, collocano tale tetto a 8,35-8,40 m. Tale differenza indica che il contributo al cedimento della torre dovuto agli strati collocati al di sotto della profondità di 6,70 m potrebbe stimarsi mediamente pari a 1,70 m. Il secondo aspetto riguarda l'omogeneità stratigrafica in senso orizzontale, evidenziata non solo dai sondaggi ma anche dalle prove penetrometriche statiche (si vedano le figg. 7 e 8), che conduce ad attribuire la pendenza della torre alla presenza della cattedrale ed è all'evoluzione nel tempo di questa interazione che rimane legata la conservazione del complesso torre-cattedrale.

Back to the general picture presented in Fig. 4: there are still two observations that are of some interest. First, by considering the alluvium upper surface, just underlying the Roman era level, we find this level at a depth of 6.6 to 6.8 m below the ground level (see boreholes S1(PG), S2(PG), S2(T), S1(PT)), whereas the boreholes G1 and G5 give a value of 8.35 to 8.40 m. This difference could suggest a contribution of the order of 1.70 m to the settlement of the Tower, due to the

compressibility of soil layers lying below this surface. Second, the soil profile appears to be horizontally homogeneous within the area of interest (this observation is further corroborated by the cone resistance profiles referred to in Figs. 7 and 8), which means the tilt of the Tower has to be linked to the presence of the Cathedral, and the preservation of the whole Tower-Cathedral is dependent upon the evolution of this interaction.

Tab. 1 Proprietà indice e compressibilità delle argille del primo orizzonte. Index properties and soil compressibility of upper clay layer.

Legenda
z: profondità dal p.c. (depth below ground level)
 γ, G_s : peso dell'unità di volume e densità specifica dei granuli (unit bulk weight and specific gravity of soils)

w_N, w_L : contenuto d'acqua naturale e limite liquido (natural water content and liquid limit)
PI: indice di plasticità (plasticity index)
 $CaCO_3$: contenuto di carbonato di calcio

(calcium carbonate content)
 e_0 : indice dei vuoti iniziali (initial void ratio)
 σ_p, C_c : tensione di preconsolidazione e indice di compressibilità (yield stress and compressibility index).

Tab. 1

Sondaggio Borehole	Campione Sample	z (m)	γ (kN/m ³)	G_s (-)	w_N (%)	w_L (%)	PI (%)	$CaCO_3$ (%)	e_0 (-)	σ_p (kPa)	C_c (-)
S1/07	C1	8.94	18.2	2.74	36.3	57.8	28.9	20	1.010	200	0.37
S2/07	C1	9.97	18.4	2.77	36.3	101.5	61.3	7.7	1.015	400	0.38
S2/07	C2	14.41	17.9	2.72	40.4	89.5	54.8	25.3	1.088	347	0.40
S2/07	C2	14.44	18.3	2.72	39.1	89.5	54.8	-	1.030	333	0.39
S1/C3	C3	17.17	18.9	2.77	32.5	85.1	52.1	-	0.898	447	0.34
S1/07	C3	17.38	18.0	2.77	39.3	85.1	52.1	22.4	1.098	300	0.39
S2/07	C3	17.50	18.8	2.74	32.9	94.2	59.1	12.3	0.901	447	0.33

Tab. 2 Prove triassiali CIU Resistenza al taglio non drenata delle argille del primo orizzonte. Consolidated-undrained triaxial tests. Undrained strength of upper clay layer.

Legenda:
z: profondità dal p.c. (depth below ground level)
 σ_c, S_u : tensione di consolidazione e resistenza non drenata (isotropic consolidation stress and undrained strength).

Tab. 2

Sondaggio Borehole	Campione Sample	z (m)	σ_c (kPa)	S_u (kPa)
S1/07	C1	9.97	140	87.5
S2/07	C1	10.3	500	165
S2/07	C1	10.11	700	201.7
S1/07	C2	13.60	200	78.4
S1/07	C2	13.71	400	137.5
S2/07	C2	14.47	500	141.65
S1/07	C3	17.30	240	98.9
S2/07	C3	17.42	650	192.7

Tab. 3 Prove di colonna risonante. Valori del modulo di taglio iniziale delle argille del primo orizzonte. Resonant column tests. Initial shear modulus of upper clay layer.

Legenda:
 e_c : indice dei vuoti al termine della consolidazione (void ratio at the end of consolidation phase)
 σ_c, G_0 : tensione di consolidazione e modulo di taglio iniziale (consolidation stress and initial shear modulus).

Tab. 3

Sondaggio Borehole	Campione Sample	z (m)	e_c (-)	σ_p (kPa)	G_0 (MPa)
S1/07	C1	8.83	0.940	100.60	55
S1/07	C3	17.19	0.886	184.49	55
S2/07	C3	17.12	0.899	349.44	70
S2/07	C3	17.22	0.97	500.57	68
S2/07	C3	17.32	0.848	699.39	88

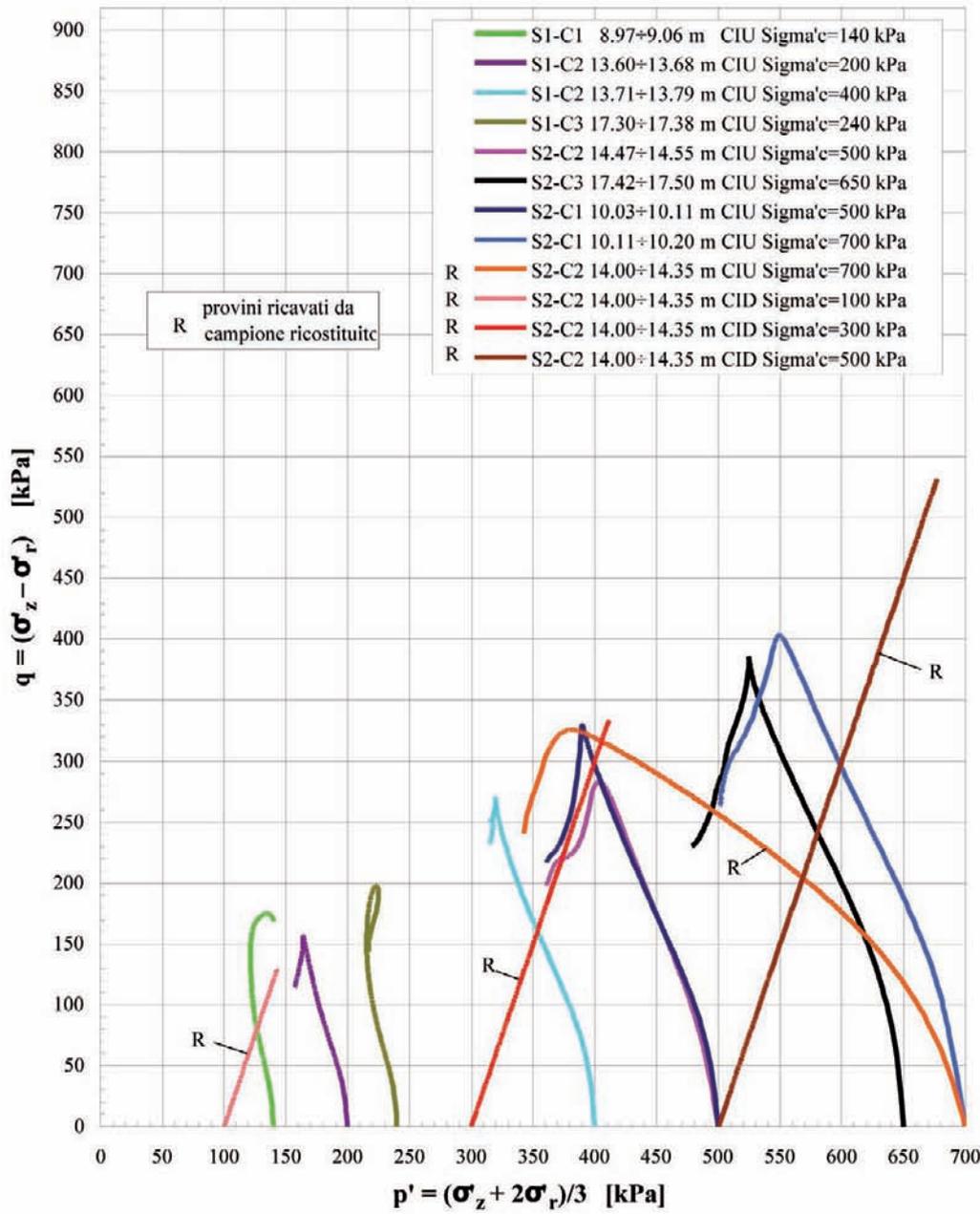


Fig. 12 Prove triassiali CIU e CID. Triaxial tests CIU and CID.

Fig. 13 Curve di decadimento del modulo di taglio da prove di colonna risonante. Resonant column tests: decay of shear modulus with strain level.

Fig. 12

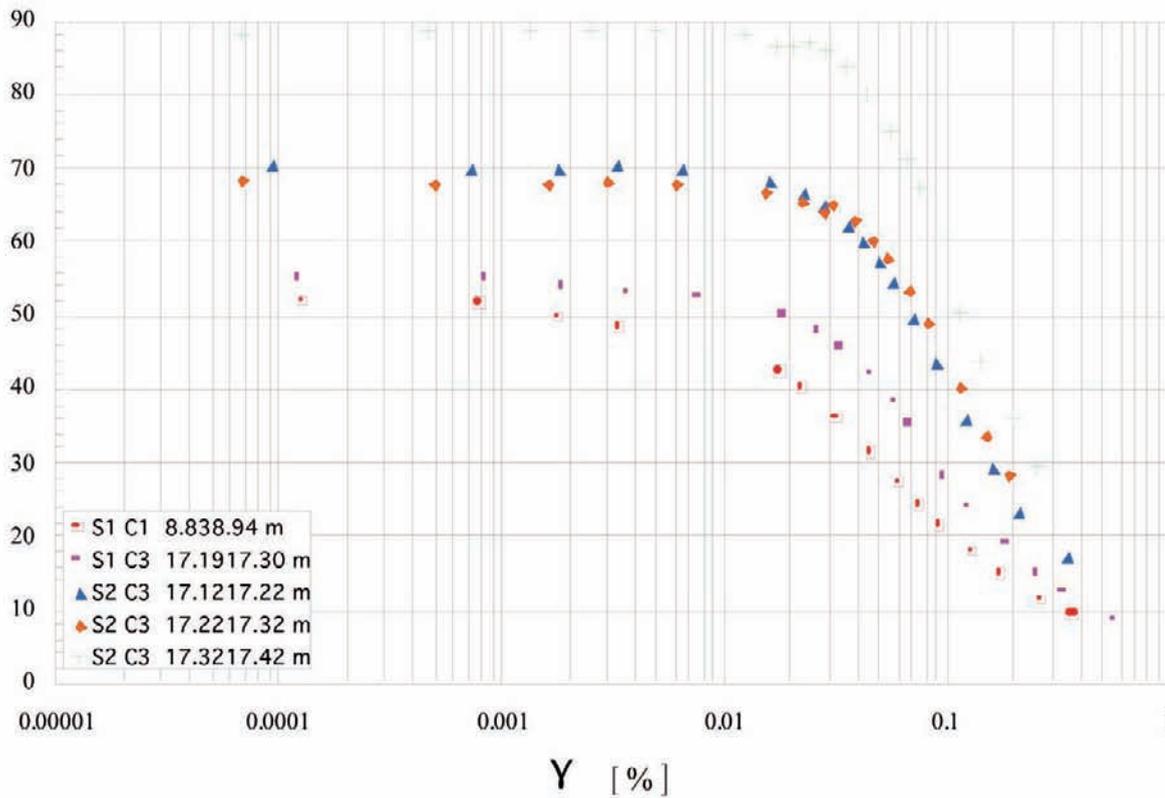
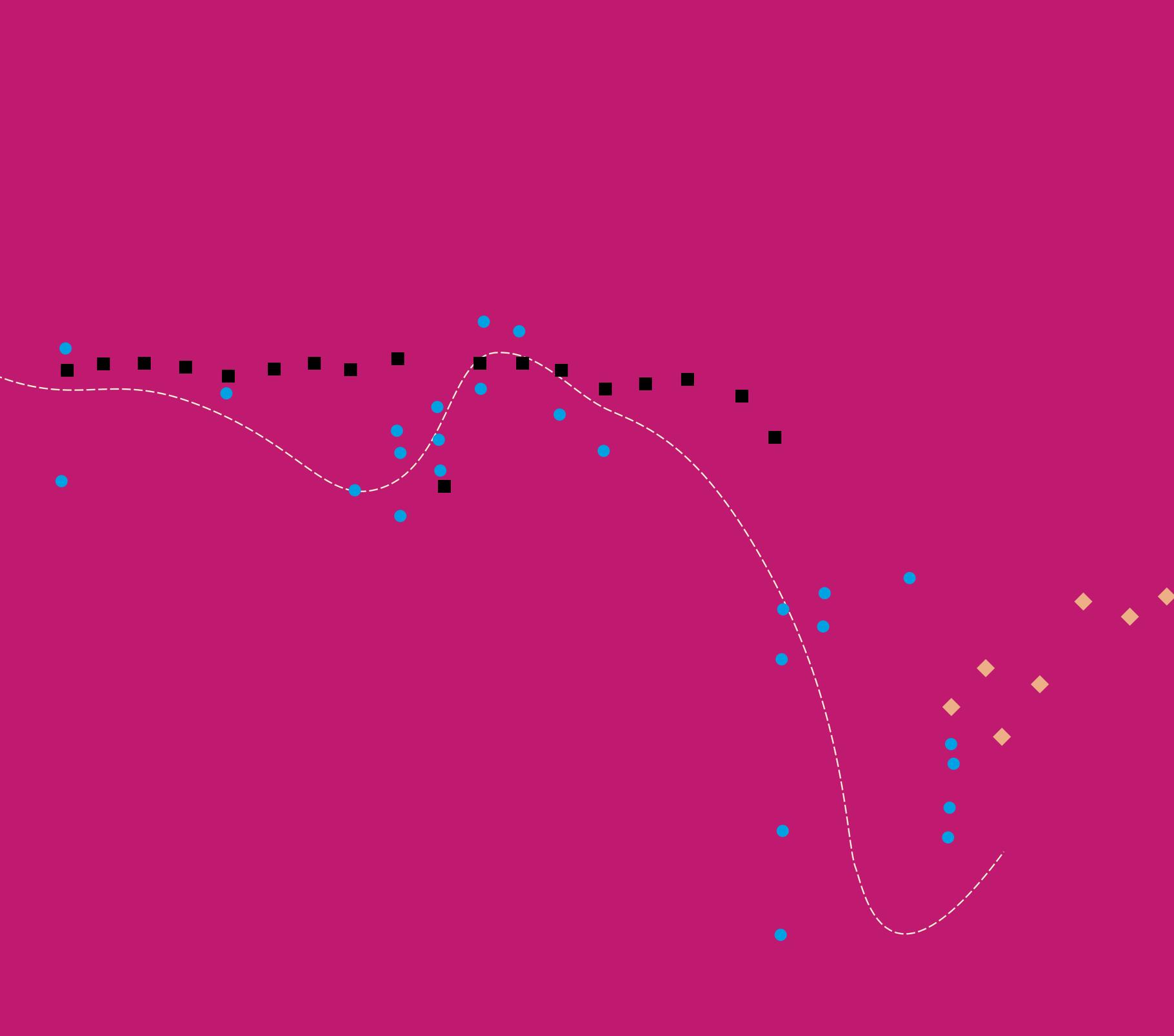


Fig. 13

I DATI DEL MONITORAGGIO PER LA COMPrensIONE DEI MOVIMENTI DELLA TORRE GHIRLANDINA THE ROLE OF MONITORING TOWER MOVEMENTS

Carlo Blasi, Alessandro Capra, Eva Coisson, Renato Lancellotta



Introduzione

I sistemi di monitoraggio automatico hanno avuto un notevole sviluppo negli ultimi decenni, anche se i sistemi manuali di “spie” e “testimoni” in pietra, in vetro o in stucco, così come i fili a piombo, sono da sempre strumenti utilizzati dai costruttori per il controllo nel tempo della stabilità degli edifici. Per comprendere a pieno le molteplici potenzialità dei monitoraggi moderni, soprattutto se applicati a una torre snella come la Ghirlandina e con un notevole strapiombo, è forse utile premettere all’analisi dei risultati alcune considerazioni generali.

I sistemi di controllo nel tempo non devono, infatti, essere considerati come semplici strumenti di controllo del comportamento attuale e di allarme quando i dissesti raggiungono valori di rischio, ma vanno considerati strumenti di studio e di conoscenza da associare a tutto l’insieme delle informazioni che sono indispensabili per identificare il comportamento di una struttura e, ancor più, per prevederne eventuali modificazioni.

I sistemi di monitoraggio degli edifici storici hanno come obiettivo primario quello di stabilire le correlazioni nel tempo tra azioni e risposte delle strutture e da ciò deriva che tali sistemi devono provvedere alla misura delle azioni oltre che delle risposte. Le misure devono inoltre coprire periodi temporali significativi per riuscire a cogliere i fenomeni lenti, per identificare le conseguenze delle variazioni termiche giornaliere e stagionali, per cogliere gli effetti delle alterazioni dell’ambiente circostante e per misurare le risposte a eventi rari o traumatici come per esempio piccoli o grandi terremoti.

I cinque anni di monitoraggio della Ghirlandina costituiscono pertanto un intervallo di tempo significativo, ma non certo esaustivo (e alcune incertezze di seguito esposte lo confermano), che ha permesso di cogliere, per esempio, la risposta all’evento sismico del dicembre 2008, ma che non consente di formulare risposte definitive. In tal senso i risultati esposti in questo capitolo sono da considerarsi come dati di un percorso in evoluzione.

Necessario è anche l’inserimento di tali dati nel contesto temporale più ampio della vita del monumento, che inizia con la costruzione dell’opera. Le fabbriche storiche devono infatti essere studiate come degli “esperimenti” su dei prototipi, in scala al vero, che nel tempo hanno subito sollecitazioni varie, sia lente che traumatiche: l’obiettivo è quello di ricostruire l’esperimento, identificando la situazione di partenza, le azioni, le risposte e la situazione finale attuale. Il monitoraggio moderno costituisce pertanto solo l’ultima parte di un monitoraggio storico, da realizzare sia sulla base dei documenti d’archivio, sia dei dati che lo stesso monumento può fornire.

Introduction

There has been an increasing growing of automated monitoring systems in recent years, although simple procedures, such as the plumb-line, have always been used by builders to control the stability of the construction. In order to appreciate the potential of modern systems, when applied to a slender and leaning tower, as the Ghirlandina,

it is important to outline that the monitoring does not simply represent a tool to check on the actual behaviour or to highlight the approach of a threshold or alarming value, but the monitoring has to be considered a powerful tool of knowledge as well.

For this reason, it is important to establish a correlation between the actual monitoring data with those deduced from the reconstruction of the history of the monument.

In this respect, provided that we are able to reconstruct all the stages of the construction (including corrections, temporary safeguarding measures and so on), the actual monitoring can be viewed as the final stage of a long-term historical monitoring.

This connection between the history of the monument and the actual monitoring will be more evident if the reader will correlate the data of this chapter with those presented in the chapter devoted to the history of the construction.

Per una torre inclinata come la Ghirlandina il maggior rischio deriva dall'inclinazione stessa e dal rapporto terreno-struttura ed è evidente come la misura dello strapiombo e la misura di tutti i parametri geotecnici (i parametri meccanici del terreno, i cedimenti, i fenomeni di subsidenza) costituiscano gli aspetti principali del monitoraggio, da associare a tutte le variazioni al contorno.

I dati contenuti in questo capitolo devono essere pertanto correlati a quelli contenuti nel capitolo dedicato all'evoluzione dei dissesti per avere una visione completa dei principali fenomeni fin dall'inizio della costruzione. La torre, infatti, non ha una forma rettilinea, perché i dissesti si sono manifestati fin dall'edificazione dei primi piani e la forma attuale è il risultato di successive correzioni in corso d'opera, via via che si decideva una nuova sopraelevazione. In tal senso il monitoraggio attuale, il monitoraggio storico e la forma stessa della torre costituiscono aspetti diversi di un unico fenomeno inscindibile.

Per quanto riguarda in particolare i sistemi di monitoraggio dei fenomeni geotecnici, si può inoltre notare come sia sempre più attuale la necessità di proteggere i monumenti a causa di movimenti del terreno indotti da fenomeni di subsidenza naturale o, soprattutto, di natura antropica, da oscillazioni di falda, da scavi e da infrastrutture e opere in sotterraneo realizzate in prossimità della superficie, perché questi fenomeni, conseguenti alle notevoli alterazioni che subiscono le nostre città, sono sempre più rilevanti. Lo scenario che si pone è in genere alquanto complesso, a causa del concorso di molte componenti, e l'identificazione delle principali cause richiede un attento programma di monitoraggio.

Non è infatti possibile, in assenza di un piano di monitoraggio, individuare correttamente l'entità dei movimenti e la loro evoluzione nel tempo e cogliere l'eventuale urgenza di interventi.

E si evince anche la necessità che tale piano sia concepito con ridondanza, in modo da avere il conforto di più fonti per gli aspetti di maggiore criticità e l'esigenza di avere dati che coprano un significativo intervallo di tempo per i motivi già illustrati.

Muovendo da queste considerazioni, lo scopo del presente capitolo è quello di richiamare sinteticamente le prime indagini effettuate alla fine del XIX secolo per studiare i movimenti della torre Ghirlandina, le implicazioni legate al fenomeno della subsidenza particolarmente marcato nella piana modenese e illustrare infine i risultati del piano di monitoraggio messo in essere a partire dalla fine del 2003.

When dealing more specifically with geotechnical aspects, it's clear that there is an increasing need for the safeguarding of monuments against ground movements related to natural or man-induced subsidence, groundwater oscillations, near-surface underground works and infrastructures. By considering the several components that play a potential role on induced movements, we reach the conclusion that we are dealing with such a complex scenario that we must have a monitoring program in order to identify the causes of the movement, its evolution with time, and the urgency of remedial measures. Moreover, we need to recognise the importance of some redundancy, so that different or duplicated devices or methods can help to clarify critical aspects, as well as the importance of careful long-term monitoring. This chapter is aimed at summarizing previous investigations on movements of the Ghirlandina tower made at the end of 19th century, discussing implications related to the pronounced subsidence of the Modena alluvial plain, and presenting the more recent results of the monitoring program held at the end of 2003.

Il fenomeno della subsidenza nella piana modenese e nella zona monumentale del centro storico di Modena

Come già evidenziato nel precedente capitolo dedicato agli aspetti geotecnici, a partire dal 1980 il Comune di Modena ha avviato una organica attività di studio del fenomeno della subsidenza.

Tali studi hanno mostrato come il livello piezometrico profondo si sia abbassato nel tempo a causa dei forti prelievi di acqua, stabilizzandosi dopo il 1970 a circa 10 m di profondità e sia risalito a 3-4 metri verso la fine degli anni '80, grazie alle iniziative del Comune di Modena volte a ridurre i prelievi di acqua, come documentano i dati riportati in fig. 1.

Considerata l'entità del fenomeno in esame, il Comune di Modena ha deciso di approfondire ulteriormente l'andamento dei movimenti verticali del terreno nella zona monumentale del centro storico, soprattutto allo scopo di investigare gli effetti di eventuali cedimenti differenziali sulla stabilità del Duomo e della torre Ghirlandina.

Gli studi per il monitoraggio dei movimenti verticali del suolo sono così ripresi a partire dal novembre 2007, a cura del dipartimento di Ingegneria meccanica e civile dell'Università di Modena, sotto la responsabilità scientifica del professor Alessandro Capra.

The subsidence of the Modena alluvial plain and of the monumental centre of Modena

As already mentioned in the previous chapter devoted to geotechnical aspects, since 1980 the Town Council of Modena has promoted studies and investigations related to the subsidence of the Modena alluvial plain (Russo, 1985; Cancelli, 1986; Cancelli e Pellegrini, 1984; Pellegrini e Zavatti, 1980; Righi, 1980). Significant changes of piezometric levels within the major aquifers occurred during the mid 1970s as a result of municipal water supply purposes, which lowered down to 10 m the original level, and the old town center experienced a subsidence phenomenon of up to 80 to 90 cm. This necessitated monitoring in order to reduce or prevent

further negative effects, so that the piezometric level of the two aquifers, ranging from 22 to 34 m and from 54 to 63 m, rose progressively at the end of 1980s to a depth of 4 m from ground level (see Fig. 1), whereas within the first horizon the groundwater level oscillated from depth of 1.50 to 1.2 m. Since the subsidence phenomenon was very pronounced, the Municipality of Modena decided to monitor the vertical movements within the historical area, with the aim of detecting the differential vertical displacements that were producing detrimental effects on the stability of the Cathedral and the Ghirlandina tower. These measurements started in

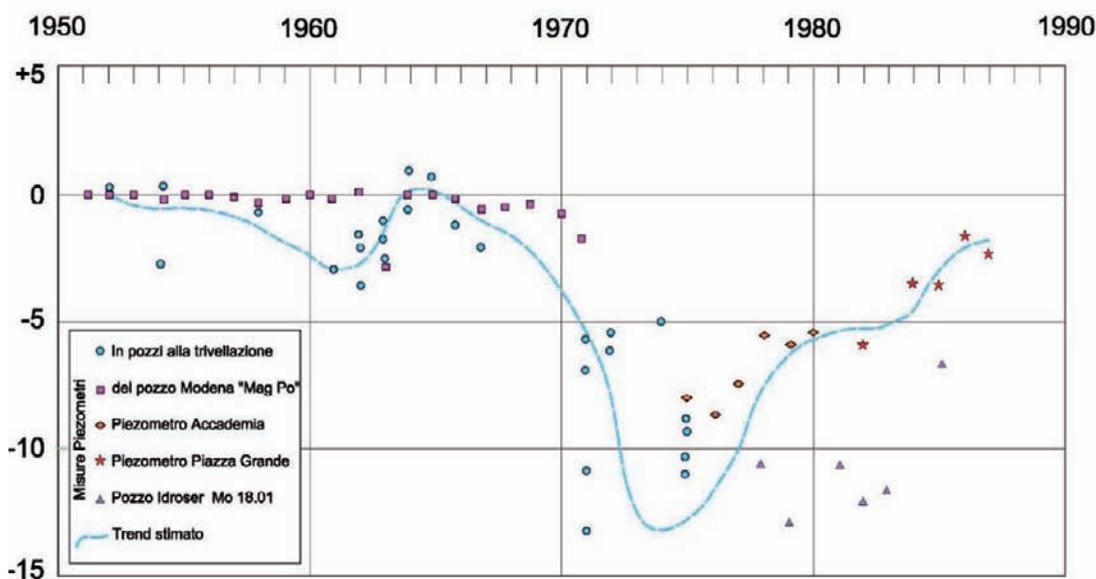


Fig. 1 Andamento piezometrico nel centro urbano della città di Modena. Evolution of piezometric level as measured within the Modena centre.

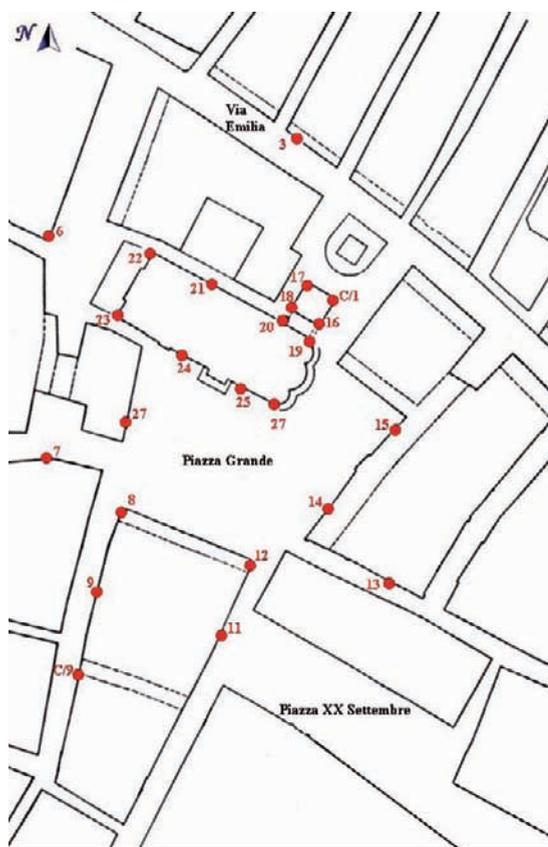


Fig. 2

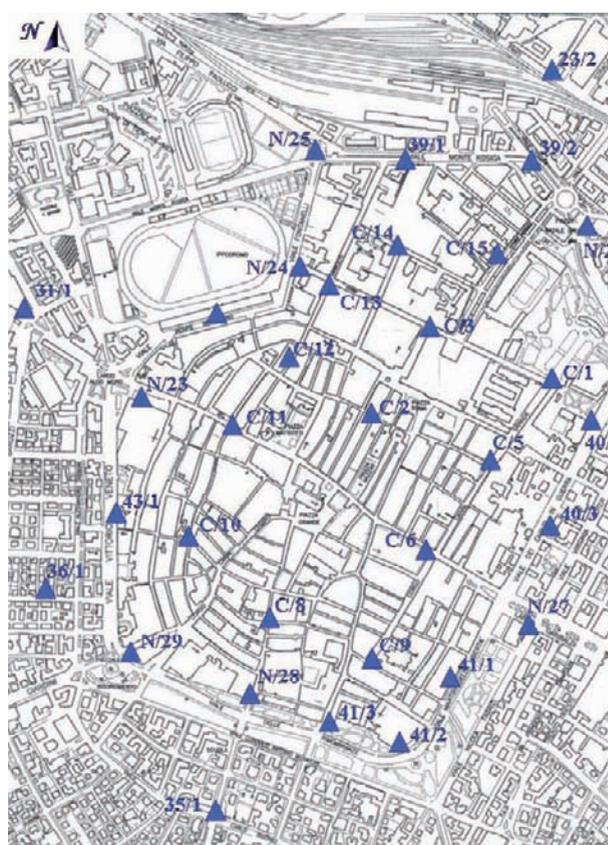


Fig. 3

Fig. 2 Rete altimetrica per il controllo della subsidenza del centro monumentale di Modena. High precision leveling network for subsidence monitoring in monumental centre of Modena.

Fig. 3 Rete altimetrica per il controllo della subsidenza del centro storico di Modena. High precision leveling network for subsidence monitoring in historical centre of Modena.

Fig. 4 Abbassamenti e effetti differenziali nel periodo da dicembre 1991 a novembre 2008 (sinistra) e da dicembre 2007 a novembre 2008 (destra). Valori in mm. Vertical displacements and differential effects from December 1991 to November 2008 (on the left) and from December 2007 to November 2008 (on the right). Values are in mm.

La rete altimetrica installata nel 1984, inizialmente costituita di 29 capisaldi, attualmente consta di 24 capisaldi (fig. 2) e viene rilevata attraverso livellazione geometrica di alta precisione (precisione di 0,1 mm nella determinazione dei dislivelli).

Vengono inoltre utilizzati due capisaldi che fanno parte della rete principale modenese (C/1 e C/9) e che consentono di inquadrare la rete all'interno della rete altimetrica del centro storico di Modena (fig. 3).

In particolare è possibile ricavare la quota assoluta dei capisaldi tramite il collegamento altimetrico dei suddetti punti con il caposaldo di riferimento detto del Pescale, collocato negli Appennini modenesi in area cosiddetta geologicamente stabile, che è il punto di emanazione delle quote dell'area di Modena.

Attualmente si dispone di tre rilievi completi della rete, effettuati rispettivamente nel dicembre 2007, aprile 2008 e novembre 2008. Lo schema di misure è sufficientemente ridondante da consentire il controllo di chiusura su diversi anelli, prima di procedere all'elaborazione e alla compensazione delle osservazioni; è stata ottenuta una precisione media di 0,1-0,2 mm nella determinazione delle differenze di quota in ogni campagna di misure.

November 2007, under the scientific responsibility of Professor Alessandro Capra, Department of Mechanical and Civil Engineering, University of Modena and Reggio Emilia. A high-precision levelling network made of 29 benchmarks was originally installed in 1984 and it is now comprehensive of 24 benchmarks (Fig. 2); it is surveyed with high level of precision (standard deviation of 0.1 mm in height difference determination).

Moreover, two benchmarks of the higher order levelling network of Modena area (C/1 and C/9) are used to refer the monumental centre network to the historical centre network

of Modena. (Fig. 3). Finally, it is possible to determine the benchmark absolute elevation through the altimetric connection of these points to a reference benchmark, the Pescale point, located in the Modena Appennines in a stable geological area. At present, three surveys of the whole monumental centre network have been performed, in December 2007, April and November 2008, respectively. The measurements pattern was sufficiently redundant in order to allow a closure control on several rings, before proceeding to data processing and network adjustment; an average precision of 0.1-0.2 mm in elevation



Fig. 4

I valori di quota ottenuti dalle misure di livellazione sono stati quindi confrontati con i valori misurati nelle precedenti campagne di livellazione: dicembre 1984 e febbraio 1988, a cura dall'assessorato ambiente e risorse del Comune di Modena, e con i rilievi del dicembre 1991, effettuati dall'Istituto di topografia, geodesia e geofisica mineraria dell'università di Bologna. Al fine di rendere omogeneo il confronto tra i diversi rilievi, le misure di quota sono riferite al caposaldo n. 12, che era stato utilizzato come caposaldo di riferimento anche nei precedenti rilievi. Questa ipotesi non crea alcun problema nell'interpretazione e visualizzazione dei risultati del presente lavoro, in quanto siamo soprattutto interessati all'analisi degli effetti differenziali dei movimenti verticali che sono i più importanti per le possibili conseguenze sulla stabilità delle strutture. Dal confronto tra le quote si sono determinati gli abbassamenti nel tempo riportati nella fig. 4, che denunciano un andamento nel tempo mediamente più lento nel periodo 1991-2007 rispetto al 1984-1991, come riscontrato nell'ambito del monitoraggio della subsidenza della piana alluvionale di Modena. In particolare la parte nord della rete, relativa alla Via Emilia, e la parte ovest si abbassano maggiormente rispetto al resto della rete e il lato est di Piazza Grande denuncia una minore velocità di abbassamento.

differences was obtained in each measurement set.

The obtained elevation values were compared with those obtained in December 1984 and February 1988, under the aegis of Environmental and Resources councilor of Modena, and in December 1991, made by Institute of Surveying, Geodesy and Mining Geophysics of University of Bologna.

In order to make a homogeneous comparison, the results are presented here in terms of relative elevation with respect to the benchmark 12, used as reference benchmark in all the previous surveys. This is justified by the fact that we are interested in

analyzing differential vertical displacements, which are the most important in affecting the structure stability.

The vertical displacements presented in Figure 4 show a velocity that, within the period from 1991 to 2007, is slower than that detected within the previous survey from 1984 to 1991, a result also confirmed by the subsidence monitoring of the Modena alluvial plane. The northern portion of the network, close to Via Emilia, and the west portion are moving at higher rate with respect to the other portions; the eastern side of Piazza Grande shows a slower rate of vertical movement. Measurements relative to

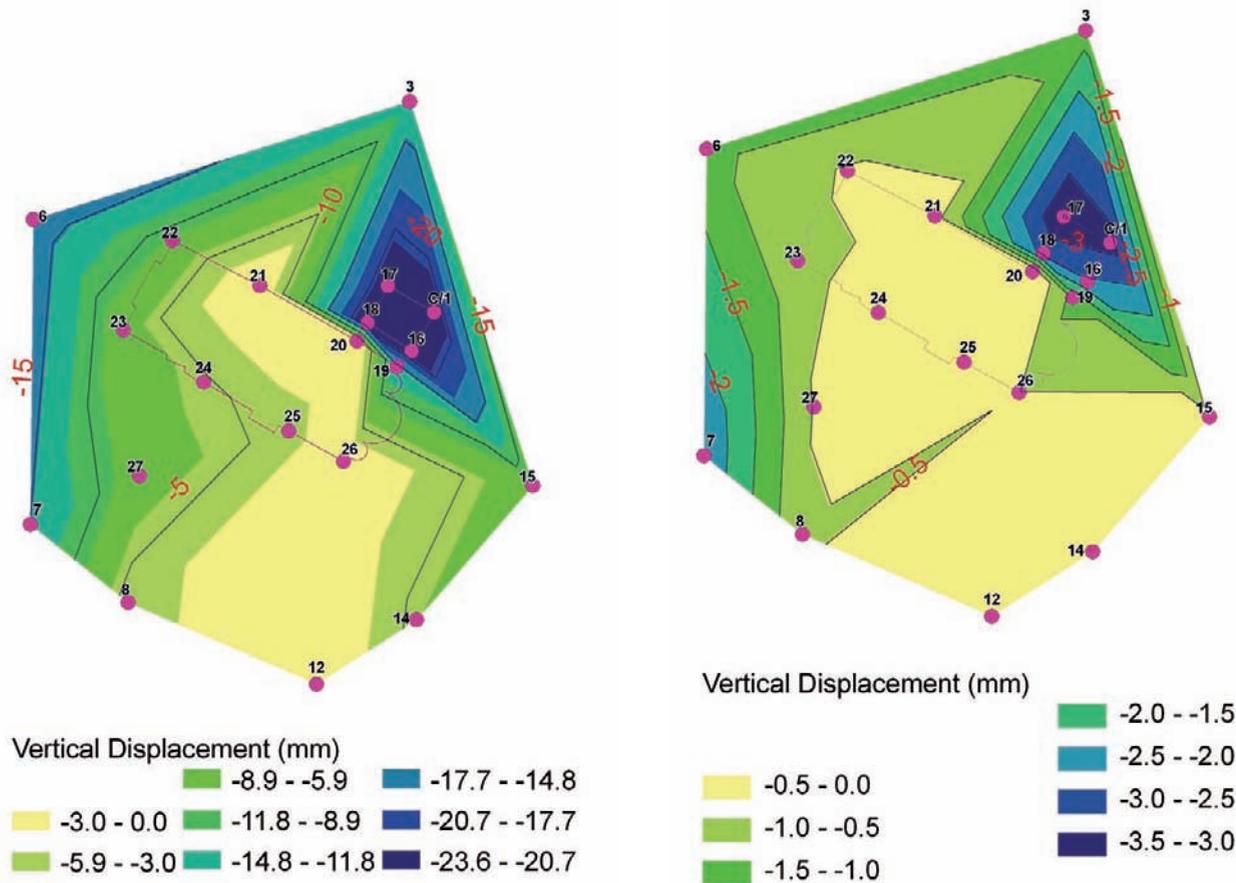


Fig. 5 Curve di livello degli abbassamenti relativi al periodo da dicembre 1991 a novembre 2008 (sinistra) e da dicembre 2007 a novembre 2008 (destra). Valori in mm. Countour of vertical displacements occurred from December 1991 to November 2008 (on the left) and from December 2007 to November 2008 (on the right). Values are in mm.

Fig. 5

La fig. 5 evidenzia poi in dettaglio l'andamento delle misure relative alla torre Ghirlandina e al Duomo. La torre presenta un cedimento più marcato rispetto a tutta l'area del centro, e gli abbassamenti maggiori, riferiti a un arco temporale di 17 anni, riguardano i lati verso il Duomo e verso sud-ovest. Il movimento appare in controtendenza nell'ultimo anno almeno per quanto riguarda la direzione nord-sud, ossia mostra una tendenza di abbassamento verso nord, confermata peraltro dalle misure del pendolo, discusse nel paragrafo 3.

Un'interpretazione di tali dati appare oggi particolarmente difficile, in considerazione sia del fatto che le ultime livellazioni coprono un arco temporale di appena un anno, sia dell'intervallo di 16 anni trascorso rispetto alle precedenti livellazioni. Non è dunque agevole comprendere se la tendenza osservata nell'ultimo anno sia un fatto episodico, eventualmente connesso ai lavori in corso anche nella cattedrale, se rientri in eventi ciclici legati a oscillazione della falda superficiale o sia l'effetto di una ripresa del fenomeno della subsidenza della zona del centro storico di Modena, caratterizzata da una maggiore velocità di abbassamento nella zona nord.

Ghirlandina Tower and the Cathedral are shown in detail in Fig. 5: the Tower exhibits a vertical displacement more pronounced than the surrounding area, with higher values relative to the south side (parallel to the Cathedral nave) and to the west side. The displacement pattern corresponds to a tilt from North to South over the long period of 17 years, whereas it appears to have reversed, i.e. from South to North, in the last year, as is confirmed by pendulum observations, which will be discussed later. Obviously, a time interval of one year is a very short period and the lack of observations over 16 years does not allow for any definite

interpretation of the measurements, so that we cannot say whether what has been observed during the last year is just a cyclic event, or it is the effect of movements induced by the subsidence. Presuming that additional measurements will corroborate the observed actual trend, we should derive the conclusion that the subsidence in the historical centre of Modena is increasing; therefore, by considering that the vertical displacement velocity is higher in the northern part, a sort of dragging effect on the Tower towards the north could be prevailing over more localized effects.

Comportamento ciclico e di lungo periodo della torre

Alla fine del XIX secolo il Comune di Modena affidò a Silvio Canevazzi, professore nella Scuola di applicazione degli ingegneri di Bologna e a Francesco Cavani, professore di Geometria pratica all'Università di Bologna, gli studi sulla stabilità e sulla pendenza della torre.

Il Cavani nella sua relazione del 1903 ricorda come la pendenza del solo asse della torre fosse stata determinata nel 1898 dall'ingegnere Eugenio Marchi dell'ufficio tecnico comunale di Modena, per mezzo di due fili a piombo.

Alla fine dei suoi rilevamenti, effettuati con un teodolite, aveva concluso: "L'asse della torre è inclinato alla verticale di un angolo che può ritenersi di $1^{\circ} 14' 16''$ ".

Sempre nella stessa relazione era stato osservato come i vari tratti dell'asse della torre fossero caratterizzati da inclinazioni diverse e come il piano delle campane presenti l'inclinazione minore.

Ravvisata la necessità di approfondire l'andamento periodico dei movimenti della torre, soprattutto in relazione alla sua interazione con la cattedrale, a partire dalla fine del 2003 l'inclinazione della torre è stata misurata con continuità tramite un pendolo della lunghezza di 23 m, ancorato superiormente in corrispondenza della loggia dei torresani.

Il filo a piombo è in lega di invar, per limitare le dilatazioni termiche, e la misura della posizione del filo viene effettuata tramite un telecoordinometro che oltre a rendere possibile l'automazione delle letture garantisce di apprezzare il centesimo di millimetro.

La possibilità di disporre di registrazioni continue consente di effettuare osservazioni ripetute anche nell'arco della giornata e disponendo di misure che coprono attualmente un intervallo temporale di circa cinque anni, è possibile iniziare a formulare alcune considerazioni sui movimenti ciclici e di lungo periodo della torre.

Con riferimento alle figg. 6 e 7 si può notare come l'inclinazione della torre descriva cicli giornalieri legati all'insolazione della superficie esterna.

Infatti la parete esposta al sole si dilata imprimendo alla torre una flessione che si traduce nella variazione di inclinazione registrata dal pendolo. Per tale motivo l'ampiezza del ciclo risulta diversa nei vari periodi dell'anno e nel caso in esame l'ampiezza massima è risultata contenuta entro un intervallo di circa 0,6 mm.

The cyclic and long period behaviour of the Tower

Investigations aimed at clarifying the stability of the Tower and measurements of the tilt began at the end of the 19th century.

In 1903, Professor Cavani (from the University of Bologna) reached the conclusion that the tilt was equal to $1^{\circ}14'16''$ and the vertical plane of tilt was more or less oriented along the northeast to southwest direction (actually the deviation from this direction was of about $7^{\circ}5'$ from southwest towards west).

Professor Cavani also proved that there is evidence that the Tower had begun to tilt during its construction, and that the ancient masons made some corrections accordingly (mainly during the construction of the sixth floor).

The Scientific Committee that met in 2007 realized the need to have a deeper knowledge about periodic movements of the Tower based on continuous records, so a plumb-line was installed in the Tower, suspended from the Torresani Loggia. The coordinates of the plumb-line at any location are read automatically by means of a telecoordinometro, which allows for the monitoring of both daily and seasonal movements, as well as the long period behaviour. Taking into account the coordinate system introduced in Fig. 6, it can be observed that the Tower experiences daily cycles, the amplitude of which depend on the season. However, the maximum measured amplitude is of the order of 0.6 mm (Fig. 7).

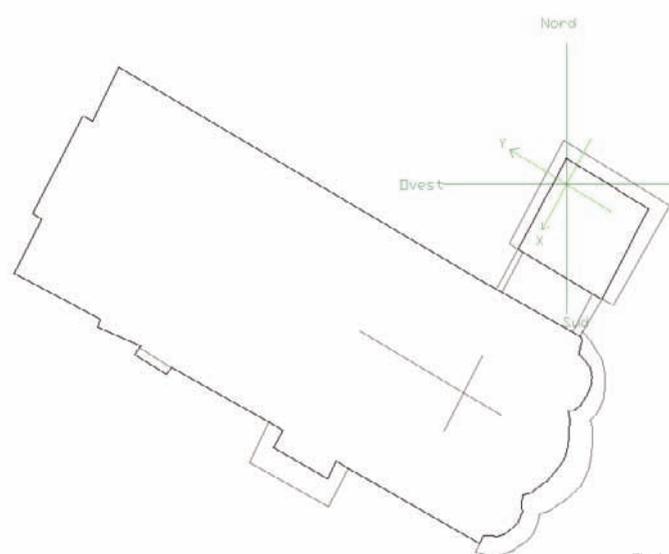


Fig. 6

Fig. 6 Convenzioni adoperate nella restituzione dei dati strumentali. Reference system used when representing data from plumb-line measurements.

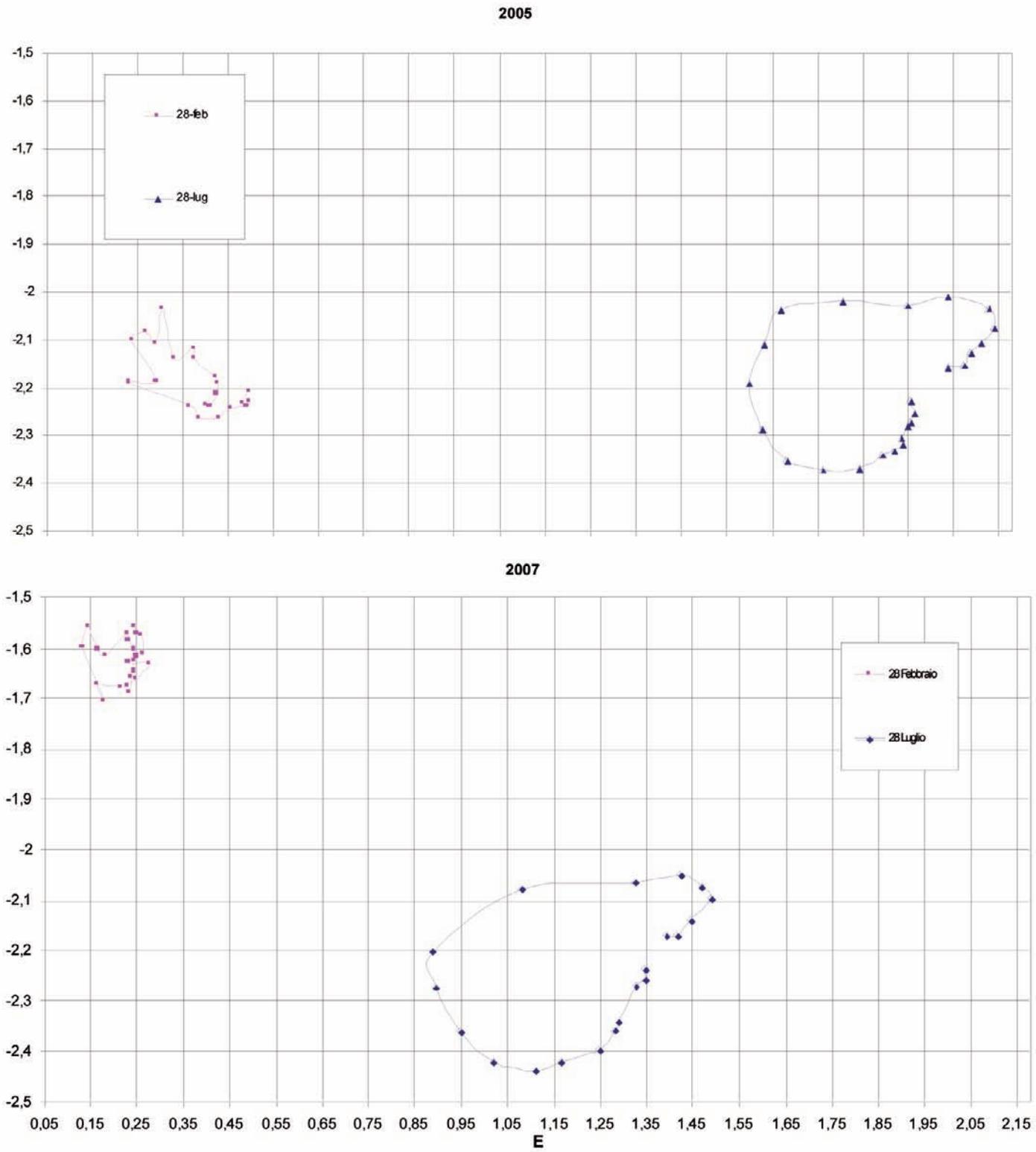


Fig. 7

Fig. 7 Esempi di cicli giornalieri
Examples of daily movements.

Questi movimenti giornalieri si sovrappongono, come illustrato in fig. 8, a cicli con periodicità annuale e a un comportamento di lungo periodo. Il comportamento di lungo periodo sembra attualmente denunciare un aumento della pendenza nel piano parallelo a via Lanfranco, di circa 0,5 mm/anno. Le oscillazioni della componente del moto ortogonale alla parete nord del Duomo risultano invece caratterizzate da ampiezze stagionali di minore entità, da differente periodicità e non sembrano denunciare un incremento di pendenza. Si potrebbe a tal proposito avanzare l'ipotesi che l'attuale periodicità del moto sia dominata dalla periodicità della componente parallela alla parete del Duomo, in virtù del vincolo esercitato dagli archi di collegamento torre-Duomo. I dati storici riportati nel capitolo sulle deformazioni sembrano indicare che prima degli interventi ottocenteschi, che hanno portato alla demolizione dei collegamenti con gli edifici a ovest, le rotazioni prevalenti fossero quelle verso sud (normali alla parete del Duomo). La lettura dei citati diagrammi pone l'interrogativo se i movimenti ciclici e stagionali della torre siano il risultato solo delle deformazioni della struttura della torre o in qualche misura anche di rotazioni della fondazione e conseguentemente di deformazioni cicliche del terreno. Il sistema di monitoraggio realizzato dalla ditta Agisco comprende, oltre al pendolo, anche sensori di misura dei cedimenti (estensimetri), del comportamento delle lesioni (misuratori di giunti), della temperatura (termometri) e della velocità e direzione del vento (gonioanemometro), disposti come illustrato in fig. 9. Gli estensimetri individuati dalle sigle E1, E2 e E3 sono resi solidali alla fondazione della torre, e gli estensimetri E4 e E5 alle fondazioni delle absidi del Duomo.

The long period trend appear to be more pronounced in the plane parallel to the side of the Cathedral, with a rate of about 0.5 mm/year, whereas in the plane orthogonal to the Cathedral side, there is not a definite trend and cyclic seasonal movements also appear to be less pronounced (Fig. 8). This general picture could suggest that the arches between the Tower and the Cathedral may act as a constraint for the Tower. A further aspect that deserves great attention is the possibility of a distinction between the movement of the structure and that of its foundation. The recording instruments (extensometers) recently installed at the base of the Tower (Fig. 9) provide some answers in regard to this issue, even if the available records (see Figs. 10, 11 and 12) do not allow for a definite conclusion.

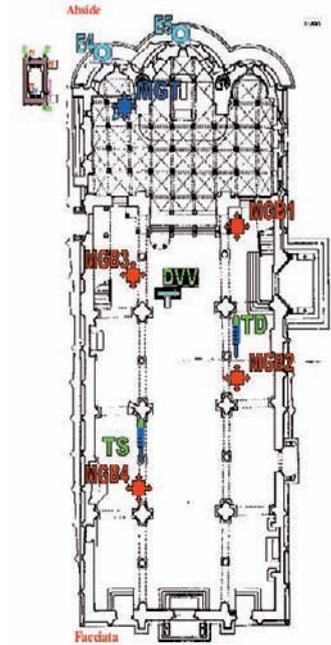


Fig. 9

- LEGENDA**
- Estensimetri
 - E1 Torre lato sud
 - E2 Torre lato sud
 - E3 Torre lato nord
 - E4 Duomo abside
 - E5 Duomo abside
 - Misuratori di giunti biassiali
 - MGB1 Duomo navata sinistra lato abside
 - MGB2 Duomo navata sinistra lato facciata
 - MGB3 Duomo navata destra lato abside
 - MGB4 Duomo navata destra lato facciata
 - Misuratori di giunti triassiali
 - MGT Duomo navata destra lato abside
 - Termometri
 - TS Interno Duomo navata destra
 - TD Interno Duomo navata sinistra
 - T1 Esterno torre lato est
 - T2 Esterno torre lato sud-ovest
 - T3 Interno torre
 - P1 Pendolo
 - DW Gonioanemometro posto sul tetto del Duomo

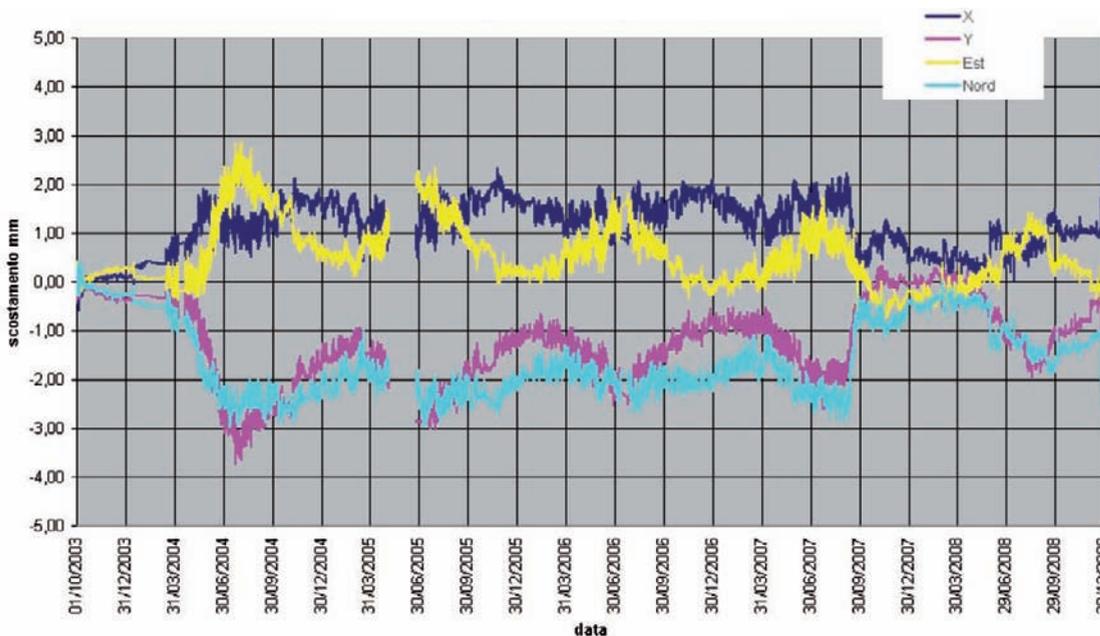


Fig. 8

Fig. 8 Comportamento della torre negli ultimi 5 anni.
Tower movements as observed through a plumb-line during the last five years.

Fig. 9 Pianta della strumentazione di monitoraggio installata nel Duomo e nella Ghirlandina nel 2003.
Location of the instrumentation installed in 2003

Essi forniscono una misura dei cedimenti rispetto alla loro base, collocata a 22 m dal piano campagna. La sensibilità strumentale è del centesimo di millimetro. Come può osservarsi dai dati riportati nelle figg. 10, 11 e 12, i movimenti rilevati tramite gli estensimetri installati alla base della torre, denunciano anch'essi una periodicità stagionale e un comportamento di lungo periodo. Nell'intervallo di tempo considerato, lo spigolo nord-est (E1, fig. 10) si è abbassato mediamente di 0,29 mm/anno, lo spigolo sud-est (E2 in fig. 11) di 0,5 mm/anno e lo spigolo sud-ovest (E3 in fig. 12) di 0,3 mm/anno. Questi andamenti non risultano tuttavia essere completamente in accordo con i dati della livellazione topografica. Confrontando infatti la differenza tra l'andamento medio dell'estensimetro E3 con quello dell'estensimetro E2 si dedurrebbe una rotazione verso est, mentre i dati della livellazione indicano una costante rotazione verso ovest; la differenza tra l'estensimetro E2 e l'estensimetro E1 concorda invece con l'andamento di lungo periodo indicato dalla livellazione, denunciando una modesta rotazione verso il Duomo. Queste discordanze possono trovare spiegazione nel diverso punto di riferimento considerato nei due metodi di misura: gli estensimetri considerano infatti come punto fisso la base posta a 22 m di profondità, trascurando quindi tutti i cedimenti che si verificano al di sotto di questa quota, che vengono invece colti dalla livellazione topografica.

Per completare il quadro dei dati di monitoraggio si osserva infine come l'interazione tra la torre e il Duomo sia testimoniata anche dai dati rilevati dai misuratori di giunto, che consentono di valutare nel tempo l'apertura e la chiusura di cinque lesioni all'interno della cattedrale, di cui due nella navata destra e tre nella navata sinistra (in particolare è presente un misuratore triassiale in corrispondenza di uno dei due archi di collegamento tra la torre e il Duomo). La sensibilità di questi strumenti raggiunge il centesimo di millimetro. La correlazione tra le variazioni di ampiezza delle lesioni, le variazioni termiche e altri movimenti rilevati denuncia un comportamento complesso. In genere l'apertura delle lesioni nelle costruzioni in muratura è sempre strettamente legata all'andamento della temperatura: normalmente a un aumento della temperatura consegue una dilatazione delle murature e quindi una chiusura delle lesioni. Questo non accade però per le lesioni del Duomo che, come mostrato in fig. 13, tendono ad aprirsi in estate e chiudersi in inverno. Questo comportamento sembrerebbe in effetti maggiormente correlabile ai movimenti del pendolo (e quindi all'inclinazione della torre) confermando la stretta interazione esistente tra i due monumenti.

Differences between the long period trend of the extensimeter E3 and E2 would suggest a base rotation towards the east, whereas the previously discussed topographic levelling suggest an opposite trend towards the west; by comparing the average trend of E2 and E1, a slight rotation towards south could be expected. Finally, in order to get some insight into the interaction between the Tower and the Cathedral, five major fissures in the interior of the Cathedral have been properly monitored, by using relative movement transducers. One of these is a triaxial displacement transducer, that makes it possible also to measure the out-of-plane relative movements; it has been located on North wall of the Cathedral in correspondence to the arches connecting the Tower and the Cathedral. Usually, fissures close due to expansion of the masonry when the temperature increases, but a reverse trend has been observed in the present case (see Fig. 13), since fissures open during hot seasons and close during winter. This trend suggests some correlation with the cyclic movements of the Tower, as detected with pendulum.

Fig. 10 Grafico dei dati rilevati dall'estensimetro E1 e relativa interpolazione: l'abbassamento medio così calcolato corrisponde a 0,3 mm/anno. Vertical movement measured by means of the extensometer E1: the average rate is about 0.3 mm/year.

Fig. 11 Grafico dei dati rilevati dall'estensimetro E2 e relativa interpolazione: il trend medio così calcolato corrisponde a uno sprofondamento di 0,5 mm/anno. Vertical movement measured by means of the extensometer E2: the average rate is about 0.5 mm/year.

Fig. 12 Grafico dei dati rilevati dall'estensimetro E3 e relativa interpolazione: il trend medio così calcolato corrisponde a uno sprofondamento di 0,37 mm/anno. Vertical movement measured by means of the extensometer E3: the average rate is about 0.37 mm/year.

Fig. 13 Grafico dei dati rilevati dal misuratore di giunto triassiale MGB3 in direzione y con relativa interpolazione: il trend medio così calcolato corrisponde a un'apertura della lesione di 0,02 mm/anno. Relative opening of the fissures on the North wall of the Cathedral, measured by means of the triaxial displacement transducer MGB3. The average rate is about 0.02 mm/year.

Fig. 10

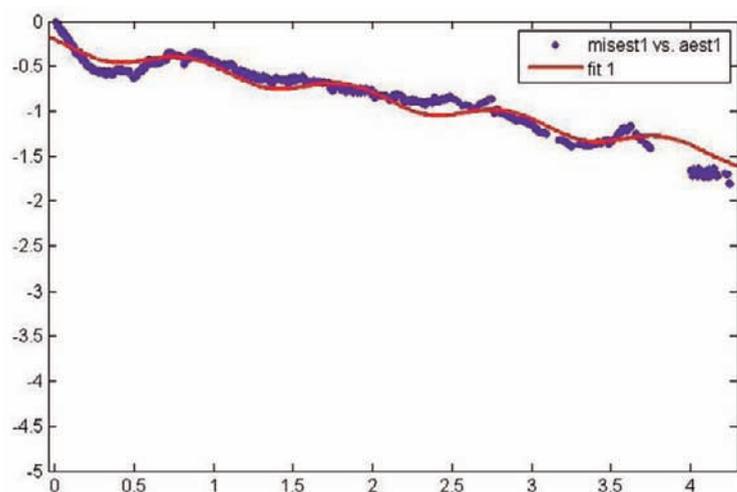


Fig. 11

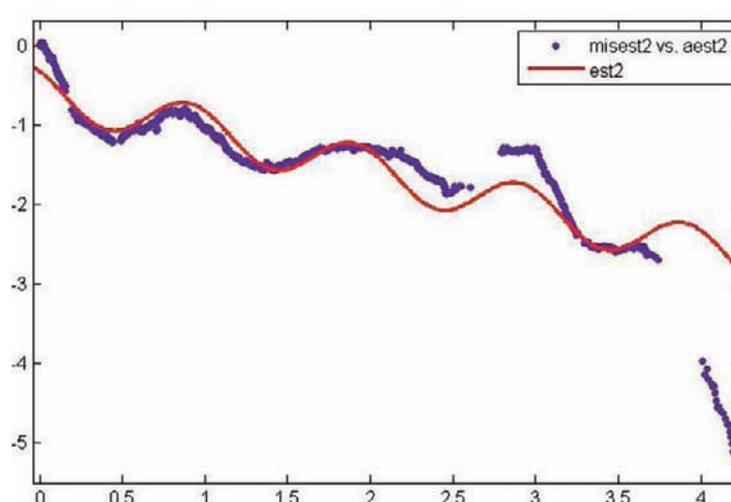


Fig. 12

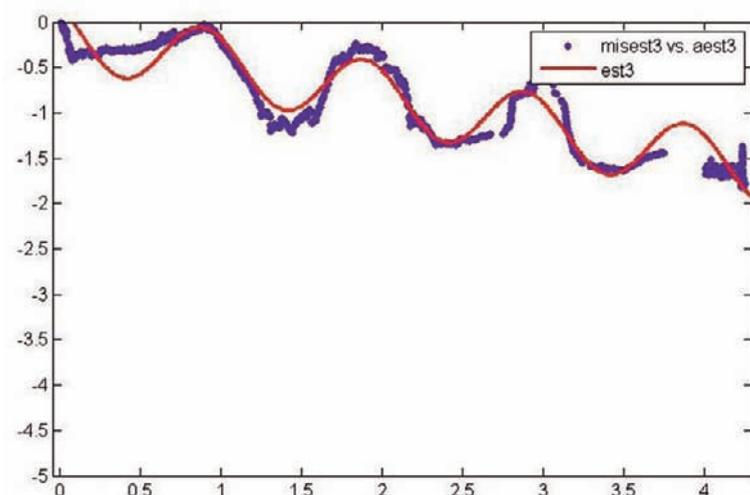
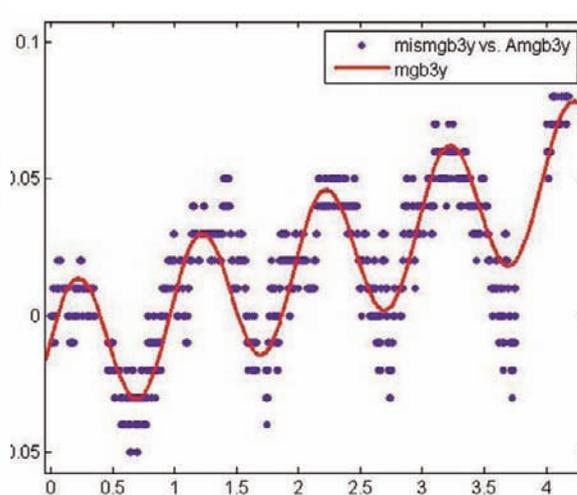


Fig. 13



Considerazioni finali

Concludendo questa succinta esposizione sembra doveroso sottolinearne il carattere in un certo senso preliminare, dettato sia dall'arco temporale di osservazione decisamente ancora modesto per la natura dei fenomeni che si stanno indagando, sia per la discontinuità che alcuni importanti dati presentano (le livellazioni topografiche sono state per esempio effettuate nel 1991 e sono riprese nel 2007). L'intervallo di osservazione disponibile (trattasi di cinque anni), modesto già in casi più semplici, rivela la sua ristrettezza in questo caso particolare, che vede i problemi di interazione tra torre e cattedrale sommarsi ai movimenti indotti dalla subsidenza. Diventa pertanto irrinunciabile continuare a seguire l'evoluzione degli aspetti illustrati, soprattutto in considerazione del fatto che movimenti, sia pure piccoli, sussistono e indicano sia uno spostamento altimetrico della torre rispetto alla cattedrale, sia una rotazione della torre nel piano parallelo alla navata della cattedrale e in modo meno evidente in quello a esso ortogonale. Fondamentale è la correlazione tra le variazioni dei dissesti della torre e quelli della cattedrale, non ancora perfettamente indagati.

Concluding remarks

There are two reasons to consider these contributions as only preliminary: first, the relatively short interval of observation (just five years); second, the fact that important data, such levelling, are discontinuous over a long period of time (the available data refer to levelling performed in 1991 and subsequently in 2007). The period of observation would already be rather short for simple situations, but is particularly constrained in this case, in which

the interaction problem between the Tower and the Cathedral is superimposed onto soil movements induced by subsidence. Therefore, there is a real need to get more insight into these issues, also by considering that the Tower is actually subsiding with respect to the Cathedral (even if we are dealing with very small movements), and is tilting (in the long period) towards west and, with less pronounced evidence, towards the Cathedral.

Il progetto
per la conservazione
Preservation Project

Progetto pilota
diagnostico

Diagnostic pilot project

INDAGINI PER UNA VALUTAZIONE DI TECNICHE E PRODOTTI PER L'INTERVENTO DI RESTAURO

SURVEY FOR THE ASSESSMENT OF RESTORATION INTERVENTION TECHNIQUES AND PRODUCTS

Zeno Morabito¹, Mauro Tonon¹, Mauro Mazzari², Giuseppe Longega³,
Guido Driussi¹, Guido Biscontin⁴

Fig. 5 Particolare di un bassorilievo in cui è presente una pesante crosta nera.

Detail of a bas-relief with thick black crust.



Introduzione. La torre Ghirlandina costituisce un manufatto di grande interesse nel quale la varietà dei materiali, i differenti processi di degrado e il susseguirsi di interventi di integrazione e restauro concorrono a creare una realtà molto articolata. Si è reso quindi necessario, per poter affrontare in modo corretto l'intervento conservativo, sviluppare uno studio che tenesse presente le diverse aree disciplinari, da quella storica a quella archeologica, dalle informazioni geologiche a quelle chimico-fisiche.

Le diverse indagini, eseguite durante la fase diagnostica, hanno delineato un quadro di conoscenze dell'opera tale da costituire un valido supporto per una scelta critica e consapevole delle metodologie di intervento da adottare nel restauro conservativo. Questa ricerca è indirizzata all'individuazione delle metodologie più idonee di intervento di restauro¹, con una valutazione delle tecnologie e dei prodotti, prima in laboratorio e poi con prove eseguite in cantiere. Sono state condotte prove sui materiali che presentavano uno stato di conservazione maggiormente compromesso e sulle situazioni più critiche con l'impiego di varie metodologie e l'applicazione di diversi prodotti.

La lettura dell'esistente

Partendo dalla conoscenza della condizione dei materiali, in relazione soprattutto al loro stato di degrado, ai processi e ai meccanismi che l'hanno indotto, è stato possibile formulare e sviluppare un progetto diagnostico per l'intervento.

Gli studi condotti dagli altri ricercatori, nell'ambito dello stesso progetto di ricerca sulla torre, hanno permesso di raggiungere un buon livello di conoscenza sulla caratterizzazione dei materiali e sul rilievo delle forme di ammaloramento; così la nostra attenzione si è concentrata di più sullo specifico sviluppo delle metodologie (prodotti e tecniche) di intervento migliori per il restauro conservativo.

Una semplificazione della lettura dell'esistente può essere fornita separando la realtà in diversi ambiti di valutazione:

la superficie degli elementi lapidei
il concio lapideo e la connessione con i conci limitrofi
gli elementi costituenti le balaustre superiori
i "segni" dei rifacimenti e dei restauri precedenti

Introduction. The Ghirlandina Tower represents a building of great interest, where the variety of construction materials, different levels of deterioration and the succession of integrative and restoration interventions combine to create a context which is extremely complex. Therefore, in order to approach the conservation intervention in the most appropriate manner, it was essential to develop a research survey that took into consideration all the various disciplinary aspects: historical and archaeological, geological and chemical-physical.

The various surveys carried out during the diagnostic stage, revealed a clear outline of the problems involving the work, and were able to provide an excellent support basis for critical and expert choices when deciding on the intervention methods to be applied for the conservation restoration. This research is directed at identifying the most suitable restoration

intervention methods¹, with assessment of the technologies and products, first of all tested in the laboratory, and later with testing performed in situ. Tests were run on materials that presented the most compromised examples of conservation, and worst states of deterioration using a variety of methods and the application of different products.

Overview of present conditions

Beginning with extensive knowledge of the condition of the materials, above all in relation to their state of deterioration, and the processes and mechanisms which have caused the decay, it was possible to draw up and develop a diagnostic project applicable for the intervention. The research surveys conducted by other teams within the same research project context for the Tower, all provided deep insight into the

characterisation of the materials and the extent of the deterioration; and therefore our attention was focussed mainly on the specific development of the applicative methods (products and techniques) for the best possible interventions directed at restoration and conservation. To simplify the understanding of the present conditions, the work has been divided into various assessment categories:

The surface of the stonework
The stone blocks and the connections with surrounding block work
The elements that compose the upper balustrades
The "traces" of previous reconstruction and restoration work

La superficie degli elementi lapidei

Si presentano casi diversi a seconda del tipo di materiale e della posizione di messa in opera, sia in termini di quota che di esposizione^{2,3}. Molteplici sono le situazioni riscontrate, tra le quali alcune assumono particolare importanza per la loro diffusione e il loro impatto statico ed estetico⁴. Per esempio, nel caso del Rosso di Verona (fig. 1), vi sono notevoli discontinuità con presenza di fessurazioni anche importanti, imputabili alla fragilità delle formazioni stilolitiche argillose che vengono dilavate dagli agenti atmosferici. Le lacune e le fessurazioni che si creano diventano vie di accesso preferenziale alla penetrazione dell'acqua che continua la sua azione dilavante nella parte interna dei conci portando a scagliature e distacchi. Nei casi estremi, anche a seguito delle naturali escursioni termiche, si arriva al completo distacco di porzioni significative di pietra, lasciando evidenti aree lacunose.

I problemi in questo caso si concentrano sulla necessità di procedere quanto prima a una riadesione delle scaglie parzialmente distaccate, assicurandosi di ridare continuità, per quanto possibile, al concio. Successivamente bisogna evitare che le fessurazioni presenti continuino a costituire una porta di accesso all'acqua meteorica, eseguendo microstuccature con materiale compatibile alle caratteristiche della pietra. Particolare è risultata la condizione di alcuni conci di trachite euganea (fig. 3) che presentano uno stato di alterazione diffusa e di livello particolarmente grave, non usualmente riscontrabile.

La superficie rimasta è molto rugosa, polverulenta, lo stato di decoesione risulta elevato con una superficie disponibile all'accesso dell'acqua; vi è la necessità di un intervento che sia in grado di ridare coesione intergranulare diffusa, privilegiando il più possibile il grado di penetrazione del prodotto.

Una situazione ancora diversa si rinviene in corrispondenza dei conci in pietra Aurisina (figg. 4 e 5), dove, oltre a una decoesione superficiale nelle zone ad alto dilavamento, si affianca la presenza di evidenti "croste nere", più localizzate nelle aree sottosquadra e in quelle più protette. In questo caso le problematiche da studiare sono ancora una volta diversificate e specifiche, si pone infatti la necessità di calibrare correttamente l'intervento di pulizia nel rispetto della storia della superficie, prima di qualsiasi altro lavoro di consolidamento e/o protezione. Per il rivestimento in Rosso di Verona della cuspide, si aggiunge un ulteriore problema rappresentato dal diffuso e intenso attacco biologico distribuito omogeneamente sulla superficie (fig. 2).

Stonework surfaces

The surfaces differ according to the type of material and their position in the construction, both as far as height and exposure are concerned^{2,3}. A wide variety of conditions have been discovered, and certain situations are particularly important because of the large extent of the damage, and because of their static impact and appearance⁴.

For example, in the case of Red Verona limestone (Fig. 1), the surfaces are very irregular with evidence of even large-sized cracks, caused by the fragility of the stylolitic clay which is washed away by atmospheric agents.

The gaps and cracks which are formed become the preferential access entry for water penetration, which continues to flow in the interior of the stone blocks, leading to flaking and detaching action.

In the more extreme cases, even within natural temperature ranges, considerable portions of the stonework have become detached, leaving visible gaps in the surface area.

In these cases the problem was focussed on the need for immediate reattachment of the partially detached flaking, to ensure that the stone blocks are given back a regular appearance as far as possible. Following this stage, interventions must be made to prevent the worsening of any cracks present, to stop rain water from entering, with micro-injection of materials that are compatible

with the characteristics of the stone. The condition of certain blocks of Euganea Trachyte (Fig. 3) is particularly serious, with widespread disintegration on a very bad level, not normally encountered. The remaining surface is very rough, powdery, and the state of decohesion is very high with a surface accessible to water entry.

An intervention is required that is able to provide widespread intergranular cohesion, giving precedence to the greatest level of product penetration possible.

A situation which is quite different concerns the Aurisina stone blocks (Figs. 4 and 5), where, as well as surface decohesion in the zones subject to strong rain washing action, there is also the problem of obvious "black crust", mainly localised in the undercut and more protected areas. In this case the problems to be faced are once again very specific and diversified. Here the cleaning process must be coordinated to respect the history of the surfaces in question, before approaching any further consolidation and/or protective interventions.

The Red Verona stone covering on the Spire presents a further problem, caused by the widespread and intense biological aggression which is present in a homogeneous manner over the surface (Fig. 2).

The biodeteriogenic element is able to attack the stone surface leading

²Raccomandazione NorMaL 1/88 (1989), Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico. UNI NORMAL 11182:2006, Beni Culturali lapidei naturali e artificiali. Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni.

³Francesco Salmojraghi, *Materiali naturali da costruzione*, Milano.

⁴D. Biondelli, R. Bugini, L. Folli, V. Saltari, *I materiali lapidei nell'architettura del Novecento a Milano - 4*. Catalogazione dei fenomeni di degrado e di alterazione, Scienza e Beni Culturali XX 2004, pp. 57-66



Fig. 1



Fig. 2



Fig. 3



Fig. 4

Fig. 1 Particolare di un concio lapideo di Rosso di Verona interessato da evidenti processi di degrado.
Detail of Red Verona stone blocks in varying stages of visible deterioration.

Fig. 2 Particolare del rivestimento della cuspide in conci di ammonitico veronese con evidenti attacchi biodeteriogeni.
Detail of the spire covered with blocks of Ammonitico veronese stone, obviously subjected to biodeteriogenic attack.

Fig. 3 Conci di trachite con una erosione grave.
Badly eroded Trachyte blocks.

Fig. 4 Particolare di un bassorilievo sul quale si nota la presenza di patinature a croma differente.
Detail of a bas-relief where the differently coloured patina is clearly visible.

L'elemento biodeteriogeno è in grado di attaccare la superficie lapidea, portando a decoesioni e polverizzazioni, sia dal punto di vista fisico che da quello chimico; l'azione biologica infatti può essere duplice: una legata alla crescita che si insinua nelle porosità e discontinuità, portando a un'azione dirompente, e l'altra legata alla produzione di prodotti secondari con pH acidi o a composti salini dannosi per la pietra. In questi casi quindi si deve necessariamente pensare a una fase di rimozione dei sistemi biodeteriogeni verificando l'efficacia dei prodotti e soprattutto la loro compatibilità con il supporto lapideo.

to decohesion and powder crumbling, from both physical and chemical viewpoints; in fact, the biological action can be two-fold, one linked with the growth that penetrates the porosity and cracks, which provokes fragmentation, and another linked with the production of secondary products with acid

pH or with saline compounds which are damaging to the stone.

Therefore, in these cases it is essential to contemplate the removal of the biodeteriogenic systems, while controlling the efficiency of the products and above all their compatibility with the underlying stone surface.

I conci lapidei

La continuità del rivestimento murario rappresenta un fattore importante per il controllo dei processi di degrado; in presenza di discontinuità tra i conci lapidei si possono avere pericolose infiltrazioni, con acqua tra il rivestimento lapideo e il sottostante supporto. Nel nostro caso questo avviene in modo diffuso nella zona della cuspide. Discontinuità tra le scossaline e la pietra (fig. 8), e lacune negli impasti dei giunti tra i conci (fig. 7) forniscono un facile accesso alle piogge meteoriche. Il ruscellamento delle acque tra il rivestimento lapideo e la struttura di supporto innesca processi di dilavamento ed erosione che facilitano l'indebolimento del sistema e possono, a lungo andare, compromettere l'adesione stessa dei conci di rivestimento, con infiltrazioni anche nella parte interna della torre. Si rende quindi necessario pensare un intervento di riempimento e di stilatura dei giunti il più possibile capillare e preciso nella consapevolezza che una correzione insufficiente di questo problema comprometterebbe la durabilità dell'intero intervento di restauro. Nella parte della cuspide, rivestita con lastre in Rosso di Verona, i giunti orizzontali presentano sistemi di sigillatura in piombo (fig. 6) al contrario di quelle verticali dove è stato usato un impasto di malta. Proprio questi ultimi rappresentano il punto più debole del sistema, in molti casi infatti le sigillature non sono più al loro posto o sono in parte compromesse (fig. 7). L'intervento di sigillatura che sarà adottato dovrà necessariamente essere modulato sulle diverse situazioni incontrate, si possono avere giunti completamente liberi, per i quali si deve pensare anche a un sistema di riempimento interno, ci sono giunti parzialmente riempiti per i quali una buona pulitura e sigillatura risultano sufficienti. Anche in termini di grandezza e ampiezza delle fessurazioni si ha una ampia variabilità e di questo si terrà conto per la scelta dei prodotti (leganti e cariche) che saranno impiegati nei risarcimenti.

Stone blocks

Uninterrupted cohesion of the wall covering is an important factor when controlling deterioration: dangerous infiltration can occur where gaps exist between stone blocks, with water entering between the stone facing and the underlying support structure. In this case, this problem is widespread in the spire area. Gaps between the flashing or ridge caps and the stonework (Fig. 8) and missing mortar in the slab jointing (Fig. 7) provide easy access for rainwater entry. The rivulets of water that infiltrate between the stone facing and the support structure provoke infiltration and erosion that lead to general weakening, and over time, they compromise the adhesion of the facing blocks, causing further infiltration inside the Tower itself.

Therefore it is essential to provide an extremely fine and accurate intervention system able to fill and seal the joints, while being acutely aware that insufficient repairs in answer to this problem will

compromise the durability of the whole restoration intervention. On the spire, covered with slabs of Red Verona stone, the horizontal joints have been sealed with lead strips (Fig. 6) unlike the vertical joints where a mortar paste has been used. The latter are the aspects which represent the weakest point in the whole system because in many areas, the sealing is no longer in position, or is partially damaged (Fig. 7). The sealing intervention to be adopted must necessarily be specific according to the various conditions as they arise. Some joints may be completely open, and these must be filled using some internal system; other joints are partially filled, and in these cases accurate cleaning and sealing should be sufficient. There is also a great deal of difference in the size and width of the various cracks, and therefore care must be taken in choosing the products (binders and fillers) that will be used in the repair work.



Fig. 6



Fig. 7



Fig. 8

Le balaustre

Gli elementi più aggettanti e le due balaustre rappresentano senza dubbio uno dei principali problemi che influenzano i processi di degrado della torre (fig. 9). Se da una parte il degrado superficiale può essere ricondotto ai casi precedenti o comunque alla normale evoluzione dei materiali lapidei, dall'altra il dissesto statico a cui sono soggette complica la natura dell'intervento.

Con tutta probabilità non si riuscirà a procedere a un risanamento complessivo senza dover smontare in parte o del tutto gli elementi che costituiscono la balaustra; alla luce di questa considerazione, nel corso dell'indagine è stata eseguita una prova di smontaggio di una porzione di balaustra (figg. 10 e 11).

Al termine delle operazioni è stato possibile stilare un "protocollo" di intervento verificando sia le condizioni di conservazione dei diversi elementi (anche per quelli interni come perniature e grappe), sia le tecnologie di costruzione della balaustra.



Fig. 9

Fig. 6 Particolare di un giunto orizzontale sulla cuspidale con la lamina in piombo.
Detail of a horizontal joint on the spire with lead stripping.

Fig. 7 Particolare di un giunto verticale aperto tra i conci del rivestimento.
Detail of an open vertical joint between two facing blocks.

Fig. 8 Particolare dell'ottagono con lo scostamento della lastra di piombo dal concio di rivestimento lapideo verticale. Queste aree rappresentano una via preferenziale di accesso per l'acqua.
Detail of the octagonal element where the lead sheet has become detached from the blocks or from the vertical stone facing. These areas are those most susceptible to water infiltration.

Fig. 9 Particolare di una balaustra, sono evidenti i segni di numerosi rinforzi inseriti in precedenti interventi a testimonianza della delicatezza di questi elementi. Il dissesto della struttura favorisce la comparsa di nuovi accessi per le infiltrazioni.

Detail of a balustrade with visible signs of previous intervention. A large amount of reinforcing shows the fragility of these elements. Structural damage facilitates new access entries for infiltration.

Fig. 10 Fasi di smontaggio di una parte della balaustra.
Disassembly of a part of the balustrade.

Fig. 11 Elementi rimossi durante la prova di smontaggio.
Elements removed during the disassembly tests.

Balustrades

There is no doubt that the protruding elements and the two balustrades present one of the main problems that influence the deterioration of the Tower (Fig. 9). If, on one hand, the surface deterioration can be blamed on previous interventions, or in any case, on the normal evolution present in stone materials, on the other hand the static damage that has been caused to the building complicates the nature of this intervention. It is very probable that it will not be possible to repair

all the balustrades without having to disassemble part of, or all the elements. With this possibility in mind, attempts were made to remove a portion of the balustrade during the survey (Figs. 10 and 11). When the operation was completed, an intervention "protocol" was drawn up to control the state of conservation of the various elements (including the internal elements such as anchors and cramps) as well as the balustrade construction technologies.



Fig. 10



Fig. 11



Fig. 12 Area in cui sono evidenti i rifacimenti con impasto a base di resina epossidica
Area showing visible signs of repairs using epoxy resin mortar.

L'eredità dei precedenti interventi

Numerosi sono stati gli interventi che si sono susseguiti sulla torre in occasione dei quali sono state impiegate diverse tecniche e vari prodotti per il restauro del rivestimento lapideo. Sono presenti in larga misura scialbature e trattamenti superficiali su vaste aree della superficie, in particolare le parti scultoree sono interessate da patine artificiali che denotano trattamenti voluti.

La natura e il comportamento di queste patine, ampiamente descritte nel capitolo di Baldan e Biscontin, mostrano che sono nate con funzione estetica; la lettura delle sezioni indica che non hanno influito in modo negativo sul supporto lapideo anzi hanno svolto un'azione di protezione⁵. Queste sono realtà che devono essere prese in considerazione, caratterizzate e distinte dalle normali croste nere o depositi per una corretta valutazione sul livello di pulitura della superficie da raggiungere⁶. Sicuramente il fatto più rilevante e peculiare della torre è stato il rinvenimento di numerosi rifacimenti e integrazioni con malte a base di resine epossidiche caricate con frammenti lapidei e pigmenti a scopo imitativo della pietra (fig. 12). Lo stato di conservazione di questi rifacimenti, con sollevamenti e alcuni distacchi (verificati anche a livello analitico) mostrano molto chiaramente l'incompatibilità tra il sistema epossidico rigido, ad alte capacità adesive, e il materiale lapideo, spesso più fragile e meno compatto. L'adesione dell'impasto epossidico risulta talmente alta che in molte aree supera il livello di coesione della pietra nella sua parte più superficiale. A seguito delle normali sollecitazioni ambientali si verificano dei veri e propri distacchi con un forte depauperamento della frazione lapidea (fig. 13). L'introduzione di questi impasti viene fatta risalire (grazie alla documentazione storica a disposizione) a un intervento di restauro svolto nel 1973, nel quale è stato privilegiato il requisito della resistenza e della compattezza, rispetto a quello della compatibilità e della reversibilità. Può risultare in realtà una forzatura la realizzazione di un intervento simile in anni, in cui era già presente, anche se all'inizio, il dibattito sul concetto di reversibilità e minima invasività, dal quale emergeranno le future linee guida del restauro⁷.

⁵M. Mariottini, M. Laurenzi Tabasso, P. Bianchetti, *Indagine sulla possibilità di formazione degli ossalati di calcio sulle superfici lapidee esposte all'aperto*, Conv. The oxalate films: origin and meaning in the conservation of works of art, pp 53-73, Milano 1989

Legacy resulting from previous interventions

Numerous interventions have been performed over the years on the Tower, during which a variety of different techniques and products were used to restore the stone facing. Large areas of the surface have been coated with color/lime washes and other forms of treatment, and this concerns the sculptures in particular, which were deliberately coated with an artificial patina. The nature and the effect of the patina, described in detail in the chapter by Baldan and Biscontin, show that they were applied for aesthetic reasons, and closer examination demonstrated that they have not had a negative effect on the stone surface, in fact; on the contrary, they have acted as an effective protection⁵. These are aspects that need to be taken into account, defined and considered as being distinct from the normal black crust or other deposits, in order to assess the appropriate degree of cleaning interventions to be performed on these surfaces⁶. There is no doubt that the most significant and perhaps the worst aspect of these interventions on the Tower has been the rediscovery of extensive repairs and integrations using an epoxy resin base mortar

mixed with stone chips and pigment in order to imitate the stone (Fig. 12). The state of conservation of this repair work, including parts which have lifted and even broken away (also tested with lab. analysis) demonstrate very clearly that the rigid epoxy resin with strong adhesive capacity is incompatible with the stone, often much more fragile and less compact. The epoxy mortar adhesion levels are so strong that in many areas they exceed the cohesion level of the stone in areas close to the surface. Normal environmental conditions have provoked actual breaking away with considerable depletion on the stone portions (Fig. 13). The introduction of this type of mortar was traced to restoration interventions carried out in 1973 (documentary evidence available) when the main focus was based on strength and resistance, and not compatibility and reversibility. This could be considered as being an unnecessary action at a time when, although only at its beginnings, the issue of concepts concerning reversibility and minimum invasive action had already been approached, leading to the guidelines laid down for future restoration intervention⁷.

⁶R. Quaresima, A. Pasanisi, C. Scarsella, *Patine di ossalati e croste nere: indicazioni su possibili interventi conservativi*, Scienza e Beni Culturali XI 1995, pp. 179-186

⁷G.P. Treccani, *Tra Revoca e Conservazione: le ragioni del restauro del restauro*, Scienza e Beni Culturali XXIV 2008, pp 1-7

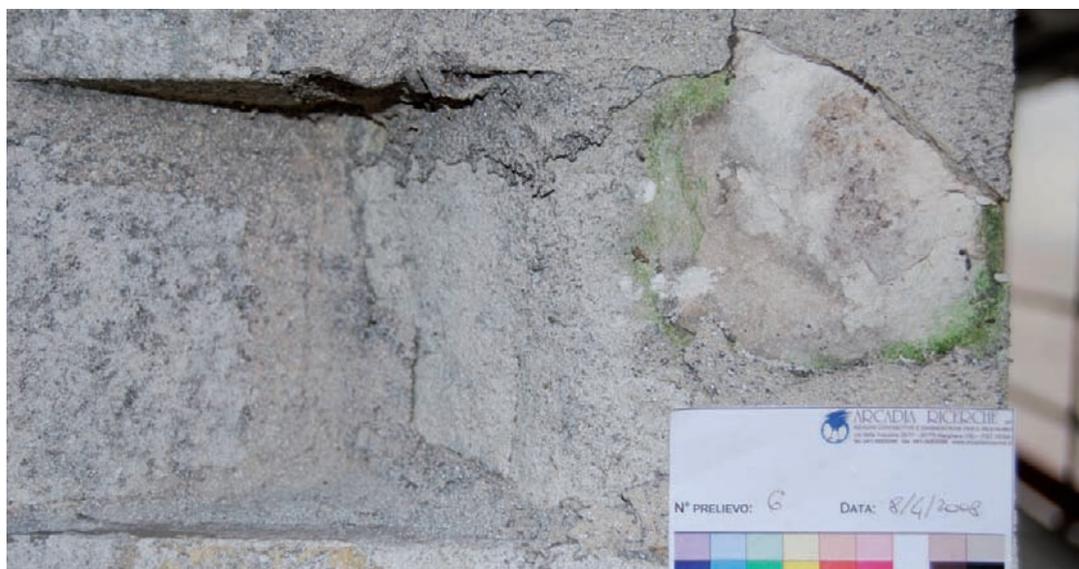


Fig. 13 Area in cui il rifacimento con malta epossidica presentava sollevamenti. La malta è stata oggetto di campionamento ed analisi. Area where the repairs made using epoxy mortar has become detached. Samples of the mortar were taken for analysis.

Le prove di valutazione di prodotti e tecniche di intervento di restauro conservativo (in situ e in laboratorio)

Le indagini e le osservazioni eseguite hanno portato a un buon quadro di conoscenze della realtà che hanno reso possibile formulare una serie di proposte di intervento, proposte che sono state calibrate e validate per mezzo di una serie di prove eseguite sia in laboratorio che in loco su cantieri “pilota”. La molteplicità delle situazioni ha suggerito un tipo di approccio elastico, in grado di rispondere alle differenti esigenze rispettando alcuni indirizzi di intervento derivanti da considerazioni metodologiche discusse e proposte dal gruppo di lavoro: impiego di prodotti e operazioni a basso impatto ambientale e contenuta nocività per gli operatori (da qui l’impiego preferibile per esempio di prodotti all’acqua); sperimentazione di prodotti innovativi a base di nano-dispersioni⁶; minore invasività sui materiali sia in termini fisici che chimici; rispetto delle patine storiche, per non stravolgere la lettura della superficie così come si è evoluta; interventi semplici e di facile applicabilità; controllabilità delle operazioni con la possibilità di modulare e tarare l’impatto del lavoro sui singoli casi; ottimizzazione del rapporto tra i tempi delle lavorazioni, l’efficacia desiderata e il rispetto dei materiali. Tra le varie operazioni necessarie la nostra attenzione è stata rivolta alle situazioni più delicate e diffuse, privilegiando le forme di degrado più consistenti. Sono state realizzate le seguenti prove: disinfestazione biologica; pulitura-lavaggio della superficie; consolidamento dei materiali incoerenti; protezione della superficie lapidea; stuccatura dei giunti nella parte della cuspide; rimozione dei rifacimenti con impasti a base di resina epossidica.

Le prove sono state realizzate su aree scelte in collaborazione con i responsabili del progetto e sono state seguite a livello diagnostico mediante analisi “in loco”, alle quali, dove necessario, si sono affiancate delle prove in laboratorio.

L’aspetto più delicato nella valutazione dei sistemi di intervento è rappresentato dall’individuazione degli indicatori più adeguati a descrivere il livello di ciascuna prestazione.

Assessment tests on Conservation and Restoration Intervention products and techniques (in situ and in the laboratory)

The surveys and inspections that were carried out revealed a very accurate picture of the actual situation which made it possible to lay down a series of intervention proposals. Proposals were monitored and controlled through a range of tests performed both in the laboratory and on a “pilot site” in situ. The wide range of varying conditions and situations required a very elastic approach, able to provide a solution for the different requirements respecting certain directions of intervention after considering a range of methods discussed and proposed by the work team: the use of products and operations with low environmental impact as well as maximum safety levels for intervention operators (this led to the preference for water-based products). Experimentation with innovative nano-dispersion based products⁶. Limited invasive intervention on materials, in both physical and chemical terms; respecting former and historical patina, in order to maintain the aspect of the surfaces as they have evolved simple interventions that are easily applicable. Possibility of

controlling all operations, with the option of adapting and converting the intervention impact according to individual cases. Optimizing the balance between intervention time, efficiency required, and respect of the original materials. Among the various essential operations, a great deal of focus was placed on the more delicate and widespread conditions, giving precedence to the more consistent types of deterioration. Testing was carried out as follows: biological disinfestation tests; surface cleaning-washing tests; consolidation tests on incoherent materials; protection tests on stone surfaces joint filling tests on the spire removal tests on previous repairs using epoxy resin based mortars Tests were performed on selected areas in collaboration with the Project Manager, and were monitored at diagnostic level through analyses in situ; where necessary, these were controlled with further tests in the laboratory. The most difficult aspect in assessing the intervention system was identifying the most adequate indicators to describe the level of each operation.

⁶E. Carretti, L. Dei, P. Baglioni, *Solubilization of acrylic and vinyl polymers in nanocontainers solutions. Application of microemulsions and micelles to cultural heritage conservation*, Langmuir 19, 2003.

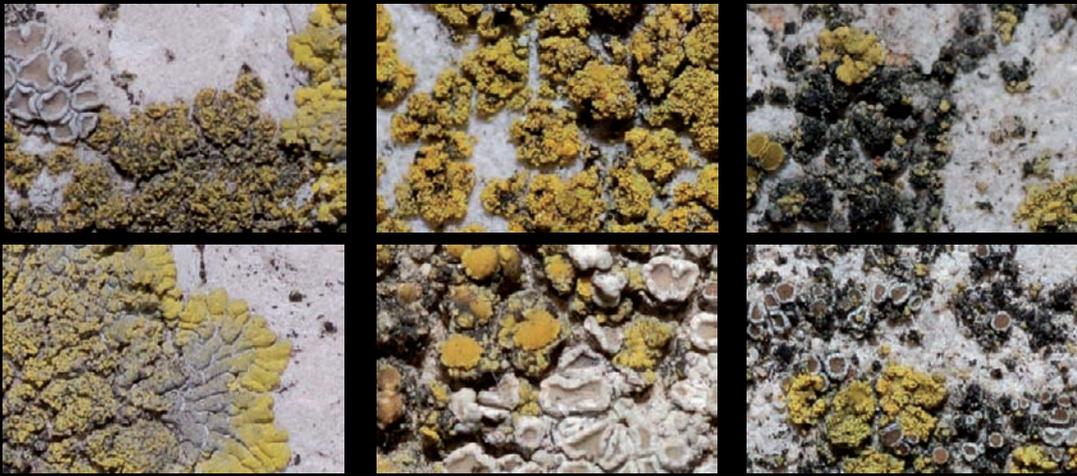


Fig. 14 La pietra è interessata dalla presenza di diversificate tipologie licheniche che attecchiscono sia sulle porzioni superficiali più compatte del materiale, sia in corrispondenza delle fessurazioni e delle zone più porose dello stesso. Unitamente ai licheni caratterizzati da una colorazione del tallo di tonalità gialla, verde e marrone, si riconoscono frazioni minori di depositi grigio scuri, verosimilmente attribuibili a organismi biologici non più attivi.

The stone is affected by a range of different types of lichen which attach themselves not only to the more compact surfaces of the stone, but also penetrate cracks and the more porous areas. Together with the lichen, recognisable for the yellow, green and brown thallus, there are also smaller dark grey deposits, that can probably be attributed to biological organisms that are no longer active.



Fig. 16

Fig. 17

Fig. 18

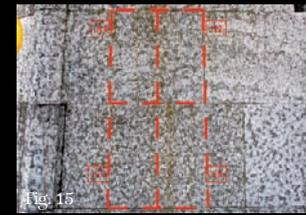


Fig. 15 Area del test con suddivisione dei tasselli di prova per la disinfezione biologica. Test area divided into test sections for biological disinfection.

Fig. 16 Superficie di un conico di Rosso di Verona della cuspide tal quale. Surface of a block or portion of Red Verona on the spire in present condition.

Fig. 17 Superficie dopo il primo ciclo di trattamento con biocida Algophase. Surface after the first treatment cycle using Algophase biocide.

Fig. 18 Superficie dopo il secondo ciclo di trattamento con Algophase. Surface after the second treatment cycle using Algophase biocide.

Fig. 19 Videomicroscopia prima dell'intervento. Videomicroscopic view before intervention.

Fig. 20 Videomicroscopia al termine del primo ciclo di trattamento con Algophase. Videomicroscopic view after the completion of the first Algophase treatment cycle.

Fig. 21 Videomicroscopia al termine del secondo e ultimo ciclo di trattamento con Algophase. Videomicroscopic view after the completion of the second and last Algophase treatment cycle.



Fig. 19

Fig. 20

Fig. 21



Fig. 22

Fig. 23

Fig. 22 Particolare dell'area A3 al termine del trattamento con Combat 222 - buon livello di rimozione dei biodeteriogeni. Detail of area A3 after treatment using Combat 222 - good biodeteriogenic removal levels.

Fig. 23 Particolare dell'area A2 a seguito del trattamento con Algophase - buon livello di rimozione dei biodeteriogeni. Detail of area A2 after treatment using con Algophase - good biodeteriogenic removal levels.

Fig. 24 Particolare dell'area A1 al termine del trattamento con ipoclorito di litio - discreto livello di rimozione dei biodeteriogeni. Detail of area A1 after treatment using lithium hypochlorite - average biodeteriogenic removal levels.



Fig. 24

Fig. 25

Fig. 25 Particolare dell'area A4 al termine del trattamento con New Des - discreto livello di rimozione dei biodeteriogeni. Detail of area A4 after treatment using New Des - average biodeteriogenic removal levels.

Prove di disinfestazione biologica

In particolare sulla superficie del rivestimento lapideo in Rosso di Verona della cuspide si rinviene un significativo attacco di agenti biodeteriogeni osservati mediante videomicroscopia a fibre ottiche⁹ (fig. 14).

I test per la valutazione dell'efficacia dei sistemi biocidi sono stati eseguiti su un'area alla cuspide (fig. 15) e hanno previsto l'applicazione di quattro tipologie di prodotti:

Area A1: Soluzione acquosa diluita a base di Ipoclorito di Litio

Area A2: Algophase, soluzione a base di N-butyl-1,2 benzisotiazolin-3-one

Area A3: Combat 222, soluzione acquosa a base di cloro attivo

Area A4: New Des, soluzione acquosa a base di sali d'ammonio quaternari.

La metodologia di applicazione è stata simile per tutte le applicazioni, al fine di favorire un confronto a parità di messa in opera: sono stati applicati in due cicli da 24 ore, ciascuno dei quali seguito da spazzolatura e risciacquo a vapore a bassa pressione (per evitare ruscamenti e quantità di acqua abbondanti).

Tutti i prodotti testati sono stati selezionati tra quelli diffusamente impiegati nel campo della disinfestazione biologica applicata ai manufatti lapidei e forniscono, in linea di massima, ottimi risultati e una piena compatibilità con il substrato lapideo (con pH > 7), senza lasciare prodotti indesiderati.

L'obiettivo dei test è quello di valutare, anche dal punto di vista delle tempistiche e nell'ottica della valutazione dell'economicità dei trattamenti, quali tra questi prodotti fornisca i migliori risultati. Le operazioni sono state monitorate con osservazioni microscopiche e fotografiche a ogni step dell'intervento.

Per quanto concerne l'efficacia della rimozione degli elementi biodeteriogeni, buoni risultati sono stati raggiunti, sia con il prodotto denominato Combat 222 (fig. 22), che con l'Algophase (fig. 23), le superfici trattate con tali sistemi risultano sostanzialmente prive di residui biologici, sia nelle porzioni lisce della superficie, che in quelle più scabre, come nelle fessurazioni e scistosità argillose del materiale.

Nelle altre due prove (soluzione di ipoclorito di litio - (fig. 24) - e New Des - fig. 25), nei tempi di applicazione impiegati, non è stato possibile ottenere un grado di pulitura completo dei biodeteriogeni, né sulle parti scabre della superficie, né in quelle più omogenee e compatte.

Biological disinfestation tests

The Red Verona stone surface, especially on the spire facing, has been subjected to considerable aggression by biodeteriogenic agents observed under an optical fibre videomicroscope⁹ (Fig. 14). Tests for assessing the efficiency of biocide systems were performed on an area of the spire (Fig. 15) and the following four types of product have been chosen for application:

Area A1: Aqueous solution with a lithium hypochlorite base

Area A2: Algophase, solution with a N-butyl-1,2 benzisothiazolin-3-one base

Area A3: Combat 222, aqueous solution with an active chlorine base

Area A4: New Des, aqueous solution with a quaternary ammonium salt base.

The application method is similar to those used for all the applications in order to facilitate a comparison between the same stones and conditions. Solutions were applied in two 24-hour cycles, each of which followed by brushing action and low pressure steam rinsing (to prevent the addition of excess water and resulting damage).

All the products tested were selected among those which are commonly used in biological disinfestation applied to

stonework, and which have generally provided excellent results, being totally compatible with the underlying stone substrate (con pH > 7), without leaving any undesirable traces.

The aim of these tests is to assess which of these products provides the best results, also taking into consideration the time required and the economic cost.

All operations were examined under microscopes and each step of the intervention was photographed.

As far as the removal of biodeteriogenic elements is concerned, good results were obtained using the product called Combat 222 (Fig. 22), as well as with Algophase (Fig. 23); the surfaces treated with these systems result as being free of biological residue, both on the smooth surfaces as well as in the rougher areas, such as in the cracks and the clay schisosity in the material.

With the other two tests (solutions of lithium hypochlorite, Fig. 24, and New Des, Fig. 25), it was not possible to clean biodeteriogenes completely in the required application time, and this applies to the rougher surface and the smoother more compact areas.

⁹P.L. Nimis, D. Pinna, O. Salvadori, *Licheni e conservazione dei monumenti*, ed. CLUEB, Bologna 1992.

Prove di pulitura

Le due situazioni principali da tenere in considerazione sono la diffusa presenza, nelle aree non soggette a dilavamento acqueo, di croste nere a diverso grado di spessore e le numerose patine superficiali frutto di passati restauri. La prova di intervento per la pulitura delle superfici di Aurisina è stata eseguita in due differenti aree, l'una più ricca in "croste nere" (figg. 26 e 27), l'altra interessata da una patinatura artificiale evidente di colore ocra (figg. 28 e 29). Per l'intervento nella prima zona su un concio di Aurisina, oltre al notevole spessore della "crosta nera", a complicare la realtà è anche la lavorazione superficiale della pietra (fig. 27), che impone di individuare un sistema di pulitura efficace ma rispettoso. La scelta è ricaduta sull'impiego di un impacco biologico, tecnica riscoperta in tempi relativamente recenti e ancora in fase di studio per quanto riguarda i meccanismi chimico-biologici, che la rendono un sistema particolarmente efficace nell'asportazione di croste nere, anche con spessori consistenti. Si tratta di realizzare impacchi costituiti da un sistema urea-glicerina, supportati da sistemi assorbenti, quali argille per esempio, che attivano un'azione solubilizzatrice nei confronti del solo gesso (costituente la matrice legante delle croste nere), senza azioni di degrado sul substrato lapideo. L'azione viene esercitata da una combinazione di processi chimici (come lo sviluppo di CO₂ e NH₃) e attività di tipo batterico, a opera di microrganismi già presenti nelle incrostazioni e che verrebbero "nutriti" dai costituenti dell'impacco. L'impacco biologico produce CO₂ e NH₃ in quantità moderate e tempi lunghi; questi sono gli stessi prodotti che vengono liberati da carbonato e bicarbonato d'ammonio, anche se in concentrazioni molto più alte e quindi richiedono tempi di azione molto più ridotti, con una conseguente maggiore difficoltà nel controllarli e gestirli. Sistemi come il carbonato e il bicarbonato d'ammonio trovano logicamente un ampio spazio di applicazione dove si agisca su depositi e croste in assenza di patinature artificiali che si vogliono salvaguardare. L'impacco di tipo biologico è stato mantenuto a contatto della superficie per un periodo di sette giorni, al termine si è riusciti a ottenere una notevole riduzione delle croste nere più spesse e l'eliminazione quasi completa di quelle medio lievi (figg. 30 e 31); il metodo si è inoltre dimostrato compatibile con il substrato lapideo, permettendo di mantenere la totale leggibilità dei segni di lavorazione superficiale, senza portare a lesioni sulla pietra.

Nel caso specifico, quindi, si è visto come, con una settimana dello stesso impacco (già attivato, con pH>8) e con temperature medie variabili tra i 20-25 gradi, sia possibile raggiungere un complessivo buon grado di pulitura superficiale.

Cleaning tests

The two main conditions which must be kept in mind are the widespread presence of black crust in the areas which are not washed by rain water. Crust thickness varies and there are also numerous areas with surface patina, the result of previous restoration work.

Intervention tests for surface cleaning of Aurisina stone was carried out in two separate areas, one with greater build-up of black crust (Figs. 26 and 27), and the other coated with an artificial patina with a visible ochre colour (Figs. 28 and 29). During the intervention in the first area on blocks of Aurisina stone, as well as the considerable thickness of the black crust, the surface of the stone itself (Fig. 27), also complicated the choice of a cleaning system which was efficient, but respectful of the stone at the same time. It was decided to use packs soaked in a biological product, a technique that is relatively recent and still under research, as far as the chemical-biological aspects are concerned: this has proved particularly efficient in removing black crust, even where there is consistent build-up. This treatment involves packs soaked in a urea-glycerine system on an absorbent support such as clay for example, that provoke a dissolving action on the plaster alone (this makes up the binding matrix of the black crust), without harmfully affecting the underlying stone surface. The action is performed by a combination of chemical processes (such as the

development of CO₂ and NH₃) and bacteria type activities, working on the microorganisms already present in the crust, and which are "fed" by the components in the soaked pack. The biological pack produces CO₂ and NH₃ in moderate quantities but over long periods of time; these are the same products that are released by ammonium carbonate and ammonium bicarbonate, although with much higher concentration levels, and therefore they require far shorter application times, making operations more difficult to control and to manage. Systems such as ammonium carbonate and ammonium bicarbonate naturally have wide areas of application where they react on deposits and crust, where no existing artificial patina needs to be protected. Biological packs were placed in contact with the surface for a period of 7 days, after which the thicker black crust had been reduced considerably, and the areas which were lesser affected, were almost completely cleaned (Figs. 30 and 31); the method was also shown to be compatible with the stone substratum, leaving the surfaces perfectly visible but without damaging the stone in any way. Therefore, in this specific case, it was seen that using the same pack for a week (previously activated, with a pH>8) and with average temperatures that vary between 20-25 degrees, it is possible to achieve good surface cleaning results in general.



Fig. 26



Fig. 27

Fig. 26 Area in cui è stata eseguita la prova di pulitura su "croste nere".
Area where cleaning tests were performed on black crust.

Fig. 27 Particolare della lavorazione della pietra che complica l'intervento di pulitura.
Detail of stone carving which complicates cleaning interventions.



Fig. 28



Fig. 29

Fig. 28 Area in cui è stata eseguita la prova di pulitura sulle patine preesistenti.
Area where cleaning tests were performed on previous patina.

Fig. 29 Particolare della patinatura artificiale presente.
Detail of artificial patina still present.



Fig. 30



Fig. 31

Fig. 30 Area con le croste nere durante il trattamento a impacco biologico.
Black encrusted area during biological pack treatment.

Fig. 31 Particolare della superficie dell'area dopo la rimozione della crosta nera e il lavaggio con vapore.
Detail of the area surface after black crust removal and steam washing.



Fig. 32



Fig. 33

Fig. 32 Concio di Rosso di Verona oggetto delle prove di stuccatura prima dell'intervento. Blocks of Red Verona stone prior to filler testing interventions.

Fig. 33 Concio di Rosso di Verona oggetto delle prove di stuccatura dopo l'intervento. Blocks of Red Verona stone after filler testing interventions.

¹⁰L. Bassotto, I. Cavaggioni, A. Lionello, C. Menichelli, G. Driussi, P. Scanferla, M. Scattolin, L. Zeno, *Intervento sperimentale per la valutazione dell'impatto ambientale di tecniche di pulitura delle superfici lapidee*, Lo Stato dell'Arte V 2007, Nardini editore, 2007

Nel caso si volesse ridurre ulteriormente il deposito, sarà possibile ripetere il trattamento in maniera localizzata e seguire l'evolversi della desolfatazione - mediante monitoraggi anche giornalieri - fino al raggiungimento del livello di pulitura desiderato. La velocità ed efficacia di questo tipo di trattamento risulta fortemente legata ad alcune condizioni chimico fisiche, quali soprattutto le temperature ambientali, il pH e il contenuto d'acqua dell'impacco biologico; cambiando queste variabili e il tempo di applicazione il metodo consente un ottimo livello di calibrazione e di controllo, tale da renderlo molto flessibile alle varie situazioni. Per la zona interessata dalla presenza delle patine sono state condotte prove di pulitura con l'utilizzo di tensioattivo a base di trietanolamina e vapore acqueo a basse pressioni e temperature (<40°C), accompagnata da leggera azione meccanica. L'efficacia pulente di questa tecnica si basa sull'azione solvente, dovuta alle particelle di vapore che condensano sulla superficie, unitamente a una blanda azione meccanica generata dalla pressione, con cui vengono dirette verso la superficie (1,5 bar); a favorire ulteriormente la solubilizzazione dei depositi contribuisce l'innalzamento termico superficiale che può essere opportunamente calibrato variando la distanza dell'ugello dalla zona trattata.

La scelta di impiegare il vapore va incontro all'esigenza di diminuire fortemente la quantità di acqua necessaria a solubilizzare il gesso, evitando eccessi che potrebbero infiltrarsi nei giunti e nelle fessurazioni, e ridurre i reflui. Si tenga presente che usando questa tecnologia sono sufficienti alcuni litri di acqua per metro quadro contro alcune centinaia di litri con il metodo dell'acqua nebulizzata. Recenti studi hanno infatti dimostrato la notevole presenza di composti inquinanti nei reflui di lavaggio di superfici lapidee storiche, indicando che le acque raccolte dovrebbero seguire un processo di smaltimento corretto, rappresentando un costo non indifferente¹⁰. Alla sola azione chimico-fisica del vapore, nel caso di depositi tenaci, viene generalmente affiancata una moderata spazzolatura meccanica della superficie.

In cases where it is necessary to reduce the crust deposit even further, the treatment can be applied locally, controlling the evolution of the desulfatation with monitoring that may require regulating, even daily, until the required level has been achieved. The speed and the efficiency of this type of treatment is strongly linked with certain chemical - physical conditions, above all environmental temperatures, the pH, and the water content in the biological pack; when these variables are changed, and the application times are calculated, this method provides excellent regulation and control levels which make it very flexible for use in a wide variety of situations. Those areas where patina was present were tested with cleaning methods using triethanolamine based surface active agents and low pressure and low temperature steam (<40°C), with the help of a little mechanical cleaning action. The cleaning efficiency of this technique is based on the solvent action due to the vapour particles that condense on the surface, combined with a gentle mechanical action generated

by the pressure directed onto the surface in question (1,5 bar); some surface heating can help dissolve the deposits even further, and this can be regulated by varying the distance of the nozzle from the area being treated. The decision to use steam vapour was influenced by the great reduction in the amount of water required to dissolve the plaster, preventing excess plaster particles from blocking joints and cracks, as well as the desire to reduce sewage. In fact only a few liters of water per square meter are required with this method, compared to the hundreds of liters used with water spraying. Recent research has demonstrated the considerable presence of polluting compounds in the remains of the waste water after washing action on historical buildings. This would involve applying appropriate waste elimination processes which would represent a large increase in costs. x. In areas where the deposits are particularly difficult to remove, then only additional application to the chemical-physical action is a gentle mechanical brushing action on the surface.

Prove di consolidamento e protezione

Pur rilevando la differenza tra le operazioni di consolidamento e di protezione si ritiene utile trattare congiuntamente questi interventi, perché alcuni dei prodotti proposti possiedono caratteristiche che vanno incontro a entrambe le esigenze.

Dalle valutazioni sullo stato di degrado, in cui versano i materiali della torre, si nota come le due specie lapidee che presentano un maggiore livello di degrado e che hanno richiesto un'attenzione particolare nell'individuare il tipo di intervento, sono stati il Rosso di Verona e la trachite euganea.

Ambedue, per diverse particolarità, si sono dimostrate sensibili ai processi di degrado, portando a sollevamenti e distacchi nel caso del Rosso ammonitico e una anomala decoesione per la trachite.

Il tipo di approccio quindi alle due specie lapidee è stato completamente diverso: per il Rosso di Verona la necessità è quella di far riaderire le numerose scaglie, riempire le fessurazioni lasciate libere dal depauperamento della fase argillosa e ridare continuità ai conci, fermando l'accesso delle acque meteoriche.

Alla luce di queste considerazioni, le prove di restauro si sono tradotte in una prima fase di consolidamento mediante microiniezioni (dove necessario) e una seconda operazione più diffusa di microstuccatura con prodotti elastomerici.

L'elemento lapideo, oggetto della prova di stuccatura sul Rosso Ammonitico, presentava un'aggravata condizione di degrado, con cavità, fessurazioni di estensione e profondità differenziate in funzione delle particolari ed eterogenee caratteristiche morfologiche della tessitura lapidea; si nota un andamento preferenziale delle fessurazioni orizzontali, lungo i piani sedimentari della roccia, oltre alla presenza di una estesa lesione verticale già stuccata in occasione dei precedenti lavori (fig. 32). Sul concio, previa asportazione degli eccessi degli impasti epossidici preesistenti, è stato eseguito un intervento di microstuccatura e stuccatura con il sistema elastomerico Elastomarc stucco, caricato con frazioni inerti e pigmentanti (fig. 33). Le osservazioni mediante microscopia ottica e misure ultrasoniche, effettuate prima e dopo la prova, forniscono risultati confortanti sull'adesione degli impasti e sulla capacità di riempimento delle stuccature. Una conferma importante dovrà comunque essere fornita, a distanza di tempo dalla messa in opera, monitorando il comportamento e la tenuta delle stuccature esposte agli agenti atmosferici.

Consolidation and protection tests

Although there is a difference between operations of consolidation and protection, it was decided useful to discuss these interventions together, because certain products employed possess characteristics that are applicable to both requirements.

From the assessments on the state of deterioration of the various materials on the Tower, it was noted that two types of stone have far greater deterioration levels, and these required greater attention in identifying the type of intervention necessary.

These are Red Verona stone and Euganea trachyte. For different reasons, both have proved sensitive to deterioration and aggression, leading to portions which have been raised and detached in the case of the Rosso Ammonitico, and unusual decohesion in the trachyte. Therefore the type of approach required for these two varieties must be completely different: the flakes on the Red Verona stone need to be reattached, the cracks caused by argillous depletion must be filled, and the block or slab surfaces must be made even and regular, preventing access to rain water. With these considerations in mind, restoration tests were directed at an initial consolidation stage using microinjection techniques (where necessary)

and a second more widespread operation of micro-filling using elastomer products.

The stone sample used for filling tests on Rosso Ammonitico, showed a far worse level of deterioration, with cavities, cracks of different lengths and depths according to the specific and heterogeneous morphological characteristics of the stone texture;

It was noted that there was a concentration of horizontal cracking along the sedimentary rock lines, as well as the presence of a long vertical split which was filled during previous restoration work (Fig. 32).

Microfilling and standard filling operations were carried out on blocks, or prior to removal of the excessive pre-existent epoxy resins, using Elastomarc, an elastomer mortar, mixed with inert powders and pigments (Fig. 33).

Examination under optical microscopes and using ultrasound measurement, performed before and after testing provided comforting results as far as mortar adhesion is concerned and on the mortar's filling capacity. However, confirmation will be required after a determined period of time, after monitoring the behaviour and the sealing capacity of the filler exposed to atmospheric agents.

Operazioni Operations	Rosso di Verona Red Verona stone	Trachite Trachyte
Microstuccatura e sigillatura delle fessurazioni nella pietra con Elastomarc stucco riadesione delle scaglie Microfilling and sealing in stone cracks using Elastomarc filler – flake re-attachment	x	-
Applicazione di Idrosil prodotto all'acqua a base di resine polimetilsiliconiche azione protettiva Application of Idrosil – a water based Polymethylsilicone resin product protective action.	x	-
Applicazione di Nanorep 10 microdispersione a base di silani e silossani azione protettiva e consolidante Application of Nanorep 10: silane and siloxane based microdispersion product protective and consolidating action	x	-
Applicazione di Nanorep 10 microdispersione a base di silani e silossani azione protettiva e consolidante Application of Atomo – acrylic microemulsion consolidating action	x	-
Applicazione di Fluorophase 3 elastomero fluorurato azione protettiva e consolidante Application of Fluorophase 3 fluorated elastomer protective and consolidating action	x	-
Applicazione di Rhodorsil RC 90 silicato di etile protettivo/consolidante Application of Rhodorsil RC 90 - ethyl silicate (protective and consolidating action)	x	laboratorio laboratory

Fig. 34

Fig. 34 Tabella esplicativa dei trattamenti eseguiti sul Rosso di Verona e sulla trachite euganea con prove sia in cantiere che in laboratorio. Nel caso del Rhodorsil RC 90, vista la tendenza a impartire una variazione cromatica significativa, ci si è limitati, per la trachite, a eseguire solo le prove in laboratorio.

Illustrative table of treatments performed on Red Verona stone and on Euganea trachyte with tests performed in situ and in the laboratory. In the case of Rhodorsil RC 90, given the tendency to provoke strong chromatic variations, the Trachyte tests were limited to the laboratory.

Prodotto applicato Applied product		Componente principale Main component	Solvente Solvent	Azione Action	Note Comments
Nome Name	Produttore Manufacturer				
Idrosil Idrosil	Antares Antares	silani/silossani silane / siloxane	acqua water	Protettivo Protective	Dispersione al 9% Dispersion: 9%
Nanorep 10 Nanorep 10	Colorificio San Marco Colorificio San Marco	silani/silossani silane / siloxane	acqua water	Protettivo/ consolidante/ consolidating	Dispersione al 5% di particelle con diametro 50-80 mm 5% Dispersion of particles with 50-80 mm diameter
Atomo Atomo	Colorificio San Marco Colorificio San Marco	polimero acrilico polymer acrylic	acqua water	Consolidante Consolidating	Dispersione al 10% di particelle con diametro 20-40 mm 10% Dispersion of particles with 20-40 mm diameter
Fluorophase 3 Fluorophase 3	Phase Phase	copolimero fluorurato Fluorated copolymer	acetone acetone	Protettivo/ consolidante/ Protective/ consolidating	Soluzione al 3% Solution at 3%
Rhodorsil RC 90 Rhodorsil RC 90	Rhodia Rhodia	silicato di etile/ resine fenoliche Ethyl silicate/ phenolic resin	ragia minerale turpentine	Consolidante/ protettivo Consolidating/ protective	-

Fig. 35

Fig. 35 Tabella dei prodotti impiegati. La scelta è ricaduta in particolare su sistemi all'acqua privilegiando inoltre dispersioni di nanoparticelle. Table of products employed. Precedence was given to water-based systems and nano-particle dispersion.

Fig. 36 Risultati complessivi delle determinazioni analitiche per le prove di trattamento del Rosso di Verona. Total results of analyses on treatment tests on Red Verona Stone.

Fig. 36

Provino (trattamento) (Treatment) Sample	Variazione cromatica ΔE in sito/lab Chromatic variation ΔE in situ / lab	Variazione % assorbimento d'acqua a bassa pressione Variation % of water absorption at low pressure	Valutazioni morfologiche delle superfici trattate Morphological results on the treated surfaces	Angolo di contatto (°) Contact angle (°)	Valutazione profondità penetrazione e distribuzione. Penetration depth and distribution results
B1/L1 (Idrosil) B1/L1 (Idrosil)	1.88 / 1.26 1.88 / 1.26	- 14 - 14	Distribuzione omogenea del polimero a esclusione di rari accumuli puntiformi, nessuna alterazione della leggibilità superficiale Homogeneous polymer distribution except for rare puntiform accumulation, no changes to surface appearance	113 113	Buona penetrazione. Ottima distribuzione nella porosità del materiale, non si notano accumuli superficiali Good penetration. Excellent distribution in material porosity, no surface accumulation noticeable
B2/L2 (Nanorep) B2/L2 (Nanorep)	1.12 / 0.71 1.12 / 0.71	- 79 - 79	Ottima distribuzione del polimero, si mantiene la leggibilità della tessitura. Appena percepibile diminuzione del tono cromatico Excellent polymer distribution, texture appearance unchanged. Chromatic tone reduction hardly noticeable	122 122	Ottima penetrazione. Buona distribuzione nella porosità del materiale, si nota un lieve accumulo superficiale (film) Excellent penetration. Good distribution in material porosity, slight accumulation noticeable on surface (film)
B3/L3 (Atomo) B3/L3 (Atomo)	2.82 / 0.66 2.82 / 0.66	- 30 - 30	Lieve scurimento del tono cromatico, prodotto omogeneamente distribuito sulla superficie Slight darkening of chromatic tone, product distributed homogeneously over the surface	96 96	Il prodotto polimerico si deposita prevalentemente sulla superficie lapidea The polymer product is mainly deposited on the stone surface
B4/L4 (Fluorophase 3) B4/L4 (Fluorophase 3)	5.10/2.44 5.10/2.44	- 88 - 88	Significativo scurimento superficiale, buona distribuzione del polimero Considerable surface darkening, good polymer distribution	124 124	Buona penetrazione. Si nota la presenza di un sottile film superficiale, la penetrazione all'interno è comunque omogenea Good penetration. Fine surface film noticeable, internal penetration is homogeneous in any case
B5/L5 (Rhodorsil RC90) B5/L5 (Rhodorsil RC90)	7.56/3.53 7.56/3.53	- 95 - 95	Elevate variazioni cromatiche, presenza di localizzati accumuli superficiali Strong chromatic variations, presence of localized surface accumulation	124 124	Buona penetrazione. Evidenti alcuni accumuli superficiali ma una comunque buona diffusione all'interno della pietra Good penetration. Visible surface accumulation, but good internal diffusion inside the stone in any case

Una volta terminate le stuccature preliminari, necessarie sull'ammonitico veronese, si è proceduto alle ulteriori operazioni sulle aree di prova sia del Rosso di Verona (stuccato) che sulla trachite euganea. L'operazione di consolidamento superficiale e protezione sono state condotte mediante applicazioni, che privilegiassero l'assorbimento del prodotto.

In fig. 34 si riportano le operazioni eseguite distinguendo quelle realizzate sul Rosso di Verona da quelle sulla trachite euganea.

Il comportamento dei diversi trattamenti, in termini di efficacia e compatibilità, è stato monitorato con varie determinazioni analitiche.

Misure del colore con determinazione delle coordinate di tristimolo (CIE Lab): l'analisi, condotta su un'area della superficie prima e dopo il trattamento, permette di evidenziare, in termini quantitativi, l'eventuale variazione di colore e di tonalità della superficie. In termini generali si ritiene che variazioni di colore inferiori a un certo livello siano accettabili perché non percepibili dall'occhio umano. **Osservazioni morfologiche delle superfici trattate:** tale studio permette di verificare su campo, mediante ispezioni visive e in microscopia a fibre ottiche, l'eventuale comparsa di alterazioni o accumuli anomali. **Valutazioni di idrorepellenza** mediante misure di angolo di contatto: da questa prova è possibile valutare l'idrofobicità della superficie a seguito del trattamento. Per valori di angolo di contatto superiori a 90° la superficie è considerata non bagnabile.

I protettivi più efficaci sono in grado di far raggiungere alla superficie lapidea valori di angolo di contatto molto alti. **Prove di assorbimento d'acqua a bassa pressione (prova della pipetta):** la prova permette di valutare la quantità d'acqua che il materiale può assorbire (per unità di superficie e di tempo) sotto la pressione fornita da un battente d'acqua di circa 20 cm (paragonabile alla pressione di spinta dell'acqua piovana sulla superficie). La determinazione è stata effettuata sulla superficie tal quale e dopo trattamento.

Valutazione della profondità di penetrazione: una condizione importante, perché l'azione consolidante abbia effetto e fornisca la migliore efficacia possibile, è il grado di penetrazione nel materiale lapideo. Le valutazioni sono state condotte, mediante osservazioni in microscopia elettronica a scansione (SEM), su frammenti stratigrafici di materiale trattato in laboratorio. I provini di trachite euganea e ammonitico veronese, impiegati per le prove, sono entrambi caratterizzati da uno stato di conservazione comparabile o generalmente migliore di quello riscontrabile nelle superfici lapidee esterne della torre; la scelta di trattare materiali più compatti e di valutare su questi l'efficacia penetrativa dei sistemi polimerici permette di prevedere, nel sistema reale - più degradato - e a parità di condizioni applicative, una profondità di penetrazione verosimilmente migliore.

Once the essential preliminary filling interventions were completed on the Ammonitico veronese stone, further operations were carried out on the test areas of the Red Verona stone (with filler) as well as on the Euganea trachyte.

The surface consolidation and protection interventions were performed using applications that facilitate

the absorption of the product. Fig. 34 shows the operations carried out on the Red Verona stone and on Euganea trachyte.

The various types of treatment were monitored for efficiency and compatibility using the following analytical criteria.

Color measurement: calculated using tristimol coordinates (CIE Lab) – this analysis performed on a specific surface before and after the treatment, identifies the amounts of any variations in surface color and tone. Generally it is considered that color variations below a certain level are acceptable because they are not perceived by the human eye.

Morphological observations of treated surfaces: this permits visual inspection of any abnormal appearance, changes, or accumulation both in situ and under optical fiber microscope.

Water repellency test: through measurement of contact angle – this test can assess the hydrophobicity of a surface following treatment. For contact angles over 90°, surfaces are considered as not wettable.

The most efficient protective products are able to provide stone surfaces with very high contact angle levels.

Low pressure water absorption test (pipette test): this test can calculate the amount of water that a material can absorb (per surface unit and time unit) under the pressure supplied by a water head of approx. 20 cm (comparable to the pressure of the rainwater thrust on the surface). Testing was performed before and after treatment on the same surface.

Penetration depth measurement: the degree of penetration into stone material is an important condition in order for the consolidating action to have a correct effect and to be as efficient as possible. Measurements were made using a SEM scanning electron microscope on stratigraphic fragments of material treated in the laboratory. Tests on the samples of Euganea trachyte and Ammonitico veronese used for analyses both have a conservation level comparable to, or generally better than those found on the stone surfaces on the external walls of the Tower; the decision to apply treatment to more compact materials and to assess the penetration capacity of the polymer systems permits a better estimate of the effect in similar applicative conditions on actual stone (worse deterioration) where the penetration depth is no doubt much better.

Le indagini realizzate, sia in laboratorio che in situ, hanno fornito una serie di dati utili per le valutazioni sui prodotti più idonei da impiegare, sia per l'ammonitico veronese che per la trachite euganea. Per il Rosso di Verona si riportano i principali dati emersi nella tabella in fig. 36. Per quanto concerne il trattamento delle superfici in ammonitico veronese, le valutazioni condotte permettono di evidenziare come il comportamento, in termini di efficienza dei diversi prodotti, sia particolarmente diversificato in funzione del parametro considerato. Le buone prestazioni ottenute dai due sistemi protettivi/consolidanti Rhodorsil RC90 e Fluorophase 3, per quanto riguarda la capacità di protezione dall'acqua, sono accompagnate dalla comparsa di significative alterazioni di colore che, in entrambe le applicazioni di cantiere, superano il valore di $E=5$; essi apportano pertanto una alterazione delle caratteristiche cromatiche superficiali apprezzabili anche alla semplice ispezione visiva (fig. 37). Gli altri tre prodotti testati, tutti caratterizzati da una facile emulsionabilità in acqua, non apportano variazioni significative alla tonalità cromatica della superficie lapidea. Il Nanorep 10, in particolare, conferisce una buona protezione nei confronti dell'acqua (con diminuzione dell'assorbimento a bassa pressione del 75% e un angolo di contatto di 122°) e dimostra una elevata capacità di penetrazione, anche su materiale compatto.

Anche per quanto riguarda l'Idrosil si riscontrano buone capacità idrorepellenti (anche se più contenute rispetto ai sistemi prima discussi) e buona penetrabilità, contenuta risulta invece la diminuzione dell'assorbimento d'acqua a bassa pressione, con variazioni del parametro limitate al 14%. Le capacità idrorepellenti del sistema acrilico Atomo risultano particolarmente contenute rispetto agli altri prodotti testati; l'angolo di contatto, in particolare, risulta di poco superiore ai 90° . Sul materiale testato, caratterizzato da un'elevata compattezza, si riscontrano inoltre alcuni problemi di penetrabilità e la formazione di una significativa pellicola superficiale. Nel caso della trachite euganea i risultati vengono riportati nella tabella in fig. 43. Per questo materiale le applicazioni del Fluorophase 3, del Nanorep 10 e dell'Idrosil all'acqua, conferiscono alla superficie una buona capacità idrorepellente e di resistenza all'assorbimento a bassa pressione, con alterazioni cromatiche superiori a 5 (in termini di ΔE), registrate solamente nell'applicazione di cantiere del Nanorep 10 e che sono verosimilmente imputabili ad una eccessiva filmazione superficiale. Il Rhodorsil RC90, volutamente testato solamente nel campione di laboratorio, per non rischiare alterazioni cromatiche delle superfici (come avvenuto per l'area di cantiere sul Rosso di Verona), ha

mostrato buone capacità protettive nei confronti dell'acqua ma una non ottimale distribuzione sulla superficie e all'interno del sistema poroso della pietra, fenomeno che ha probabilmente contribuito anche al notevole viraggio cromatico, attestatosi a ΔE superiori a 7. La dispersione acrilica in emulsione acquosa (Atomo) fornisce nel complesso efficienze più limitate rispetto agli altri prodotti testati, sia in termini di capacità di penetrazione che di idrorepellenza.

Analyses performed both in the laboratory and in situ provided a range of useful data for assessing the most suitable products to be used on both Ammonitico veronese and Euganea Trachyte. The data concerning Red Verona stone is listed in the table in Fig. 36. The other three products that were tested are all easily emulsionized in water, and do not make any noticeable changes to the stone surface color. In particular, Nanorep 10, provides good water protection (with absorption reduction of 75% at low pressure and a contact angle of 122°). It has high penetration capacity even on compact materials. Idrosil also shows good water repellency capacity (although less than the systems described above) and good penetration capacity. However the reduction of water absorption at low pressure is less, with parameter variations limited to 14%. The water repellency capacity of the Atomo acrylic system was much lower than the other products tested; in particular, the contact angle was only a little over 90° . On materials that were particularly compact, there were also signs of penetrability problems and extensive

surface film was also apparent. The test results on Euganea trachyte are shown in the table in Fig. 43. Applications of Fluorophase 3, Nanorep 10 and water-based Idrosil on this material, shows good water-repellency capacity on surfaces and resistance to low pressure absorption, with chromatic changes over 5 (in ΔE), recorded only in the application of Nanorep 10 in situ, which are most probably caused by excessive surface film. The Rhodorsil RC90, was deliberately tested only on laboratory samples in order to avoid the risk of chromatic changes on the surface (as occurred for the in situ testing on Red Verona stone). It showed good water protective capacity but not very good distribution on the surface and inside the porous system of the stone, which is probably one of the reasons for the strong chromatic change with ΔE levels over 7. The acrylic dispersion in aqueous emulsion (Atomo) does not perform as well as the other products tested, both in penetration capacity as well as water repellency capacity.

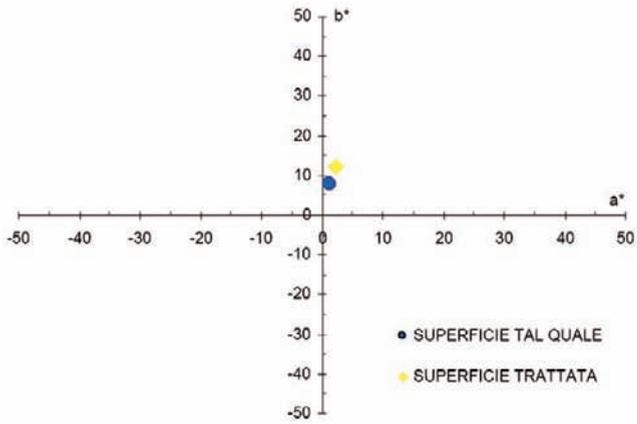


Fig. 37

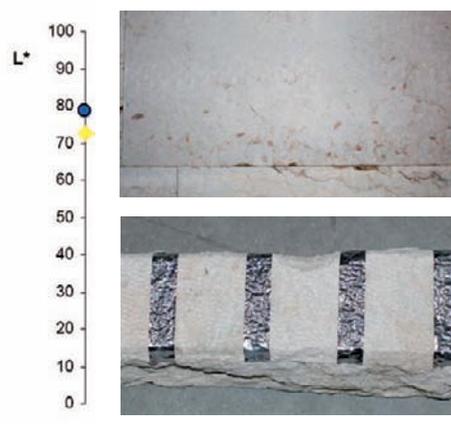


Fig. 38-39

Fig. 37 Rappresentazione grafica delle coordinate cromatiche nello spazio CIE L*a*b*. La variazione cromatica seguito del trattamento con RC 90 risulta evidente. Graph showing the chromatic coordinates in the CIE L*a*b* color space. The chromatic variations after treatment using RC 90 are clearly visible.

Fig. 38 Area di prova sul Rosso di Verona in cantiere. Test area on Red Verona stone in situ.

Fig. 39 Elemento di Rosso di Verona sul quale sono state eseguite le prove in laboratorio. Red Verona stone sample used for testing in the laboratory.



Fig. 40

Fig. 40 Prova di assorbimento d'acqua a bassapressione con il "metodo della pipetta". Low pressure water absorption test using the pipette method.

Fig. 41 Risultato della prova di assorbimento d'acqua a bassa pressione a seguito del trattamento con Nanorep. La diminuzione di assorbimento dal tal quale al trattato è pari all'80%. Results of low pressure water absorption following Nanorep treatment. The absorption reduction level between original and treated stone is 80%.

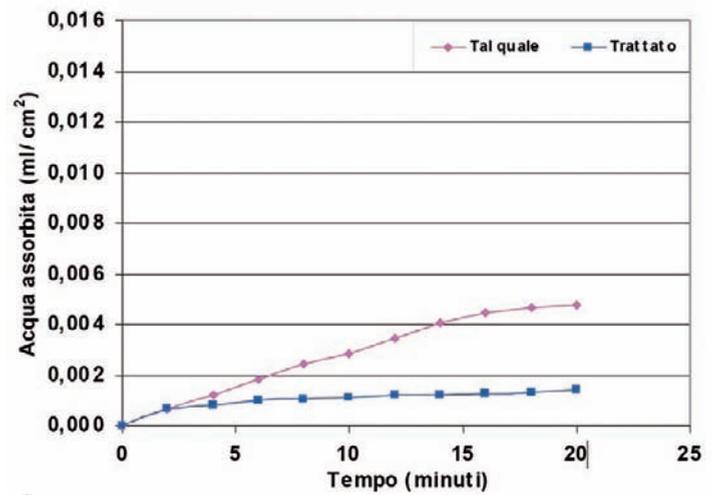


Fig. 41

Fig. 42 Misura dell'angolo di contatto a seguito dei trattamenti (nell'ordine da sinistra a destra: Idrosil [113°], Nanorep [122°], Fluorophase [124°], Rhodorsil RC90 [124°]). Measurement of contact angle after treatment (in order from left to right: Idrosil [113°], Nanorep [122°], Fluorophase [124°], Rhodorsil RC90 [124°]).



Fig. 42

Provino (trattamento) (Treatment) Sample	Variatione cromatica ΔE in situ/lab Chromatic variation ΔE in situ/lab	Variatione % assorbimento d'acqua a bassa pressione Variation % of water absorption at low pressure	Valutazioni morfologiche delle superfici trattate. Morphological results on the treated surfaces	Angolo di contatto (°) Contact angle (°)	Valutazione profondità penetrazione e distribuzione. Penetration depth and distribution results
C1/M1 (Idrosil) C1/M1 (Idrosil)	2.22 / 2.67 2.22 / 2.67	- 52 - 52	Non si notano alterazioni morfologiche delle superfici né zone di accumulo del sistema polimerico No morphological changes are noticeable on surfaces, and no areas of polymer accumulation	131 131	Ottima penetrabilità Ottima distribuzione nella porosità del materiale, non si notano accumuli superficiali No morphological changes are noticeable on surfaces, and no areas of polymer accumulation
C2/M2 (Nanorep) C2/M2 (Nanorep)	5.05 / 3.81 5.05 / 3.81	- 65 - 65	Non si notano alterazioni morfologiche delle superfici ma localizzate variazioni di brillantezza, indicativa di accumuli di polimero No morphological changes are noticeable on surfaces, but there are localised shiny areas indicating polymer accumulation	115 115	Ottima penetrabilità Buona distribuzione nella porosità del materiale, si nota però significativi accumuli superficiali Excellent penetration Good distribution in material porosity, considerable noticeable surface accumulation
C3/M3 (Atomo) C3/M3 (Atomo)	3.52 / 4.43 3.52 / 4.43	- 31 - 31	Non si notano alterazione morfologiche delle superfici né zone di visibile accumulo del sistema polimerico No morphological changes are noticeable on surfaces, and no areas of polymer accumulation	87 87	Scarsa penetrabilità. Il prodotto polimerico si deposita prevalentemente sulla superficie lapidea e nelle porzioni porose immediatamente sottostanti Scarce penetration. The polymer product is mainly deposited on the stone surface and in the immediately underlying porous portions
C4/M4 (Fluorophase 3) C4/M4 (Fluorophase 3)	5.57/3.50 5.57/3.50	- 68 - 68	Non si notano alterazioni morfologiche delle superfici ma localizzate variazioni di brillantezza, indicativa di accumuli di polimero No morphological changes are noticeable on surfaces, but there are localised shiny areas indicating polymer accumulation	111 111	Ottima penetrabilità Si nota la presenza di un sottile film superficiale, la penetrazione all'interno è comunque omogenea Excellent penetration A fine surface film is noticeable, in any case internal penetration is homogeneous
M5 (Rhodorsil RC90) M5 (Rhodorsil RC90)	7.11 7.11	- 87 - 87	La prova eseguita solo su campioni in laboratorio conferma una evidente variazione cromatica The test performed on lab samples only shows visible chromatic changes	114 114	Moderata penetrabilità. Evidenti alcuni accumuli superficiali e una distribuzione contenuta all'interno della pietra Moderate penetration. Some visible surface accumulation and limited internal distribution in the stone

Fig. 43

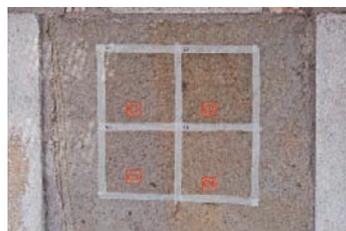


Fig. 43 Risultati complessivi delle determinazioni analitiche per le prove di trattamento sulla trachite euganea
Total results of analyses on treatment tests on Euganea trachyte.

Fig. 44 Area delle prove sulla trachite euganea in cantiere.

Test area on Euganea trachyte in situ.

Fig. 45 Concio lapideo in trachite euganea sul quale sono state condotte le prove in laboratorio.
Euganea trachyte blocks or stone - samples used for tests in laboratory.

Fig. 46 Rappresentazione delle coordinate cromatiche dello spazio CIE L*a*b*.
La variazione cromatica a seguito del trattamento con Nanorep 10 risulta evidente.
Grap showing the chromatic coordinates in the CIE L*a*b* color space. The chromatic variations after using Nanorep 10 are clearly visible.

Fig. 47 Misura dell'angolo di contatto a seguito dei trattamenti (nell'ordine da sinistra a destra: Idrosil [131°], Nanorep [115°], Fluorophase [111°], Rhodorsil RC90 [114°]).
Measurement of contact angle after treatment (in order from left to right: Idrosil [131°], Nanorep [115°], Fluorophase [111°], Rhodorsil RC90 [114°]).

Fig. 44



Fig. 45

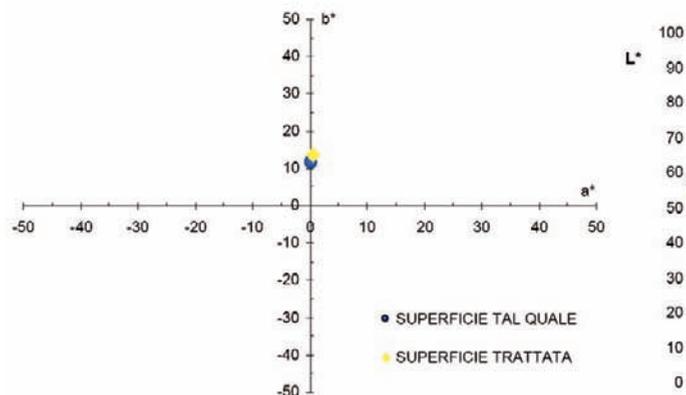


Fig. 46

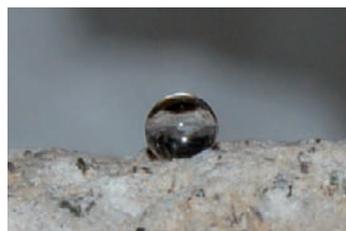


Fig. 47

Prove di stuccatura dei giunti

Una delle maggiori problematiche che interessano i rivestimenti della cuspide è costituita dalle infiltrazioni delle acque meteoriche in corrispondenza dei giunti tra le lastre lapidee.

Nei pregressi interventi di stuccatura, effettuati sulla cuspide, erano stati impiegati sistemi leganti con moduli elastici tali da non permettere una perfetta compatibilità con i - seppur minimi - movimenti del rivestimento lapideo, e si sono pertanto manifestati problemi di adesione con i conci vicini e anche di coesione con esfoliazioni localizzate. Nelle prove realizzate si è deciso di privilegiare la compatibilità fisico-meccaniche con gli elementi lapidei, coniugando anche una buona facilità di applicazione e un grado di alta reversibilità. La scelta è caduta su due sistemi leganti di natura elastomerica che, caricati con inerti a granulometria e pigmentazione appropriata, creino stucchi adatti a saturare fessurazioni di entità e gravità differenziata. I due sistemi testati sono l'Elastomarc Stucco e il Fluorophase 10, prodotti rispettivamente dal Colorificio San Marco e dalla Phase; unitamente a questi prodotti si è provato a realizzare la stuccatura dei giunti verticali mediante impiego di stoppa di piombo, materiale già impiegato in passato, ma sotto forma di lamine, per l'isolamento dei giunti orizzontali. Le situazioni che si presentano possono essere riassunte in due diverse tipologie, i giunti completamente accessibili o con malte di riempimento del tutto compromesse e quelli parzialmente vuoti con sistemi di riempimento ancora presenti. Nel primo caso si è proceduto alla rimozione delle malte degradate, alla pulitura delle superfici, al riempimento parziale dei vuoti e a una successiva sigillatura con sistemi elastici, nel secondo caso ci si è limitati alle operazioni di stilatura superficiale. In particolare, nell'area in fig. 48, si è provveduto a una preliminare scarnificazione delle malte di stuccatura preesistenti e al ripristino del giunto con un fondo a base di una miscela calce idraulica/grassello, seguito da una stuccatura e sigillatura superficiale (a vista) con due tipi di prodotti elastomerici idrorepellenti: Fluorophase 10 (Phase) applicato sul giunto di sinistra; Elastomarc stucco (Colorificio San Marco) applicato sul giunto di destra. Nel caso dell'area in fig. 49, l'intervento ha riguardato due distinte porzioni rappresentative: su una è stata realizzata una stuccatura a base del prodotto Fluorophase 10 (in questo caso, dato il minimo spessore del giunto non è necessario preparare un impasto specifico per il fondo, così come fatto invece per i giunti dell'area in fig. 48) opportunamente caricato con inerti e pigmenti compatibili con le dimensioni e le

Mortar filling tests in joints

One of the main problems that affect the materials covering the spire concerns rain water infiltration in the joints between the stone slabs.

During previous filling interventions performed on the spire, elastic module binders were used, but they were not perfectly compatible with the movement of the stonework, although the movement was minimal.

This created adhesion problems with the adjacent blocks and other problems of cohesion resulting in localized exfoliation.

During testing, it was decided to give precedence to the physical-mechanical compatibility with the stone elements, combined with ease of application and high reversibility levels. The decision was made to test two elastomer binder systems mixed with suitable inert material with appropriate granulometry and pigmentation to create mortar able to saturate cracks and splits of varying sizes and deterioration levels. The two systems selected for testing were Elastomarc Stucco and Fluorophase 10, manufactured by Colorificio San Marco and Phase respectively; together with these products attempts were made to create a vertical joint filling mortar using lead flashing, a method already used in the past, as insulation on the horizontal joints, however in the form of lead strips.

The situations to be resolved fall

into two categories: joints that are completely open, or in which the filler has deteriorated completely, and those which are partially empty with remaining filler still present. In the first case, the disintegrated mortar was removed, all the surfaces were cleaned, the empty portions were partially filled, followed by elastic filler sealing, whereas, in the second case only surface sealing was necessary. In particular, in the area shown in Fig. 48, the previous filling mortar was subjected to preliminary scraping, then the joint was repaired with a mixture of hydraulic lime and lime putty or slaked lime applied to the internal part, followed by surface sealing (visible) using two types of water repellent elastomer:

Fluorophase 10 (Phase) applied to the joint on the left-hand side Elastomarc stucco (Colorificio San Marco) applied to the joint on the right-hand side In the case shown in the area in Fig. 49, the intervention concerned two separate but representative portions: a Fluorophase 10 based filler was used on one portion (in this case, given the narrow width of the joint it was not necessary to mix a specific paste mixture for the interior, as was required for the joints in the area in Fig. 48) mixed with suitable inert materials and pigments compatible with the size and chromatic characteristics of the portions to be filled; in another

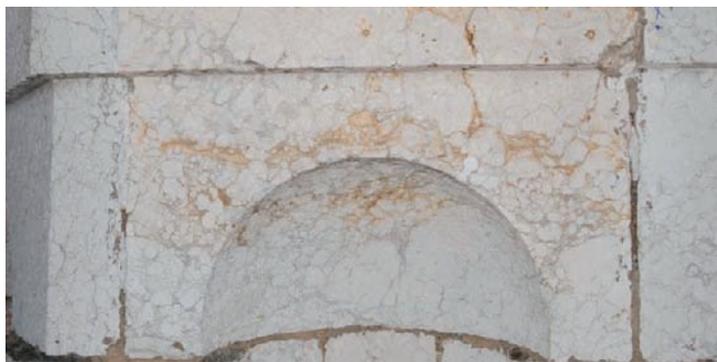


Fig. 48



Fig. 49

Fig. 48 Prima area di prova per il risarcimento dei giunti.
First test area for joint repair work.

Fig. 49 Seconda area di prova per il risarcimento dei giunti.
Second test area for joint repair work.

Fig. 50 Particolare della stuccatura realizzata con il prodotto Fluorophase 10.
Detail of the filling using Fluorophase 10.

Fig. 51 Interfaccia tra stuccatura e superficie lapidea, si nota la buona coesione del sistema sigillante e l'ottima adesione alla pietra.
Microscopia a fibre ottiche (ingr. 50x).
Interfacing between the filling and the stone surface; good cohesion is visible between the sealant and the excellent adhesion to the stone. Optical fiber microscopy (enlarg. 50x).



Fig. 50



Fig. 51



Fig. 52



Fig. 53

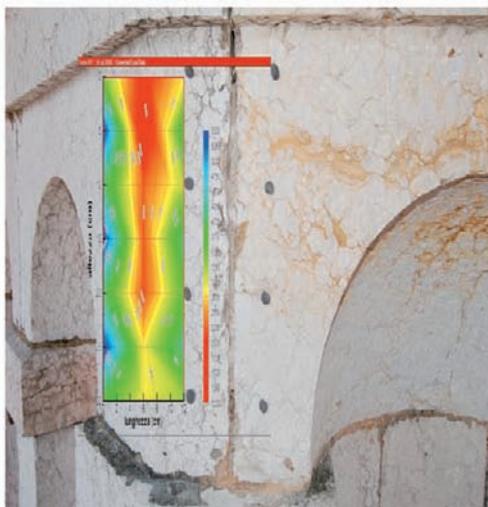


Fig. 54

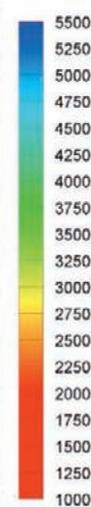
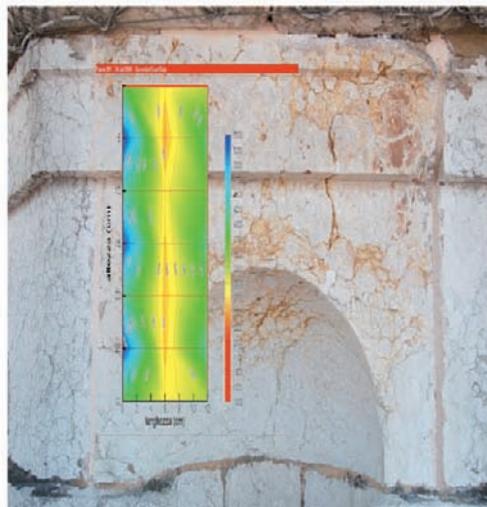


Fig. 52 Particolare della stuccatura realizzata con il prodotto Elastomarc Stucco.
Detail of the filling using Elastomarc Stucco.

Fig. 53 Interfaccia tra stuccatura e superficie lapidea: si nota una non trascurabile porosità del sistema sigillante e limitatamente ad alcune zone, una non perfetta adesione con la pietra. Microscopia a fibre ottiche (ingr. 50x).
Interfacing between the filling and the stone surface; a certain amount of porosity is visible in the sealant, less than perfect adhesion to the stone is limited to a few areas. Optical fiber microscopy (enlarg. 50x).

Fig. 54 Confronto delle valutazioni di adesione mediante tomografia ultrasonica condotte prima (foto sx) e dopo (foto dx) del trattamento di stuccatura a riempimento del giunto verticale. La legenda indica la corrispondenza tra le tonalità cromatiche riportate nei grafici di tomografia alla velocità ultrasonica determinata, espressa in m/s.
Comparison of adhesion levels using ultrasound tomography, performed before (left-hand photo) and after (right-hand photo) vertical joint mortar filling. The key indicates the chromatic tones shown in the tomographic graphs and the ultrasound speed expressed in m/s.

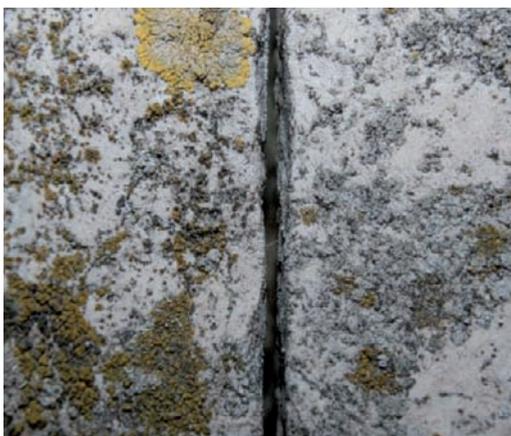


Fig. 55

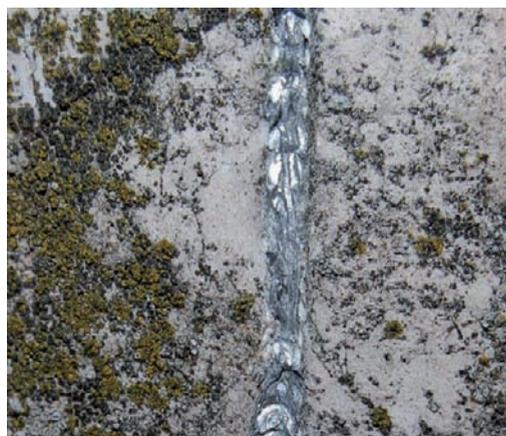


Fig. 55 Particolare del giunto verticale prima (a sinistra) e dopo (a destra) la stuccatura con stoppa di piombo.
Detail of the vertical joint before (left) and after (right) filling with lead flashing.

Fig. 56 Giunto dopo stuccatura, microscopia a fibre ottiche - ingr. 20x - si notano i segni della lavorazione della stoppa e le discontinuità tra questa e il concio lapideo.
Joint after filling, optical fiber microscopy (enlarg 20x) here the signs of punching on the flashing are clearly visible, as well as discontinuity between the lead and the stone block.



Fig. 56

caratteristiche cromatiche delle porzioni da riempire; in un'altra zona è stata realizzata una stuccatura con stoppa di piombo. Le osservazioni condotte per verificare l'adesione degli elementi lapidei con i sistemi di stuccatura e le caratteristiche coesive di questi ultimi, hanno previsto l'osservazione morfologica in microscopia a fibre ottiche delle superfici (figg. 50, 51, 52, 53). Limitatamente alla prima area, in cui è stato applicato il sistema polimerico Fluorophase, si è provveduto a un approfondimento analitico eseguito con test ultrasonici per verificare la continuità concio-giunto-concio prima e dopo la stuccatura (fig. 54). Le osservazioni morfologiche condotte in microscopia a fibre ottiche e i monitoraggi ultrasonici permettono di evidenziare l'ottenimento di un buon livello di adesione e di continuità tra pietra e gli impasti elastomerici di stuccatura, sia per quanto riguarda il Fluorophase 10 che l'Elastomarc Stucco; in quest'ultimo caso si deve comunque registrare la comparsa di zone non perfettamente adese alla pietra anche se risultano limitate e contenute. In corrispondenza di un giunto verticale è stata eseguita anche una prova di riempimento con stoppa di piombo, la scelta di impiegare questo materiale deriva anche dal diffuso impiego che ne è stato fatto in occasione dei precedenti lavori sulla torre. In particolare sul rivestimento lapideo della cuspide il piombo rappresenta il principale sistema di sigillatura dei giunti orizzontali tra i conci lapidei in Rosso di Verona. Il piombo impiegato, che si presenta sotto forma di filamenti con diametri inferiori al millimetro, viene posizionato all'interno della fessura e compresso al suo interno per mezzo di un apposito puntale metallico. Nel corso dell'operazione si inserisce per gradi la stoppa in profondità (a seconda della profondità della fuga può essere necessario preapplicare un materiale riempitivo per non utilizzare troppo metallo), si procede così al riempimento completo del giunto. La pressione applicata con il puntale fa dilatare il metallo che tende pertanto a occupare tutti gli spazi disponibili. Le osservazioni del giunto in microscopia ottica permettono di evidenziare, oltre ai normali segni della punzonatura del piombo, la presenza di alcune discontinuità sia tra i filamenti del metallo che tra questo e il bordo del concio lapideo, a indicazione di una non ottimale sigillatura (figg. 55 e 56).

zone, filling was performed using mortar and lead flashing.

Inspections carried out to check the adhesion of the filler with the stone element and the cohesive characteristics of the filler products were performed with morphological tests on the surfaces using optical fiber microscopy (Figs. 50, 51, 52, 53).

In the first area only, where the Fluorophase polymer was applied, highly accurate analyses were performed using ultrasound tests to control the block-joint-block continuity levels before and after filling operations (Fig. 54). The morphological tests performed using optical fiber microscopy and the ultrasound measurements demonstrated that the adhesion levels and the continuity between the stone and the elastomer filling products gave excellent results, both for Fluorophase 10 as well as Elastomarc Stucco; in the second case however, certain areas did show signs of less perfect adhesion to the stone, even though these areas are very limited and few in number. A filling test was also made on a vertical joint including lead flashing; the decision to use this material was influenced by the fact that it has been widely used

in previous interventions on the Tower. In particular, on the stone slabs covering the spire, lead was the main sealing system used for the horizontal joints between the Red Verona stone slabs. This lead, which is used in filament form with a diameter less than a millimeter, is positioned inside the crack and compressed, by pushing down on it with a fine metal pointed tool for this purpose. The operation consists in inserting the lead threads as far as possible into the interior, a little at a time (where the cracks are too deep, it may be necessary to compensate with some filler product beforehand, to avoid using too much lead). When this is finished, the filling operation is completed. Pressure applied by the pointed metal tool dilates the lead which tends to occupy all the available space. Inspections of the joint under an optical microscope make it possible to observe, not only the identification marks on the lead, but also certain signs of discontinuity between the lead filaments, as well as between the lead and the edge of the stone block, demonstrating that the sealing action was not efficient (Figs. 55 and 56).

Prove di rimozione dei rifacimenti con impasti di resine epossidica

La presenza di impasti con leganti a base di resina epossidica rappresentano sicuramente la principale peculiarità rinvenuta sulla torre, per questo sono stati studiati, sia in sede di caratterizzazione chimica, che di approfondimento analitico, teso a individuare i migliori sistemi di intervento. Gli impasti a base di resina epossidica, utilizzati indistintamente come ristilatura, stuccatura, riempimento di lacune o copertura di grappe metalliche, sono realizzati caricando perlopiù la resina con frammenti di biancone e polvere delle diverse pietre a scopo mimetico, presentano una caratteristica rugosità superficiale (figg. 57 e 58).

Nel tempo l'indiscutibile tenacia degli impasti epossidici, che rappresentava il punto di forza della scelta di intervento, si è trasformata nel punto di debolezza del sistema; varie sigillature sono compromesse e in corrispondenza di alcuni rifacimenti si registrano sollevamenti e distacchi. Di più, il differente comportamento elastico dei rifacimenti rispetto alle lastre lapidee è la principale ragione di un'incompatibilità fisico-chimica dei sistemi, che incrementa in alcune aree il degrado, portando alla comparsa di fessurazioni, accessi preferenziali per l'acqua. Spesso e volentieri inoltre le notevoli capacità adesive hanno permesso una forte interazione con la pietra, spostando il fronte di eventuali distacchi nella pietra stessa (sistema più debole). Quindi i distacchi sono risultati particolarmente traumatici per il materiale sottostante che viene esfoliato e intaccato anche considerevolmente (fig. 59). Nelle aree a maggiore profondità le integrazioni sono state effettuate stendendo diversi strati di malta epossidica formando un sistema a due o tre successive stesure, aspetto da tenere in conto in fase di ricerca di un sistema di rimozione (fig. 60). In questa situazione è risultato fondamentale delineare una tecnologia di intervento che fornisca un metodo di asportazione di questi impasti efficace e rispettoso dei supporti. Vista infatti la debolezza (figg. 61 e 62) che si riscontra nel materiale lapideo, sono da scartare in partenza sistemi di rimozione meccanica, perché porterebbero a un elevato degrado del supporto lapideo. Ci si è quindi orientati verso l'individuazione di un sistema in grado di indebolire la struttura del legante epossidico, per facilitarne l'asportazione in modo controllato. Un primo approccio teorico parte da una serie di valutazioni sul rapporto tra la natura del legante epossidico, efficacia del solvente e natura dei legami, nonché sui parametri di solubilità (Fd, Fp e Fh) di differenti prodotti individuati nel Triangolo di Teas (o di solubilità – fig. 63)¹¹. Inizialmente su alcuni campioni di dimensione contenuta, prelevati in corrispondenza delle parti sollevate e ormai compromesse delle malte epossidiche, sono state realizzate una serie

Tests for removing repairs made with epoxy resin based mortars

The presence of mortars with epoxy resin based binders represents one of the difficult aspects discovered on the Tower, and therefore surveys were carried out to determine their chemical characteristics, and analyses were performed aimed at identifying the best possible means of intervention. The epoxy resin based mortars, which were used indiscriminately for sealing, crack filling, gap fillers, or to cover metal anchors, were mainly produced by mixing resin with white limestone fragments and other various stone pieces for mimetic reasons, and have a typically rough surface. (Figs. 57 and 58). Over the years, the unmistakable tenacity of epoxy mortars, which was the strong focal point for their choice in repair intervention, was transformed into the weak point of the system; a number of sealing operations have been compromised and a lot of repair work now shows signs of raising and detaching from the underlying material. In addition, the varying elastic behaviour of the repair materials in comparison to the stone blocks is the main reason for the physical-chemical incompatibility which has increased the deterioration in certain areas, provoking cracking which in turn leads to water infiltration. Worse still, very often the considerable adhesive capacity of the resin has created a strong interaction with the stone, provoking stone detachment – since the stone is the weaker material. Therefore this detaching action is particularly

problematic for the underlying materials which tend to exfoliate and become strongly corroded (Fig. 59). In the areas where damage was deeper, integration work was performed by applying various layers of epoxy mortar to form a system composed of 2 or 3 successive applications. This aspect had to be taken into consideration during research into removal techniques (Fig. 60). In situations such as these it was discovered that it is essential to identify intervention technology that is able to provide a removal method for these resins that is efficient, but which respects the underlying stone support. In fact, given the weakness encountered in the stone material (Figs. 61 and 62) all forms of mechanical removal systems are to be avoided because they could lead to strong deterioration of the underlying stone. Therefore research must be directed towards identifying a system able to weaken the structure of the epoxy binder, to facilitate removal while maintaining perfect control of the process. A first theoretical approach began with various evaluations on the relations between the nature of the epoxy binder, the efficiency of the solvent and the nature of the bonds, as well as the solubility parameters (Fd, Fp and Fh) of different products identified in the Teas solubility Triangle (Fig. 63)¹¹. Initially a set of tests was performed on several small-sized samples taken from raised pieces of

di prove con l'impiego di solventi e miscele a bassa tossicità e contenuto impatto ambientale. Le prove sono state seguite con osservazioni in microscopia e saggi di consistenza degli impasti epossidici, mediante penetrazione con una punta metallica, realizzati a intervalli di tempo regolari (fig. 64)¹².

epoxy mortar which were already compromised, using solvents and low toxic mixes with limited environmental impact.

Testing on the samples was performed by viewing under a microscope and with consistency tests, through penetration at regular intervals using a pointed metal tool (Fig. 64)¹².

¹¹Teas Jean P., *Graphic Analysis of Resin Solubilities*, J.Paint Technologies, 1968, 40 (516), pp. 19-25

¹²G. Biscontin, R. Cadignani, U. Darsia, G. Driussi, D. Labate, G. Longega, S. Lugli, M. Mazzari, Z. Morabito,

F. Piccinini, *Torre della Ghirlandina, Modena: proposta per un 'Restauro del Restauro'*, Scienza e Beni Culturali XXIV 2008, pp. 1127-1136

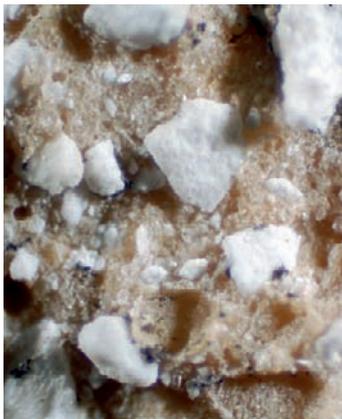


Fig. 57



Fig. 58



Fig. 59-60

Fig. 57 Particolare della superficie degli impasti epossidici.
Detail of epoxy mortar surface.

Fig. 58 Particolare della superficie degli impasti epossidici dopo attacco acido. La componente carbonatica dell'aggregato si decompone lasciando in evidenza il legante epossidico, che mantiene una buona tenacità.
Detail of an epoxy mortar surface after aggressive treatment with an acid. The carbonatic component of the aggregate decomposes leaving the epoxy binder clearly visible, maintaining its strong tenacity.

Fig. 59 Particolare di scagliature dovute al distacco delle malte epossidiche.
Details of flaking caused by detached epoxy mortar.

Fig. 60 Particolare di un'integrazione epossidica in cui è evidente la sovrapposizione di strati differenti.
Detail of epoxy resin integration where the different layers are clearly visible.

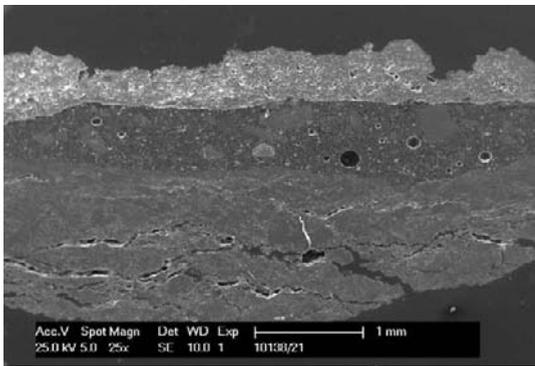


Fig. 61

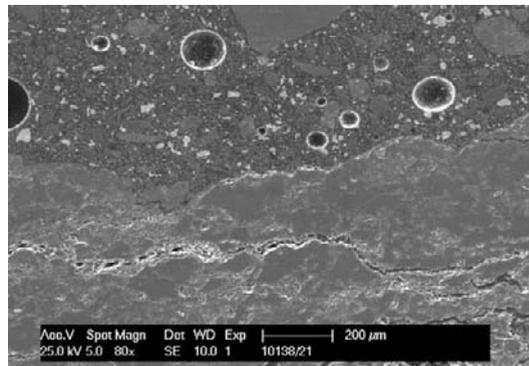


Fig. 62

Fig. 61 Microscopia elettronica a scansione (backscattering) di una sezione in cui si nota un deposito superficiale esterno, un impasto di resina epossidica nella parte centrale, e una frazione del materiale lapideo nella parte interna.
Scanning electronic microscope (backscattering) of a section where the external surface deposit is visible, with the epoxy resin layer in the centre and a fraction of stone material on the internal portion.

Fig. 62 Microscopia elettronica a scansione (backscattering). Ingrandimento dell'area di contatto tra le resina epossidica il lapideo. La forza di adesione della resina ha superato la coesione della pietra. L'incompatibilità elastica tra i due sistemi ha portato alla comparsa di fessurazioni e distacchi nel materiale lapideo.
Scanning electronic microscope (backscattering). Enlargement of the contact area between the epoxy resin and the stone. The adhesion strength of the resin is stronger than the cohesion of the stone. The elastic incompatibility between the two materials had led to cracking and detachment of the stone.

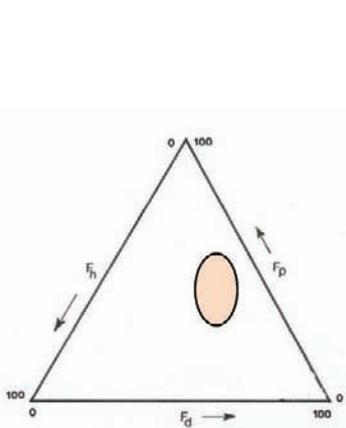


Fig. 63

Fig. 63 Triangolo di Teas o di solubilità.
Teas solubility triangle.

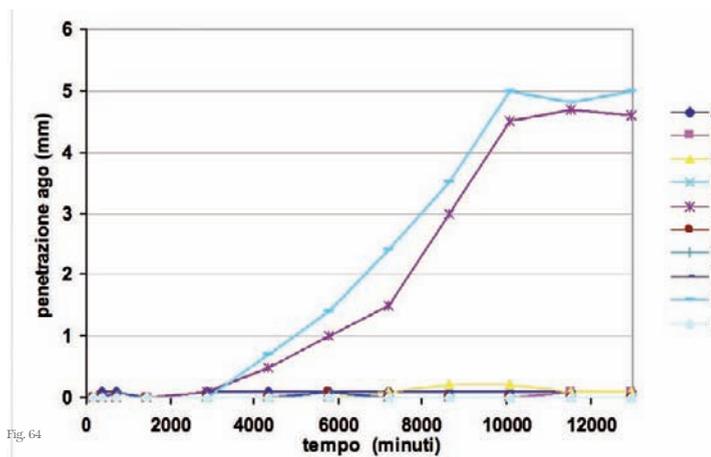


Fig. 64

Fig. 64 Grafico del livello di penetrazione di un ago metallico sotto peso costante sulla superficie della malta epossidica trattata con i diversi solventi (indicate dalle lettere dalla A alla L).
Graph of the penetration level of a metal needle under constant pressure on the surface of the epoxy mortar treated with various solvents (identified by letters A to L).

Le prove hanno confermato la generale tenacità degli impasti, con una maggiore sensibilità però per i sistemi contenenti solventi dipolari aprotici. L'applicazione di questi prodotti è durata nove giorni, i risultati mostrano come, solo nel caso di due prove (Epoxi Remover – prodotto E – ed Epoxi Remover Plus – prodotto I), si registri un indebolimento delle malte epossidiche con un massimo di azione a sette giorni. Si deve sottolineare come l'inizio dell'azione dei solventi non è immediato, ma si registra dopo circa tre giorni di contatto. La parte superficiale del campione presenta un leggero rigonfiamento con successiva formazione di piccole scagliature, facilmente rimovibili in un secondo tempo con blanda azione meccanica; l'indebolimento resta confinato nella parte più esterna degli impasti epossidici raggiungendo al massimo una profondità di circa 5 mm. Un ulteriore sviluppo dello studio ha visto una serie di applicazioni su un campione più grande con i prodotti più efficaci supportati da un gel, a base di cellulosa, per favorire un contatto più intimo anche per superfici verticali (fig. 65). Il risultato è stato soddisfacente confermando le prime osservazioni desunte dalle indagini preliminari sui frammenti più piccoli.

Si è arrivati a delineare con sufficiente precisione una metodologia di intervento, rispondente alla maggior parte dei requisiti che ci siamo prefissati. Infatti, alla fine dell'applicazione dei gel per circa una settimana, si evidenzia un indebolimento della malta epossidica con la presenza di esfoliazioni di piccole scaglie nella parte esterna (fig. 66), facilmente rimovibile, in un secondo momento, mediante azione meccanica (fig. 67). Interessante risulta la possibilità di calibrare la profondità dell'intervento, asportando la malta in successione, a spessori discreti. Risulta inoltre una metodologia applicativa piuttosto semplice (applicazione di impacchi), anche se si deve porre attenzione alla fase di isolamento e sigillatura delle applicazioni. Si deve infatti evitare che i sistemi attivi si allontanino nell'intervallo di tempo utile per l'efficacia dell'azione, che si aggira (alle temperature di circa 20 °C) intorno a 6-7 giorni.

Con i prodotti più efficaci si è proceduto a due ulteriori prove condotte direttamente in cantiere, una in prossimità di un'area con conci in Rosso di Verona (fig. 68) e una nella zona con trachite euganea (fig. 69). Gli impacchi sono stati lasciati in sito per circa sette giorni, coperti con pellicola in pvc e protetti dagli agenti atmosferici con teli di nylon sigillati, la rimozione della resina è avvenuta correttamente così come osservato nelle prove di laboratorio. I due sistemi solventi permettono una rimozione della resina epossidica in modo selettivo e per strati (modulabile e facilmente controllabile), la superficie che viene a diretto contatto con gli impacchi si ammorbidisce e si creano delle piccole scaglie asportabili facilmente e delicatamente mediante l'utilizzo del bisturi.

The tests confirmed the general tenacity of the mortar, however, they showed greater sensitivity with systems containing aprotic dipolar solvent. The application of these products was continued for 9 days, and tests demonstrated that only in two cases (Epoxi Remover – product E – and Epoxi Remover Plus – product I), was there any weakening of the epoxy mortar with a maximum action of 7 days. It must be stated that the solvent action is not immediate, but begins to show results after 3 days of contact. The surface part of the sample showed signs of slight swelling, and later formed a little flaking that is easy to remove with gentle mechanical brushing or scraping; the weakening remains confined to the more external layer of the epoxy mortars reaching a maximum depth of about 5 mm. Further testing was performed with a range of applications on a larger sample with more efficient products on a cellulose gel base to create closer contact even with vertical surfaces (Fig. 65). The results were satisfying, confirming the initial observations deduced from the preliminary tests on the small fragments.

It was therefore possible to define an intervention method with sufficient precision, able to deal with the major part of the requirements which had been established. In fact, gel application for about a week, showed signs of weakening of the epoxy mortar with exfoliation and slight flaking on the external surface (Fig. 66), which is easily removed by brushing/scraping (Fig. 67). Interesting results showed that it was possible to regulate the intervention depth, by removing the mortar in stages in fine layers. The method in itself is quite simple (pack

application), even though some care must be taken to make sure the product is isolated and well-sealed. The important aspect is to ensure that the active systems remain in contact with the resin during the specified period of time necessary for efficient action. This is generally about 6-7 days at a temperature of approximately 20°C. Two further tests were performed directly on site using more efficient products. These were tested in areas with Red Verona stone blocks (Fig. 68) and in areas with Euganea trachyte (Fig. 69). The packs were left in position for approximately 7 days, covered with a layer of pvc film and protected from atmospheric agents by sealed nylon cloth. The resin was removed easily, exactly in the same manner as the laboratory tests. The two solvent systems permit epoxy resin removal in a selective manner, and layer by layer (easily regulated and manageable in module form). The surface that is in direct contact with the pack softens and slight flaking occurs. The flakes are easily removed by gentle scraping with a scalpel. This operation can be facilitated and accelerated by spraying low pressure steam at a controlled temperature of 35 °C. (The application cycle is shown in the photos in Figs. 70, 71, 72, 73). The large amount of information that was collected has been extremely important and will be essential for making a critical and well-informed choice on the intervention method to be adopted, as well as selecting the most appropriate products for each case. It is considered especially important to develop products which are as eco-compatible as possible, while keeping in mind that the restoration work must also be highly efficient. Methods must also be



Fig. 66



Fig. 67



Fig. 65

Fig. 65 Particolare del campione per lo studio di rimozione con i prodotti più efficaci. Detail of the sample on which further tests were performed for removal using more efficient products.



Fig. 68

Fig. 66 Formazione delle scaglie a 3 giorni di applicazione del sistema solvente supportato da gel di cellulosa. Flaking formation 3 days after application of the solvent on a cellulose gel base.

Fig. 67 Particolare della rimozione dopo una settimana di applicazione con rimozione a bisturi. Detail of removal using a scalpel a week after application.

Fig. 68 Area della prova di rimozione degli impasti su conci di Rosso di Verona. Test area for epoxy resin removal tests on Red Verona stone blocks.



Fig. 69

Fig. 69 Area della prova di rimozione degli impasti su conci di trachite. Test area for epoxy resin removal tests on trachyte blocks.



Fig. 70

Fig. 70 Particolare della zona A sulla trachite euganea prima dell'intervento. Detail of zone A on a sample of Euganean trachyte before application.



Fig. 71

Fig. 71 Particolare della zona A sulla trachite euganea dopo la rimozione dell'impasto. Detail of the zone A on the Euganean trachyte after the epoxy resin removal.



Fig. 72

Fig. 72 Particolare della zona A a seguito dell'impacco estrattivo – si nota il rigonfiamento e l'indebolimento della resina con la successiva scagliatura. Detail of zone A following the pack application. Swelling and weakening of the resin with successive flaking is clearly visible.



Fig. 73

Fig. 73 Dopo la rimozione dell'impacco l'area viene pulita tramite lavaggio con vapore e blanda azione meccanica. After packs are removed, the area is cleaned by steam washing and light brushing/scraping action.

L'operazione può essere favorita e accelerata mediante spruzzi di vapore a temperatura controllata di 35 °C e a bassa pressione (il ciclo di applicazione viene riassunto fotograficamente nelle figg. 70, 71, 72, 73). La molteplicità delle informazioni raccolte costituisce senza dubbio un valido supporto per una scelta critica e consapevole delle metodologie di intervento da adottare, nonché per i prodotti più adeguati. Sotto questo profilo si ritiene di particolare importanza sviluppare l'uso di prodotti il più possibile ecocompatibili, pur nell'ottica di un'alta efficacia del restauro, fornendo comunque metodologie di facile applicabilità, modulabili e adattabili alle diverse situazioni. Inoltre riteniamo di particolare importanza l'aver testato ed evidenziato la effettiva possibilità di rimuovere sistemi di natura epossidica contrariamente a quanto abitualmente ritenuto.

easily applicable, and it must be possible to create modules adaptable to the various situations. Lastly, it is felt that it has been especially important to have tested and demonstrated the actual possibility of removing epoxy systems, despite the fact that this was considered impossibility. The large amount of information that was collected has been extremely important and will be essential for making a critical and well-informed choice on the intervention method to be adopted, as well as selecting the most appropriate

products for each case. It is considered especially important to develop products which are as eco-compatible as possible, while keeping in mind that the restoration work must also be highly efficient. Methods must also be easily applicable, and it must be possible to create modules adaptable to the various situations. Lastly, it is felt that it has been especially important to have tested and demonstrated the actual possibility of removing epoxy systems, despite the fact that this was considered impossibility.

Il progetto di restauro

Restoration Project

IL PROGETTO THE PROJECT
PER L'INTERVENTO: FOR THE INTERVENTION:
SCELTE E ASPETTI CHOICES AND
METODOLOGICI OPERATING METHODS

Guido Biscontin



La conservazione delle superfici architettoniche di natura lapidea, sia naturale che artificiale, ha avuto negli ultimi decenni un notevole sviluppo sia in termini quantitativi, che per lo sviluppo di prodotti e tecnologie per l'intervento. Bisogna sottolineare che nel 1985 sono state pubblicate delle raccomandazioni Normal che hanno fornito al settore applicativo indicazioni significative sia sulle tecnologie e metodologie, sia indirizzando la scelta di prodotti per le varie operazioni, ma sono comunque passati più di vent'anni e tali indicazioni sono in gran parte obsolete.

Si può comunque osservare che l'istanza di base negli indirizzi teorici non è sostanzialmente cambiata, ma si riconosce in indicazioni abbastanza riferibili alle varie carte del restauro e recepite dalle istituzioni di tutela. Nel caso specifico della torre Ghirlandina di Modena, si è seguita la prassi più corretta, cioè "conosco, valuto e decido consapevolmente". Quindi il progetto diagnostico si sviluppa attraverso una serie di indagini sia storico-archivistiche che materiche e strutturali e altre ricerche ben descritte in questo volume. Si tratta di valutare le varie condizioni di stabilità di strutture e materiali della superficie, in particolare degli elementi lapidei, mettendo in evidenza il livello di degrado raggiunto. Si può notare che il comportamento delle pietre in generale segue processi e meccanismi di degrado che possono essere ritenuti conseguenti alle azioni ambientali in un'area urbana. Sono processi noti in generale che naturalmente si manifestano in modo diverso e specifico in relazione ai diversi materiali ed esposizione. Certamente i materiali carbonatici come pietra di Aurisina e pietra di Vicenza si degradano con meccanismi legati alla natura chimica, ma quello che influenza maggiormente il comportamento è la porosità, alta per il calcare di Vicenza, molto ridotta per l'Aurisina. Con il risultato di un degrado profondo con perdita di coesione e polverizzazione per la pietra di Vicenza e invece superficiale per l'Aurisina. Diverso e inaspettato il degrado della trachite euganea che essendo lapideo di natura vulcanica non è direttamente attaccato dalle azioni acide ambientali, ma si nota invece un aumento di porosità e un'evidente perdita di aggregazione (vedi pag. 130 e segg.). Il tipo di degrado richiede un intervento di riaggregazione o meglio di consolidamento superficiale.

La pietra di Verona, molto presente, ha il caratteristico degrado differenziato a seconda della sua struttura o meglio tessitura eterogenea con parti calcaree compatte e parti con componenti argillose significative che si alterano più rapidamente e in termini specifici.

Ci sono poi alcune interessanti situazioni, esistono depositi e croste nere incoerenti, ma in diverse zone, in particolare negli elementi scultorei come statue e bassorilievi, si possono osservare scialbature giallastre a base di leganti proteici come caseina e latte mescolate con pigmenti gialli a base di ossidi di ferro (ocre), queste patine in parte si sono trasformate in ossalati di calcio.

The conservation of stone architectural surfaces, whether natural or artificial, has developed considerably in the last few decades, not only for the quantity of techniques, but also for the great development in the products and technologies employed in these interventions. It should be emphasised that although the Normal standards/guidelines published in 1985, were responsible for providing the restoration sector with important information on technology as well as application methods, with indications for choosing specific products for the various operations, this occurred more than 20 years ago and for the most part, these indications have now become obsolete.

However, it can be observed that the basic principles of the trend of the theories of the time have not changed to a great extent, but have much in common with the tendencies to be found in various restoration criteria and adopted by the official institutions responsible for conservation and protection.

In the specific case of the Ghirlandina Tower in Modena, the procedure that was adopted was the most appropriate example; in other words, to be fully aware of the situation, assess it, and make a decision accordingly. This resulted in the diagnostic project that was developed by means of a range of research surveys, not only through historical archives, but also considering the materials, the structure, and other surveys which have been described in detail in this book. It was necessary to assess the various conditions of structural and material stability of the surfaces, especially those of the stonework, and identify the levels of deterioration that had occurred. We are well aware that the behaviour of stone in general follows certain deterioration processes and mechanisms that

can be considered as the result of environmental action in an urban area. These are processes which are commonly familiar although naturally they occur in different and specific ways according to the various materials and their exposure. There is no doubt that carbonatic materials like Aurisina and Vicenza stones deteriorate through mechanisms linked to reasons of a chemical nature, but the aspect that affects their behaviour to the greatest extent is their porosity, which is decidedly high in Vicenza limestone, and very reduced in Aurisina stone. This results in strong deep deterioration with a loss of cohesion and a pulverizing action in Vicenza stone, while it is reasonably superficial in Aurisina stone. The deterioration level in Euganean trachyte is quite different and unexpected, because since it is volcanic stone it is not attacked directly by environmental acid action, but as is apparent, there is an increase in the porosity and an unmistakable loss in aggregation (see pages 130).

Dalle osservazioni di sezioni stratigrafiche si è potuto verificare che spesso tali trattamenti artificiali e quindi eseguiti e voluti, hanno creato uno strato compatto sopra al supporto lapideo e che in generale l'interfaccia patina-pietra è ancora ben delineata e non indica processi di degrado in atto. In alcune micrografie è evidente la stratigrafia con depositi di particellato e gesso sopra alla patina artificiale. Ancora è doveroso sottolineare che sin dalle prime osservazioni si è evidenziata la presenza e l'azione negativa delle scelte e dei prodotti relativi a un intervento effettuato nel 1973, quando furono usate per le molteplici operazioni di restauro delle superfici lapidee resine di natura epossidica. Il prodotto o i prodotti notoriamente irreversibili, poco stabili, fortemente tenaci e poco elastici furono usati tale quali, mescolati con inerti (sabbie, polveri di pietra, altro) per fare malte, stucchi, ecc. per risarcire lacune, sigillare fessure, incollare frammenti, ecc. Tali interventi in vari casi hanno indotto processi di degrado di tipo meccanico dovuti proprio all'incompatibilità nei comportamenti tra le interfacce pietra/resina (vedi pag. 118 e segg.). Con le osservazioni in loco e le corrispondenti analisi è stato possibile valutare alcune scelte e indirizzi di fondo per l'intervento, valutando di mantenere gli interventi con epossidiche dove non si osservano e valutano problemi di degrado anche potenziali, per esempio molte sigillature, mentre per altre parti dove l'incompatibilità è evidente e avanzata si va verso una eliminazione delle epossidiche. Si tratta di un problema nuovo e molto difficile da risolvere, la resina epossidica è irreversibile, pertanto è stato necessario uno studio specifico sia per la scelta dei solventi sia per le modalità e le tecnologie necessarie; si tratta di un'operazione laboriosa, ma le ricerche di laboratorio e applicate poi in loco hanno dato soluzioni significative al problema (vedi pag. 208 e segg.). Sulla base delle conoscenze e con un'attenta lettura della superficie si è potuta sviluppare una ricerca applicata per definire in modo preciso le varie operazioni ossia: **pulitura-lavaggio, stuccatura, incollaggi, consolidamento superficiale, protezione**. Sin dalle prove di laboratorio e in loco, si è proceduto sviluppando le operazioni seguendo gli indirizzi del minimo intervento, sviluppando tecnologie e prodotti che agiscano in modo selettivo sui materiali nocivi presenti. Sono state fatte alcune scelte di base nell'individuazione dei prodotti più idonei per le varie operazioni, tenendo conto prioritariamente delle problematiche relative alla prevenzione, tossicità, e aspetti ecologici relativi per esempio ai reflui dei vari sistemi usati.

The type of deterioration requires a reaggregation intervention, or better still, surface consolidation. Verona stone, present in considerable quantities, suffers from a specific type of deterioration according to its structure or rather, its heterogeneous texture composed of certain compact limestone parts, and others with considerable argillaceous or shaly components which change more rapidly and in specific ways. Then there are some rather interesting situations, where incoherent black encrusting and deposits occur, but in different areas, and in particular in the carved elements like the statues and the bas-relief work there is a yellowish wash with a proteic bonding agent, such as casein and milk mixed with ferrous oxide based pigments (ocre), and these patinas have partially been transformed into calcium oxalate. Examination of the stratigraphic sections has shown that often these artificial treatments, and therefore quite deliberately applied, have created a compact layer over the stone support base, and that generally the patina-stone interfacing is still well-defined and shows no signs of deterioration underway. In certain micrographic photos the stratigraphy is quite clear showing particulate and plaster or whitewash deposits over the artificial patina. It must be

emphasised once more that from the very first surveys made, it was obvious that the choice of products for the intervention performed in 1973 had negative effects, because of the use of epoxy resins in many restoration operations on the stone surfaces. This or these products which are notoriously irreversible, unstable, strongly adhesive and with almost no elasticity were used undiluted, mixed with inert materials (sand, stone dust and other products) to make mortar, filler, etc, to build up missing details, seal cracks, glue fragments, etc. In many cases, these interventions provoked processes of mechanical type deterioration caused in fact, by the behaviour incompatibility of the stone/resin interaction (See pages 118); on-site observations and corresponding analyses made it possible to evaluate certain choices that needed to be made and the basic directions to be followed for the intervention, deciding to maintain the epoxy resin applications wherever they were not visible, and assessing problems of deterioration, including potential damage, present in much of the sealing work for example, and other areas where incompatibility was obvious and in quite an advanced state, where it was decided to eliminate the epoxy resin. This is a new problem, and one which is very difficult to resolve. Epoxy resin

Quindi vengono proposti e valutati prodotti a base di acqua (oltretutto in questo senso la normativa limita sempre più l'uso di solventi) cercando quindi alternative a quelli a solvente in largo uso nel settore, una scelta che vuole anche dare un indirizzo al settore. Effettuando tale scelta di fondo si va incontro sia alle esigenze normative, sia a operative, favorendo la ricerca verso interventi sempre più puliti ed ecologici.

La pulitura, certamente l'operazione più delicata nell'intervento conservativo delle superfici architettoniche, è diretta verso i depositi materiali estranei presenti, in generale sali solubili, con alte percentuali di solfati (gesso), particolato atmosferico, residui di combustioni, ecc. che costituiscono croste nere nei sottosquadri.

Dalle indagini sui materiali, come già visto, si è potuta verificare la presenza di patine messe in opera dall'uomo, e l'interazione tra patine e supporto lapideo mostra in generale un'interfaccia netta senza evidenti fenomeni di degrado. Appare subito chiaro che queste patine non creano nessun danno al supporto lapideo, che sono la testimonianza di un intervento di manutenzione o più probabilmente di scialbatura per cui è sensato mantenerle e rispettarle. Si ricorda qui che la pulitura è un'operazione irreversibile, una volta eliminate le patine si è persa la loro testimonianza. Questa scelta determina una pulitura molto soft con l'individuazione di metodologie controllabili e rispettose. Le prove indicano l'applicazione di un tensioattivo (trietanolammmina) seguito da una nebulizzazione con vapore d'acqua a 35-40 °C; questo ciclo è molto rispettoso del materiale ed è diretto verso il gesso. L'impatto ambientale è minimo, rispetto all'uso diretto di acqua nebulizzata dove vengono impiegate quantità di acqua pari a centinaia di litri per mq, mentre nel sistema proposto il risultato è eccellente utilizzando solo qualche litro.

Per i depositi particellari e le croste nere vengono sperimentati i sistemi all'acqua di natura basica e la scelta dopo varie prove cade sul sistema urea-glicerina che viene preferito per le parti più delicate rispetto ai sistemi di ammonio-carbonato ed ammonio-bicarbonato. La scelta è dovuta all'evidente risultato ottenuto in loco, ma anche a considerazioni scientifiche più ampie; i tre prodotti (urea, ammonio carbonato, ammonio bicarbonato) si decompongono tutti con formazione di anidride carbonica e ammoniacca, ma con cinetiche diverse: l'urea è lenta (processo biologico in 10-15 gg.) con concentrazioni molto basse, gli altri due prodotti applicati a impacchi spesso ripetuti a concentrazioni

is irreversible, and therefore specific research was necessary partly for the choice of a suitable solvent, and partly for the methods and technology needed. It was a long and laborious process, but laboratory tests followed by on-site application have provided important solutions towards resolving the problem (See pages 208). Based on expertise and careful examination of the surfaces, it was possible to develop applied research to define the various operations with precision: Cleaning- washing
Filling, gluing Surface consolidation
Protection Beginning with the tests in the laboratory and on site (See Morabito and others), it was decided to proceed by limiting the interventions as far as possible, developing technologies and products that react in a selective manner with the harmful materials on the surfaces. Certain basic choices were made to identify the most suitable products for the different operations, giving main priority to problems involving prevention, toxicity, and ecological aspects in relation to the various products and sewage. Water-based products were proposed and assessed (in any case the use of solvents is very limited according to legislation) in an attempt to find alternatives to common solvents conventionally used in this field, and also to be taken as a future example in similar work. This

choice is coherent, not only with current legislation, but also for operating requirements, and encourages research towards increasingly cleaner and more ecological interventions.

The cleaning stage is no doubt the most delicate operation during the conservation interventions on the building surfaces where the cleaning product is directed against the deposited foreign materials, generally soluble salts, with high percentages of sulphate (plaster) atmospheric particulate, combustion residue, etc which form the black encrusting in the undercut areas (See Baldan).

As already seen from the surveys conducted on the materials, a patina applied in previous work is present on the surface, but the interaction between the patina and the underlying stone generally shows evidence of clear-cut interfacing without obvious signs of deterioration. It is immediately apparent that these patinas do not create any damage to the stone, and the interventions were possibly performed for preservation reasons or more probably, caused by whitewashing, so it is logical to maintain and respect the intervention. It must be remembered that cleaning processes are irreversible and that once the patina is eliminated, its trace is lost forever.

These choices have influenced the decision to adopt very delicate

alte (10-15%) e con azione rapida (1-2 ore) sviluppano grandi quantità di CO₂ e NH₃, ma il sale rimane quasi tutto indecomposto ed è pertanto un refluio da smaltire secondo norma. Si possono fare delle considerazioni, la prima è che l'impacco con urea è più controllabile e gestibile, poi i reflui con i carbonati, come già detto, sono regolamentati e vanno eliminati seguendo la normativa. Certamente nell'ampia varietà di depositi presenti nella torre sarà senz'altro utile e necessario usare anche impacchi a base di carbonato di ammonio dove le croste nere sono più compatte e spesse e può essere utile un'azione rapida ed energica. La scelta dei prodotti riaggreganti e protettivi seguono la stessa logica di privilegiare i sistemi all'acqua, pur provando e valutando nelle prove in loco e in laboratorio anche sistemi a solvente. In questo caso si sono volutamente sviluppate le indicazioni tecnologiche più significative e innovative prendendo in considerazione le nanodispersioni, l'uso di nano coating sta già avendo ampie applicazioni. Le nanodispersioni che sono state sperimentate sono di varia natura (acriliche, siliconiche, della stessa silice) e sono confrontate con prodotti a solvente. Le particelle disperse sono di dimensioni interessanti, tra i 20 e i 40 nm, le temperature di minima formazione del film (TMFF) in genere inferiori ai 5° C e quindi vanno incontro alle nostre esigenze. L'uso di nano prodotti favorisce la formazione del film, in quanto il diametro delle particelle è inferiore ai valori della rugosità e questo favorisce il deposito all'interno. I risultati delle prove sia dei sistemi consolidanti che protettivi, indicano che i prodotti all'acqua danno prestazioni almeno della stessa efficienza di quelli a solvente e modificano meno l'aspetto estetico della pietra. La misura del colore tramite il sistema CIE L*a*b* potrebbe essere eseguito a fine intervento su alcune aree significative e di facile accesso, questa misura potrebbe essere un indice significativo per valutare la cinetica del degrado.

Le prove e indagini eseguite confortano le scelte metodologiche proposte: il mantenimento delle patine storiche, l'uso di sistemi con minimo impatto ambientale, la scelta dei prodotti non tossici, ma anche lo sviluppo innovativo di sistemi a base di nanodispersioni, lo studio per la rimozione di sistemi epossidici, fa di questo intervento una operazione che potrà essere di riferimento al settore della conservazione delle superfici architettoniche. Resta comunque da sottolineare che l'intervento conservativo deve necessariamente essere seguito da una manutenzione programmata, che fin d'ora deve essere studiata e prevista.

cleaning methods, identifying methods that can be controlled and that respect the environment. The tests (See Morabito) show the application of a surface active agent (triethanolamine) followed by spraying with water vapour at 35-40 °C. This cycle is not at all harmful to the material and is directed towards the plaster. The impact on the environment is minimal: compared to the use of direct water spraying which requires hundreds of liters of water per square meter, the proposed system uses only a few liters and the results are excellent (See figures in Morabito) To remove the particulate and black encrusting, it was decided to experiment systems using alkaline based water. After several tests, it was decided to use a urea-glycerol mixture, which is preferable for the more delicate areas, compared to the use of ammonium carbonate and ammonium bicarbonate. This solution was chosen after tests on site, but also for extensive scientific reasons, as the three products (urea, ammonium carbonate and ammonium bicarbonate) all decompose to form carbon dioxide and ammonia, but with different kinetics. The urea reacts slowly (biological process in 10-15 days) with very low concentration, while the other two products are applied several times using soaked pads of highly concentrated product (10-15%) and with a rapid action (1-2 hours) developing large amounts

of CO₂ and NH₃, but the salt remains almost entirely undecomposed, and therefore it can be sent to the sewage system according to legislation. It is useful to reflect on the fact that the urea soaked pad system is easier to control and more manageable, and also that carbonates are permitted in the sewer system according to legislation. Naturally, with the wide variety of deposit present on the Tower, no doubt it will be useful, and even necessary to use ammonium carbonate as well where the black encrusting is particularly dense and thick thus requiring more vigorous and faster action. The choice of the reaggregating and protective products adapt the same system, applying the water system, although solvent tests have also been carried out in the laboratory and on site. In this case it was decided to deliberately develop the more significant and innovative technological directions, by considering nano dispersion methods, the use of nano-coating has already been used extensively. Nano dispersions that have already been experimented are composed of various types (acrylics, siliconics, and silica) and have been compared with solvent products (See Morabito). The dispersed particles are interesting because of their size: between 20 and 40 nm, the temperature of the minimum film formation (TMFF) generally under 5 °C, and for these reasons they are particularly suited

to the intervention work.

The use of nano products facilitates the film formation since the diameter of the particles is smaller than the size of the rugosity, and this helps the deposit in the interior.

Test results of the systems, both for consolidation and for protection demonstrate that the water based products give performance levels that are at least as efficient as the solvent applications, while modifying the appearance of the stone to a far lesser extent. Colour measurement using the CIE L*a*b* system could be applied on completion of the intervention in certain important areas which are easily accessible, since these measurements could be used as an important index for assessing the deterioration kinetics. The tests and the surveys that have been performed have given positive results for the proposed methods and choices: maintaining the historical patina, the use of systems with the minimum environmental impact, the choice of non toxic products, but also the innovative development of systems based on nanodispersion, research for the removal of epoxy resin, have all made of this intervention an operation which can serve as an example in the field of conservation of historical buildings in the future. However, it must still be remembered that conservation intervention must also necessarily be accompanied by scheduled maintenance programs which are still to be studied and planned.



GLI INTERVENTI PREVISTI
PLANNED INTERVENTIONS

Rossella Cadignani, Franco Valli, Fabrizio Lugli

Fig. 1 Particolare della sfera
con alcuni nomi incisi e datati 1865.

Detail of the sphere with names scratched
on the surface and dated 1865.



La redazione del progetto si fonda sulla grande quantità di informazioni ricavate dalle indagini e prevede un intervento conservativo reversibile e limitato alle reali necessità di conservazione. I problemi della torre sono un po' gli stessi da sempre.

Le cronache riferiscono di danni accorsi ai cittadini per la caduta di pietre, i rapporti degli ingegneri che di volta in volta si sono occupati della torre segnalano le copiose infiltrazioni d'acqua che deteriorano l'interno della cuspide. L'inclinazione poi ha da sempre destato preoccupazione nei cittadini e nei tecnici. La situazione oggi è un po' cambiata perché sono disponibili strumenti che permettono di capire meglio la stabilità della torre, di tenerla sotto controllo e di trattare la superficie delle pietre. Tuttavia sono problemi che non potranno mai essere completamente risolti e sui quali il tempo avrà sempre ragione. Per questo è più efficace attuare una manutenzione programmata che intervenire con un restauro completo ogni trent'anni. Oggi si è costretti ad affrontare l'insieme del degrado di tutti i materiali: dal distacco delle pietre, alla perdita di rilievo delle sculture, fino alle infiltrazioni d'acqua all'interno della cuspide e alla verifica delle lesioni. Il progetto vuole essere il più possibile completo e strettamente rapportato alle risorse economiche disponibili. Sono previsti due stralci attuativi per il restauro degli esterni, seguiti da un terzo che riguarderà l'interno e che dovrà trovare adeguato finanziamento. Il progetto sarà completato da un piano di manutenzione. Gli interventi consentiranno di ridare funzionalità alla torre, che potrà essere nuovamente visitata all'interno fino alla parte più alta, chiusa al pubblico da molti anni¹. Per facilità di esposizione gli interventi previsti vengono descritti partendo dall'alto della torre. Il parafulmine è la parte culminante della torre ed è ancorato alla croce dorata di cui saranno verificate le connessioni. Saranno pulite e trattate le superfici sia della croce, sia della sottostante sfera che la sostiene. Quest'ultima presenta i segni del restauro ottocentesco con un rattoppo a mezzaluna e con numerosi nomi incisi dalle maestranze (figg. 1, 2 e 3).

Fig. 2



The planning of this project is based on the enormous amount of information supplied by the research surveys, it provides for reversible conservation intervention, but will be limited to the actual conservation needs. The problems concerning the Tower are the same as they have always been throughout its history.

News articles refer to injuries to local people caused by falling stonework, reports by engineers who are called in from time to time to monitor the Tower, report on the large-scale water infiltration that is deteriorating the interior of the spire. The angle of the Tower has always been a subject which has worried the people of Modena as well as the technicians. The situation today has changed somewhat because instruments are now available that permit a better understanding of the stability of the Tower, providing means for controlling its condition and for treating the surface of the stonework. However, there are still certain problems that will never be resolved completely and this will always depend on the effects of time. For this reason it is more efficient to set up a well-planned maintenance program rather than complete restoration work every thirty years¹. Today the aspect that must be considered is the deterioration of all the building materials: stone facings which become detached, the loss of

sculpture relief, the water infiltration inside the spire, and the cracks and flaws that have appeared. This project must be planned to be as complete as possible and closely linked with the economical resources available. Two operational stages have been planned for the external restoration work, followed by a third stage involving the interior and for which adequate financing must be obtained. The project will be completed with a scheduled maintenance plan. These interventions will give back a sense of community to the Tower, making it possible to visit the interior right up to the highest point, which has been closed to the public for many years. To facilitate the intervention descriptions, all references will begin from the top of the Tower. The lightning rod is the highest point on the Tower and is fixed to the gilded cross, where all connections need to be controlled. They will be cleaned and the surfaces of the cross and the supporting sphere beneath will receive protective treatment.

Fig. 3



¹La Torre è visitabile nei giorni festivi da aprile a ottobre, fino al piano dei Torresani a 35 metri d'altezza.

¹The Tower can be visited up to the Torresani floor (35 meters high) on Saturdays, Sundays and public holidays, from April to October.

Fig. 2 La sfera dorata, si nota un rattoppo a mezzaluna
The gilded sphere, here the crescent-shaped patching is visible.

Fig. 3 La croce dorata a cui è collegato il parafulmine.
The gilded cross to which the lightning rod is attached.



Fig. 4a

Fig. 4a, 4b Particolari della guglia: la balconata superiore è ingabbiata in una rete dal 2006. Detail of the spire, the upper balcony has been closed off with wire mesh since 2006.

La prima parte della guglia ottagonale è completamente rivestita da spesse lastre di piombo, unite assieme con piegature e ancorate a una sottile struttura in ferro che ricopre la pietra. Il rivestimento è rovinato nella parte inferiore dalle scritte vandaliche incise dai visitatori della balconata più alta, posta a 78 m d'altezza.

Nel tempo è stato aggiustato in vario modo e presenta fessure in più punti. Il problema delle infiltrazioni d'acqua continua a essere presente, i muri interni alla cuspide sono bagnati, gli intonaci si staccano e sono pieni di inflorescenze saline.

Il piombo sarà sostituito nella fascia inferiore per 2 m, con lo stesso materiale appositamente realizzato per l'occasione.

Non sarà rimossa la porzione in buono stato, sulla quale saranno solo verificate le connessioni e trattate la superficie con una emulsione impermeabilizzante. Questa balconata è ingabbiata dal 2006 con una rete di protezione (fig. 4), poiché tutte le parti in pietra che la compongono non sono più solidali tra loro per la presenza di numerose fratture. Tutti gli elementi saranno smontati, puliti, consolidati e rimontati, riducendo al minimo le sostituzioni. Con la completa rimozione della balaustra sarà possibile sostituire il pavimento in piombo, anch'esso fessurato in più punti e oggetto di ripetuti interventi di riparazione.

The sphere shows the signs of restoration work carried out in the 19th century with a crescent-shaped patch and marked with the names of many of the people who worked on the restoration (Figs 1-2 and 3).

The first part of the octagonal steeple is completely covered with thick lead sheeting, assembled by fold-over joints and anchored to a fine iron structure that covers the stone.

This sheeting is damaged along the lower part by vandalistic markings made by visitors from the highest balcony, set at a height of 78 meters. It has been subject to some repair work over the years but shows signs of splitting in various points. The problem of the water infiltration continues and the walls inside the spire are damp, the plasterwork is

falling away from the walls and there are many signs of saline efflorescence.

The lower band of lead will be replaced for a height of two meters using the exactly the same material as the original, which will be produced especially for this project. The portion which is in good condition will not be removed, but the connections will all be controlled and the surfaces will be treated with waterproofing emulsion. This balcony has been closed since 2006 with protective wire (Fig. 4) mesh because the stone elements which make up the balcony are no longer attached to each other due to numerous fractures. All these elements will be disassembled, cleaned, consolidated and re-assembled, reducing any replacement work to a minimum.

Fig. 4b



Fig. 5

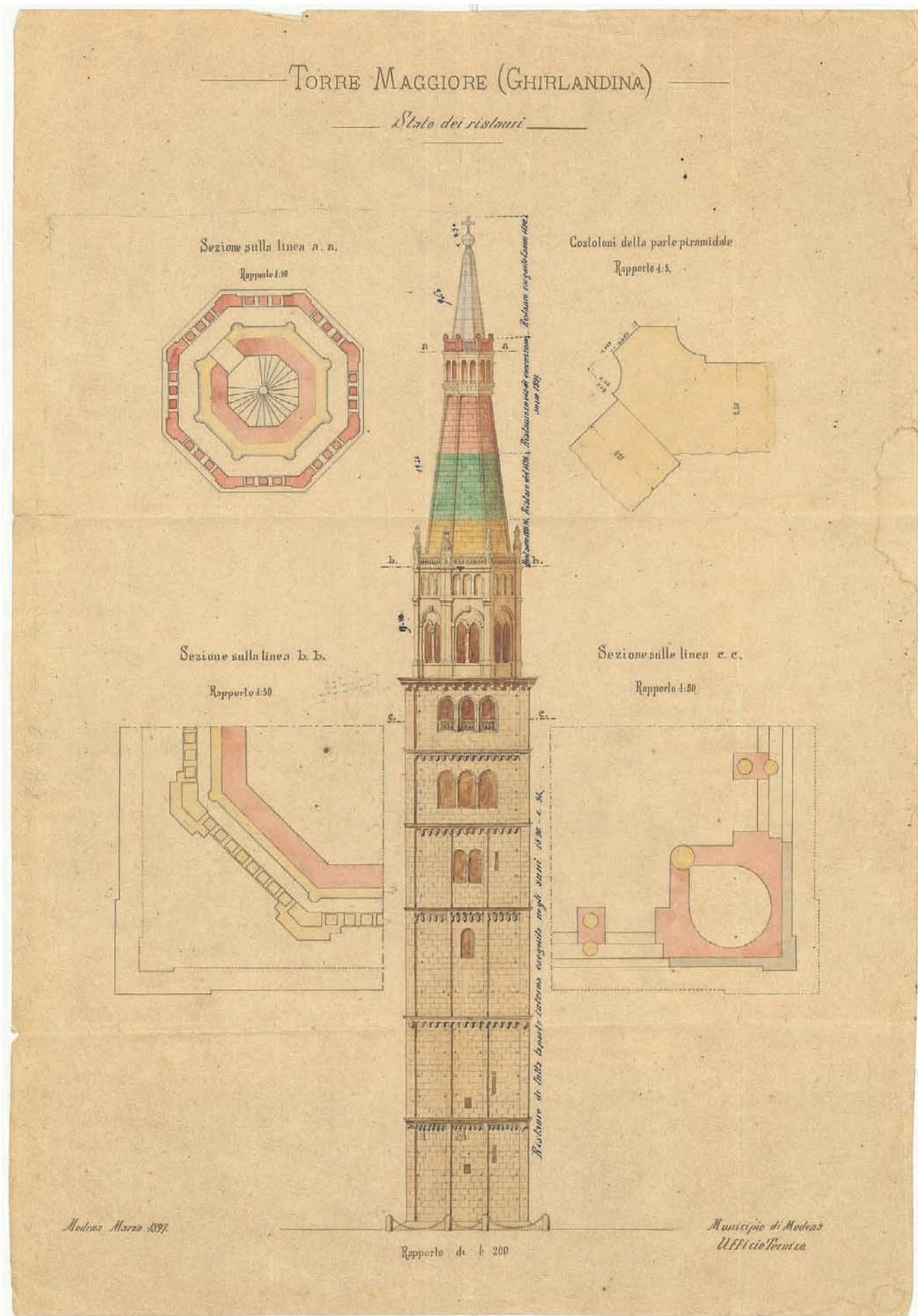




Fig. 6

Fig. 5 Disegno che individua lo stato dei restauri, redatto dall'ufficio tecnico nel marzo 1897, copia (ASCMo).
Plan/drawing showing the state of the restoration work, drawn up by the technical office in March 1897, copy (ASCMo).

Fig. 6 I conci sono sigillati sui piani orizzontali da strisce in piombo.
The stone blocks are sealed on the horizontal levels by lead stripping.

Sotto la prima balconata inizia la parte in pietra a vista della guglia, che si conclude con la grande balconata inferiore. I piani inclinati che la compongono sono in lastre di Ammonitico veronese, interamente sostituiti nel restauro effettuato tra il 1890 e il 1897 (fig. 5).

Il loro montaggio è stato eseguito a regola d'arte: ogni concio è alternato rispetto a quello superiore, le costolature che evidenziano gli spigoli della guglia sono concatenate a chiave.

Tutte le fughe orizzontali sono sigillate verso l'esterno con strisce di piombo e sono immaschiate internamente. I singoli blocchi sono in genere perfettamente accostati.

Le discontinuità nelle connessioni verticali saranno riempite con impasti a ritiro e reologia compensata e sigillate con prodotti elastomerici per garantire una sufficiente elasticità al sistema complessivo al fine di evitare la comparsa di micro distacchi lungo i bordi a seguito delle inevitabili variazioni dimensionali che un manufatto simile subisce.

Tutta la superficie in pietra sarà pulita, trattata con sali d'ammonio quaternario per eliminare l'infestazione biologica, presente prevalentemente sul lato nord, sarà lavata con vapore a bassa pressione e bassa temperatura e protetta con una microdispersione acquosa di silani-silossani, secondo i risultati ottenuti con le campionature eseguite sul posto (fig. 6).

La balconata inferiore, posta a 60 m d'altezza, è in condizioni ancora peggiori di quella superiore. Buona parte delle colonnine è fratturata e numerosi sono i fenomeni di disgregazione nodulare, tipico dell'Ammonitico veronese. Sono presenti numerosi collari per tenere unite le parti di colonnine sostituite nel tempo, assieme a più complesse ingabbiature per unire quelle fratturate.

Once the balustrade has been completely removed, the lead floor can be replaced, as this too has split in several points and shows many signs of previous repair work.

The stone facing of the steeple begins just below the first balcony, terminating at the large lower balcony. The sloping surfaces that form the steeple are built from slabs of ammonitico Veronese stone, totally replaced during restoration work performed between 1890 and 1897 (Fig. 5). These were assembled beautifully; each block alternates with the one above it, the wedge-shaped blocks inserted into one another form the raised the ridges of the steeple. All horizontal grouting is sealed on the exterior with lead stripping and is masked internally. Generally, the single blocks are perfectly aligned. Gaps in vertical joints will be filled with a specific mortar to compensate shrinking and rheology, and sealed with elastomer products to guarantee sufficient elasticity throughout in order to

prevent small pieces breaking away along the edges as a result of the inevitable variations in size common in this type of product. All stone surfaces will be cleaned, and treated with quaternary ammonium salts to eliminate biological infestation, which is present mainly on the north side. The stone will be washed with low pressure steam and protected with a water-based micro dispersion of a siloxane and silane blend according to the results that were obtained on samples performed on site (Fig. 6). The lower balcony, set at a height of 60 meters, is in even worse condition than that above. A large number of the balustrade columns are broken, and there are strong signs of nodular disintegration, typical of ammonitico Veronese stone. Numerous bands have been installed to hold together the parts of the balustrade columns which have been replaced over the years, alongside complex framework systems to maintain the broken elements in place.

Anche alcune delle mantavole sono spezzate in più punti e sono visibilmente smosse. Su questa balconata verranno eseguite le stesse operazioni previste per quella superiore. I pilastri angolari, sormontati da grandi fiamme, sono lesionati in più punti e saranno consolidati in loco (fig. 7). Sotto alla balconata inizia il tamburo ottagonale che presenta una bifora per ogni lato, di cui quattro aperte che si alternano a quattro tamponate in mattoni. Le superfici in pietra saranno trattate con le medesime modalità della guglia e verranno restaurati gli infissi in legno delle finestre. Il tamburo poggia sulla copertura della torre a sezione quadrata rivestita in lastre di piombo che saranno attentamente verificate e sigillate. Le buone condizioni non ne richiedono la sostituzione, saranno tuttavia necessari alcuni rattoppi in corrispondenza delle giunture tra le lastre. Il piano è contornato da una pronunciata cornice dalla quale iniziano le facciate sottostanti.

Qui si accentua il fenomeno del degrado dovuto alle croste nere che scendendo diviene più pronunciato. Su questo tipo di degrado influisce anche l'inclinazione della torre che produce superfici sottosquadro verso sud che non vengono abitualmente dilavate dall'acqua piovana. I materiali lapidei presenti hanno diverse caratteristiche e provenienze e presentano gradi di deterioramento differente. La rimozione delle croste avverrà quindi con trattamenti che terranno conto dello spessore, del grado di solfatazione, dell'esposizione e della forma delle superfici. Si utilizzeranno diverse tecniche, ma si privilegerà l'uso di vapore a bassa pressione e temperatura, che si è dimostrato efficace e rispettoso delle tracce di patinature esistenti. Le superfici lapidee presentano inoltre tracce di ossido di ferro nelle parti sottostanti alle inferriate e alle zanche, per l'azione dell'acqua sul metallo. Per la pulitura si prevede il ricorso a sistemi ad azione complessante, applicati a impacco.

Le resine epossidiche utilizzate nel restauro degli anni Settanta sono diffuse un po' a tutti i piani, ma soprattutto nella parte a sezione quadrata, dove la maggior parte dei conci ne è interessata. Saranno rimosse in modo selettivo, utilizzando gli impacchi con una miscela di solventi a bassa tossicità secondo i risultati dei test effettuati. Saranno lasciate in opera le sigillature ancora efficienti sulle pietre più resistenti e quindi integre. Sulle parti in metallo la resina si è distaccata a causa dell'ossido di ferro, sarà rimossa completamente e il metallo sarà trattato o rimosso dove non sia più funzionale (figg. 8a e 8b).

Several of the planks have also been broken in many points and it is clearly visible that they have moved from their positions. This balcony will be treated using the same methods as those used for the other above. The corner pillars, topped with flame sculptures, are damaged in several points and will be consolidated in place (Fig. 7).

Below the balcony begins the octagonal drum-shaped section with a double lancet window on each face, four of which are open, alternating with another four which have been closed with brickwork. The stone surfaces will be treated using the same methods as those for the steeple and the wooden frames at the windows will be restored.

The drum section sits on the square sectioned roof of the Tower, covered with lead sheeting which will all be carefully controlled and sealed. This is in good condition and does not require replacing, however, some repairs are necessary to the joints between the sheets. This level is surrounded by a strongly marked cornice which acts as the border for the facades below. At this point the deterioration is more obvious, caused by black encrustation which increases as it continues downwards. This deterioration is made worse by the angle of the Tower which creates surfaces that are undercut on the southern side, and which are not generally washed by rainwater. The types of stone used on the facades have different

characteristics and origins, and for this reason the deterioration levels vary to a large extent. Therefore, all crust removal will be performed using treatment that will take into consideration the thickness, the degree of protuberance, the exposure and the form of the surface in question. Different techniques will be used, but preference will be given to low pressure / low temperature steam cleaning which has been demonstrated as very efficient while respecting the existing patina which still remains.

The stone surface also shows signs of rust in the areas below the railings and clamps, caused by water on the metal. These areas will be cleaned using more complex action, applied with (specific-product) soaked pads.

The epoxy resins used in the restoration work during the 1970's are spread over almost every level but above all in the square sectioned part, where most of the stone blocks are affected. They will be removed wherever necessary, using pads soaked in a low toxic solvent mixture, according to the tests results obtained. All sealing work which is still efficient will be left in place on the more resistant blocks in good condition. The resin has broken away from the metal elements because of rust.

This will be removed completely and the metal will be treated or removed in places where it is no longer functional (Fig. 8).



Fig. 7

Fig. 7 Particolare del lato est della balconata posta a 60 m d'altezza.
Detail of the East side of the balcony set at a height of 60 meters.

Fig. 8a e 8b Particolare che mostra l'utilizzo diffuso delle resine.
Detail that shows the widespread use of resins.

Fig. 8a



Fig. 8a



Fig. 8b



Fig. 9 Particolare della cornice del terzo piano, lato ovest. Detail of the cornice on the third level, west side.

In alcuni casi la resina copre una precedente stuccatura a cemento, non visibile dall'esterno: quelle ben aderenti non saranno rimosse per evitare inutili distacchi di pietra. I piani della torre sono segnati da cinque cornici con archetti pensili di diversa forma, con protomi che le ornano (fig. 9). Nelle cornici dei primi tre piani sono presenti anche sculture angolari, di dimensione degradante man mano che si scende. Il loro degrado è molto differente a seconda del materiale di cui sono realizzate, si nota infatti che tutte quelle in pietra di Aurisina sono ben conservate e sono ancora visibili numerosi dettagli. Al contrario quelle in pietra di Vicenza hanno perso buona parte dei particolari che le ornavano. Il loro restauro sarà realizzato in modo poco invasivo, mantenendo le patine dei trattamenti protettivi che sono visibili prevalentemente sulle parti prossime allo spigolo sud-est della torre, meno dilavato dalle piogge (fig. 10). Le numerose fratture passanti saranno nuovamente ricucite e sigillate, così come quelle negli spigoli delle lesene. Per prevenire la formazione di nuovi distacchi si propone di allargare le fughe tra i conci e riempirle con malte a elevata elasticità, in grado di assorbire le tensioni sugli spigoli. Gli studi sugli aspetti che riguardano la stabilità delle diverse parti della torre non sono ancora conclusi, ma non è escluso che si rendano necessari alcuni interventi localizzati nei punti più deboli.

In certain cases the resin covers previous cement plastering work which is not visible from the exterior. The elements which remain adherent will not be removed to avoid removing stone blocks where this is not necessary. The different floors of the Tower are marked by five cornices with suspended arches of various shapes decorated with protomes (Fig. 9). On the cornices of the first three floors the corner sculptures still remain, becoming smaller in size with each successive lower floor. Their level of deterioration varies according to the type of material in which they are carved. In fact all the sculptures in Aurisina stone are well-preserved and a lot of the detailing is still clearly visible. On the other hand, carvings in Vicenza stone have lost a great deal

of their decorative detailing. Invasive restoration work will be limited as far as possible, maintaining the patina of protective treatment which is mainly visible on the parts close to the South-East corner of the Tower, which is less exposed to rain (Fig. 10). The numerous through-fractures will be united and sealed, as will the fractures in the edges of the pilasters. In order to prevent any further stone from becoming detached, it is planned to widen the grouting spaces between the blocks and fill them with highly elastic mortar able to absorb the stress on the corner edges. Surveys on the aspects concerning the stability of the various parts of the Tower are not yet completed, but it is possible that certain local interventions may be necessary in the weaker points.

Fig. 10 Scultura angolare est della terza cornice raffigurante Re Davide.
East corner sculptures of the third cornice depicting King David.





Fig. 11 La liberazione del falco pellegrino. Peregrine falcon being set free.

I lavori del primo stralcio dell'intervento di restauro sono iniziati a novembre dello scorso anno e hanno interessato la parte interna della guglia. In particolare è stato rimosso l'intonaco cementizio, eseguito il restauro della scala lignea seicentesca e dei suoi sostegni e verificati i tiranti radiali sovrapposti. Già dal mese di febbraio era stato installato il ponteggio per consentire la realizzazione delle attività previste dal progetto diagnostico.

Il ponteggio è stato coperto con un telo microforato stampato a colori, fino a 64 m d'altezza, disegnato dall'artista Mimmo Paladino. La parte superiore del ponteggio, fino a 88 m, è stata chiusa con una rete più sottile per impedire l'ingresso degli uccelli che nidificano sulla torre. Nonostante questa precauzione è stato necessario liberare diversi piccioni e rondoni che riuscivano a entrare da alcuni pertugi situati in prossimità degli arconi di collegamento alla cattedrale. Un giorno, mentre era da poco completato il ponteggio, durante un'ispezione nella parte superiore è apparso improvvisamente il falco pellegrino² che ha da sempre il suo posatoio proprio su questa torre.

Probabilmente aveva inseguito una preda fin dentro alla rete e dopo il pasto non era riuscito a uscire. Il capo squadra della ditta che ha installato il ponteggio, con una velocità e fermezza invidiabile, lo ha catturato e immediatamente liberato, giusto il tempo di una foto ed è volato veloce verso est (fig. 11). I resti dei pasti del falco si continuano a vedere, ma nelle parti di ponteggio aperte sull'esterno. Il falco si nutre anche dei colombi³ che abitano la torre e che rappresentano un problema per la quantità di guano che depositano sulle finestre, sulle nicchie e nelle numerose buche pontai che gli uccelli utilizzano per la nidificazione, danneggiando i materiali. Ma la torre in primavera è anche il luogo di nidificazione di una numerosa colonia di rondoni⁴, che al contrario non paiono provocare alcun danno al monumento. Per questo motivo si è concordato con il Servizio veterinario dell'Azienda Unità Sanitaria Locale di Modena un intervento di riduzione della dimensione delle buche, in modo da consentire una selezione degli uccelli che posso nidificarvi.

Al termine del restauro sarà realizzato un impianto antipiccione di tipo misto, comprendente cioè diverse tipologie di dissuasori, per meglio adattarsi alle diverse forme del monumento, ricco di nicchie e sporgenze. Il restauro è ancora lungo, gli aspetti da considerare sono tanti e solo l'interdisciplinarietà con la quale si sta lavorando è in grado di fornire risposte adeguate ai problemi che si presentano, valutando rischi e benefici di ogni azione.

The first stage interventions for the restoration work began in November last year and have been focused on the interior of the spire. In particular, the cement plaster was removed, the 17th century wooden staircase was repaired, and all its supports were controlled as well as the overlaid radial tie beams. The scaffolding was installed last February to permit all the operations necessary for the diagnostics project. The scaffolding was screened (on all sides) with a micro-perforated cloth cover, printed in colour, 64 meters high, and designed by the artist Mimmo Paladino. The upper part of the scaffolding, up to a height of 88 meters, was closed off with a finer mesh to prevent birds from nesting in the Tower. In spite of this precaution, several pigeons and swallows managed to find perches in the vicinity of the archways that connect the Tower to the Cathedral, and had to be rescued. One day, shortly after the scaffolding had been completed, during the inspection of the upper area, a peregrine falcon² which evidently has a favourite perch on the Tower, suddenly appeared. It had probably followed some prey inside the mesh netting, and after eating it, was not able to escape from the Tower. With amazingly cool-headed rapidity, the foreman of the scaffolding erection company, managed to capture the falcon and set it free. Just the time for a photo, and it flew off quickly in an easterly direction. (Fig. 11).

²*Falco peregrinus.*

³*Columbus livio var. domestica.*

⁴*Apus apus.*

The remains of the falcon's meals keep cropping up, but on the parts of the scaffolding open towards the exterior. Falcons also feed on doves³ who nest in the Tower and which represent a problem because of the amount of guano they leave in windows, niches and the large number of beam holes that the birds use for nesting, causing much damage to the building materials. But in Spring, the Tower is also a nesting ground for dozens of swallows⁴, which, on the contrary, provoke no damage to the monument- For this reason, it has been agreed with the Servizio veterinario dell'Azienda Unità Sanitaria Locale di Modena (Veterinary Department of the Modena Health Service) to reduce the size of the holes to provide the possibility for certain varieties of birds to nest there. When the restoration work is finished, a range of pigeon deterrent systems will be applied, composed of various models specifically adapted to the different shapes and forms on the monument, rich in niches and ledges. The restoration work ahead will be long and arduous, the aspects to be considered are numerous, and it is only through the coordination and cooperation of the various disciplines currently working on the project that it will be possible to provide all the answers appropriate to the problems that arise, assessing the risks and benefits associated with every operation.

La valorizzazione

Outreach

UN PROGETTO A PROJECT FOR
PER LA CITTÀ AN ENTIRE TOWN

Carlotta Melloni, Simona Pedrazzi, Giulia Rossetti, Simone Tintori, Riccardo Zanfognini,
Katia Zolli, Rossella Cadignani, Stefano Lugli



Questo restauro lungo e importante è diventato una straordinaria occasione per tutta la città. Il cantiere è stato aperto ai cittadini, che hanno avuto a più riprese la possibilità di salire sul ponteggio e vedere da vicino le sculture e lo stato di degrado del monumento.

Il ponteggio è stato aperto anche agli studenti dei corsi di laurea specialistica in Scienze per il recupero e la conservazione del patrimonio archeologico e in Scienze geologiche dell'ateneo modenese, che sotto la guida competente dei loro docenti hanno avuto la possibilità di svolgere le loro ricerche direttamente sul posto e contribuire così fattivamente alla realizzazione del progetto.

I risultati delle ricerche condotte sono stati presentati nel maggio 2008 in un convegno molto partecipato. È in fase di realizzazione un video sui lavori in corso e si sta programmando una mostra che illustrerà i restauri. Queste attività divulgative hanno trasformato un intervento tecnico come il restauro, solitamente riservato agli addetti ai lavori, in qualcosa che fa parte integrante della vita quotidiana dei cittadini, che saranno costantemente informati dello svolgimento dei lavori. Buona parte di queste attività sono state realizzate grazie a una proficua collaborazione con il dipartimento di Scienze della terra dell'Università di Modena e Reggio Emilia, con cui è stata stipulata una convenzione biennale "Caratterizzazione chimico-fisica e mineralogico-petrografica dei materiali da costruzione della torre Ghirlandina a Modena" che ha come finalità scientifica lo studio dei materiali e delle patologie di degrado che interessano la Ghirlandina. In quest'ambito l'attività di ricerca dell'Università si suddivide in diversi filoni caratterizzati da tematiche e competenze multidisciplinari. La caratterizzazione petrografica e paleontologica dei materiali lapidei del rivestimento esterno ha restituito la mappatura delle facies litologiche, mentre il rilievo dei fenomeni di degrado superficiale delle pietre ha permesso di studiarne le relazioni con le specificità dei litotipi e individuarne le cause. Inoltre si procede all'individuazione delle cave di origine dei materiali riscontrati, attraverso indagini a livello microscopico dei suddetti; lo studio comparativo con le testimonianze archeologiche, volto a fornire un quadro dei materiali lapidei impiegati in età romana a Modena, e a ricostruire il bacino di approvvigionamento dell'area urbana dall'antichità all'età moderna; e infine allo studio dell'apparato decorativo della torre, da un punto di vista storico-artistico e materiale. La comprensione di un monumento, infatti, passa necessariamente attraverso la conoscenza dei suoi aspetti materiali. In occasione dei rilievi fotogrammetrici (ditta FO.A.R.T.), il primo livello d'indagine ha riguardato la mappatura delle pietre che rivestono gli esterni, ultimata nella sua prima versione nel 2006. I dati furono ricavati sia da fotografie ad alta risoluzione realizzate con l'ausilio di mezzi meccanici (gru) per la composizione del rilievo fotogrammetrico, sia dall'analisi dei campionamenti e dalle

This extensive and demanding restoration project has become an exciting event involving the entire town. The work site was opened to the local population, which has had many opportunities to climb up on the scaffolding for a closer look at the sculptures and at the extent of the deterioration.

The scaffolding has also been made accessible to students from the University of Modena, studying Techniques for Restoration and Conservation of Archaeological Heritage and Geological Sciences, who, under the expert guidance of their lecturers, have been able to carry out part of their research directly on-site, thus providing an active contribution to the completion of the project.

The results of the research projects conducted by the students were presented in May 2008, at a conference which drew a great deal of attention. At present, video material is being compiled to explain the works in progress, and an exhibition is being set up to show the public all the aspects of the restoration work. These initiatives, directed at explaining and informing the local population of the project, have transformed the restoration work, normally considered a technical procedure limited to the expertise of those involved in the intervention, into a part of the town's daily life, including the local residents, and involving them in the constant progress of the ongoing interventions. Many of these initiatives were accomplished thanks to a dynamic collaboration with the Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Modena e Reggio Emilia (Department of Earth Sciences of the University of Modena and Reggio Emilia), which established

a biennial collaboration project to perform research studies on the Chemical-physical and mineralogical-lithological characteristics of the building materials of the Ghirlandina Tower in Modena. Its scientific purpose is research into the materials and the deterioration that affect the Ghirlandina. In this context, the University's research activity was divided into various sections, according to subject matter and multidisciplinary expertise.

The petrographic and paleontological analysis of the external stone work has recovered the mapping of the lithological facies, while surveys on the levels of deterioration on the stone surfaces have led to studying the correlations between specific characteristics of the lithotypes and identifying the causes. In addition, using microscopic techniques, investigation surveys were set up to identify the quarries from which the materials under analysis had originated; to undertake comparative studies with archaeological evidence focussed on providing a classification of the stone materials used during the Roman period in Modena, and on reconstructing the traces of an urban field from ancient times to the modern age; and finally, detailed studies were made on the decorative carvings on the Tower, from both a historical as well as an artistic view-point, including all the material aspects.

osservazioni compiute durante sopralluoghi svolti anche con tecniche alpinistiche. Dal marzo 2008 a questa prima fase è seguito il controllo del rilievo, tuttora in corso, direttamente sul ponteggio. Tutte le rilevazioni sono state effettuate in collaborazione con il Comune di Modena. I dati di dettaglio che emergono da questa fase offrono la possibilità di discriminare, in seno alle fasi costruttive, i materiali impiegati e le tecniche costruttive. Parallelamente un campionamento sistematico condotto internamente sulle malte di allettamento e sugli intonaci, sta gettando nuova luce sulla cronologia degli interventi edilizi, arrivando a proporre una stratigrafia muraria completa. Queste analisi si combineranno con lo studio dei laterizi e, insieme alle considerazioni già effettuate sul paramento lapideo esterno, permetteranno di ricostruire l'evoluzione delle vicende costruttive. Non va inoltre tralasciato l'apporto fornito ai restauratori in termini di composizione e caratterizzazione degli impasti, che costituiscono preziosi dati a supporto dell'attività di progettazione e intervento.

La possibilità di disporre di questa fondamentale mole di dati ha permesso di intraprendere uno studio statistico-comparativo con i materiali dell'antica *Mutina* che quasi quotidianamente emergono dagli scavi archeologici modenesi. Questo confronto ci permette di compiere un vero e proprio viaggio nel passato, dal presente fino all'età romana, un salto di quasi due millenni sulle tracce degli uomini del Medioevo che vollero la torre e la dotarono di un prezioso abito di pietra, recuperandola largamente dal sottosuolo della città. In questo filone di ricerca s'inserisce ovviamente il confronto con la ricca collezione custodita nel Museo Lapidario Romano e nel Lapidario Estense, che raccolgono le più espressive testimonianze scultoree antiche. Nel corso del 2008 è stata realizzata la mappatura del degrado del materiale lapideo sugli esterni della torre. Si tratta di una fase di lavoro che fa parte dell'attività di diagnostica ed è stata realizzata direttamente sul ponteggio di restauro. Questa indagine ha permesso di determinare un quadro assai diversificato dei fattori responsabili del degrado, intimamente legati sia alla natura geologica di ogni litotipo, sia alle condizioni microclimatiche a cui sono quotidianamente esposti i blocchi da secoli. Uno studio trasversale, da poco concluso, ha riguardato l'apparato decorativo della torre e ha permesso di determinarne i materiali e proporre una datazione. Questo contributo s'inserisce all'interno del filone di indagini concernenti la caratterizzazione dei materiali lapidei e raccoglie, per esempio, una completa catalogazione delle mensole pensili presenti sui cornicioni e dei profili scultorei angolari. Il materiale analizzato comprende

In order to understand the intrinsic nature of a monument, it is essential to study its physical characteristics. The work began with photogrammetric surveys, (FO.A.R.T.) and the initial research stages involved mapping the stonework on the exterior of the Tower; the first survey was completed in 2006. The data was obtained both from high resolution photographs taken from the construction cranes in order to compose the photogrammetric survey, and from the analysis of samples and inspection work performed during on-site research, which was partially performed using mountaineering techniques. This preliminary stage has been ongoing since March 2008, the survey work being monitored directly from the scaffolding itself. All of the research has been carried out in collaboration with the Modena city Council. The data that have been collected during this stage have provided the possibility of identifying the materials and techniques used during the Tower construction. At the same time, systematic sampling was performed on all the mortar bedding and plasterwork, shedding new light on the chronology of building interventions, and making it possible to calculate the full construction stratigraphy. These analyses will be combined with an inspection of the construction bricks, and, together with the research on the exterior stonework already completed,

it will be possible to recreate the various construction stages of the Tower. This contribution concerning the composition and specific nature of the various mortar pastes, provided invaluable information for the project planning and future interventions. Access to this rich store of key information has led to the launching of comparative statistical research with archeological materials excavated from *Mutina* (the ancient name for Modena) that emerge almost daily. This comparison allows us to experience authentic time-travel back to the past, from the present time to the Roman period, a leap of nearly two thousand years following the path of those men in the Middle Ages, who planned the Tower and adorned it with an exquisite outer covering of carved stone, which was, to a large degree, taken from the subsoil of the city. Naturally, this area of research is closely linked with the extensive collection on display in the Museo Lapidario Romano (Roman headstone Museum) and in the Lapidario Estense (Estense Gallery), which house the most striking examples of ancient sculpture. The mapping of the deterioration of the external stonework on the Tower was performed in 2008. This phase is part of the diagnostic work and was carried out directly on the scaffolding surrounding the Tower itself.



pregevoli esempi di scultura medievale, principalmente campionesa ed elementi di reimpiego di età romana. Una delle più recenti frontiere di ricerca riguarda l'individuazione delle cave di estrazione dei materiali. Attraverso una campagna di sopralluoghi e campionamenti condotta nei bacini estrattivi dei colli Berici vicentini, nel territorio triestino, istriano e nel Veronese è stato possibile caratterizzare le facies dei litotipi secondo il contenuto micro-paleontologico. Tale approccio per sua natura genera un quadro scientifico di dati in continuo aggiornamento, tanto appassionante quanto nuovo. Come una finestra aperta sul passato da cui oggi possiamo trarre insegnamenti inseguendo segni talvolta impercettibili, di cui le pietre della torre sono custodi. È stata questa un'occasione straordinaria per portare avanti studi paralleli che permettano di seguire il percorso dei materiali lapidei lungo tutta la loro millenaria storia, legata indissolubilmente alle vicende, ai luoghi e agli uomini che ne vollero sancire la memoria. Oltre che per la diagnostica sopra esposta, l'Università ha affiancato il Comune di Modena e il Museo Civico d'Arte anche nell'attività divulgativa. Per presentare, e soprattutto mostrare, le tematiche del restauro in corso, è stato organizzato un ricco calendario di visite guidate gratuite aperte a tutti al cantiere della torre prima dell'avvio dei lavori.

Da marzo a ottobre 2008 si sono susseguiti due cicli di appuntamenti articolati in diversi possibili itinerari: oltre alla visita al cantiere, è stato possibile soffermarsi al museo "Gemma 1786", presso il dipartimento di Scienze della terra, per osservare al microscopio ottico le caratteristiche delle pietre della torre e apprezzarne anche il contenuto paleontologico. In aggiunta, i visitatori sono stati condotti alla scoperta dei Musei del Duomo, dove si è voluto proporre un appassionante confronto tra la scultura della cattedrale attribuita al Maestro delle Metope e quella delle prime fasi edilizie della Ghirlandina. La scelta di focalizzare l'attenzione soltanto sui primi tre piani è proprio dovuta alla presenza, nelle relative tre cornici marcapiano, di buona parte dell'apparato scultoreo originale, raggiungendo la quota di circa 30 m. Si tratta di un ciclo decorativo opera di vari artisti di scuola Campionesa e pre-Campionesa, concentrato in due registri: uno maggiore sui blocchi angolari scolpiti ad altorilievo e uno minore sulle numerose mensole che sorreggono idealmente le archeggiature pensili. Il soggetto iconografico è straordinariamente vario e comprende soggetti di gusto cavalleresco, biblico, figure di animali reali e fantastici. Proprio la straordinaria complessità e vivacità di queste sculture ha suggerito di proporre, in concomitanza dell'ultimo Festival della filosofia (19-21 settembre 2008), una serie di visite sul tema della fantasia.

This analysis has made it possible to establish a sufficiently extensive overview of the factors responsible for the deterioration, closely connected with both the geological nature of each lithotype as well as the microclimatic conditions to which the stonework has been exposed, day after day, for centuries. A recently completed cross-study regarding the sculptural and decorative aspects of the Tower has made it possible to identify the various materials employed and to estimate their dating.

The result of this research is an integrated part of the survey concerning the classification of the stonework and includes, for example, a complete catalogue of the suspended corbels that appear on the cornices, and the sculptures at each corner. The analyzed material includes exquisite examples of medieval sculpture, primarily the work of the Campionesa masters, as well as elements from the Roman era, which had been reused on the Tower. One of the most recent inroads into research concerns the discovery of quarries from which the materials were mined. On-site surveys and samplings conducted in the mining basins of the Colli Berici of Vicenza, in the areas of Trieste, Istria and Verona, led to the discovery of lithotype facies able to be classified according to their micro-paleontological content.

This type of approach is able to

provide a scientific outline of constantly updated information, as exciting as it is innovative.

Like a window open into the past, through which we can steal a glimpse, it is possible to trace the sometimes elusive clues, and those secrets to the origin of the stones of the Tower. It has been an exceptional opportunity to engage in parallel research in tracking some of the stone materials through their thousand-year history, eternally linked to specific events, to defined areas, and to those men whose purpose it was to perpetuate their memory.

In addition to support for the analytical work described above, the University has also assisted the Comune di Modena and the Museo Civico d'Arte with a promotional campaign.

An extensive program of free guided tours to the restoration sites on the Tower was organized and opened to the public before the actual work began. Between March and October of 2008, two types of visits were made available, divided into several possible itineraries: in addition to the tours on the work site, there was also the opportunity to visit the "Gemma 1786," Museum in the Department of Earth Sciences, to examine the characteristics of the stones used on the Tower through an optical microscope, and also to discover their paleontological content.

In addition, visitors were taken on tours of the Musei del Duomo,



Si è trattato di un viaggio nel mondo dell'immaginario medievale, in quel "bestiario" tanto caro ai nostri predecessori, fatto di una timorosa e reverenziale iconografia religiosa permeata da echi di paganesimo.

L'imponente ponteggio ha senza dubbio fornito l'occasione di accogliere un ampio pubblico lungo gli esterni della Ghirlandina.

La massiccia adesione della cittadinanza modenese e non solo, ha testimoniato la passione della città per il suo simbolo; un'opportunità tanto unica quanto rara di poter osservare da vicino le sculture e apprezzarne le finenze stilistiche non visibili da terra. I numeri parlano di 2320 visitatori in 240 percorsi. Non solo addetti ai lavori, ma anche giornalisti e comuni cittadini hanno potuto prendere atto dello stato di conservazione della torre, ascoltare le ragioni dell'intervento, le problematiche e le metodologie. È stato il momento per mostrare le patologie di degrado dei materiali lapidei, i segni dei passati interventi di restauro e i materiali di cui è composto il rivestimento. Si potrebbe sintetizzare dicendo che Scienza del restauro e storia dell'arte hanno accompagnato i visitatori in un ideale viaggio interattivo, in cui ognuno ha avuto l'occasione per immergersi nelle tematiche di ricerca volte alla tutela, alla diagnostica e al restauro della Ghirlandina.

with demonstrations showing comparisons between the sculptures of the Cathedral that are attributed to the Maestro delle Metope and those of the initial construction stages of the Ghirlandina.

The decision to concentrate only on the first three levels is explained by the presence, in the three relative cornices that mark each section, of a large majority of the original sculptures and carved elements that reach a height of approximately thirty meters. This decorative sequence is the work of various artists of the Campionesse and pre-Campionesse school, in two styles: the large-scale corner pillars sculpted in high relief, and on a smaller scale, the numerous corbels that support the suspended arches.

The iconographic subject matter is unusually diversified and includes chivalrous and Biblical characters as well as figures of real and mythological animals.

The unusual complexity and vivacity of these sculptures was the theme that prompted a series of guided visits based on the topic of "fantasy," in conjunction with the most recent Philosophy Festival (19-21 September, 2008). It took the form of a voyage into the world of the medieval imagination, into that "bestiary" so dear to our ancestors, based on pious and reverent religious iconography, diffused with echoes of paganism.

The huge scaffolding undoubtedly made it possible to accommodate a large section of the public around the outside walls of the Ghirlandina. The large-scale participation of the people of Modena and visitors from other towns is witness to the city's love for its symbol, a unique and splendid opportunity to see the sculptures from a close distance and to admire the stylistic subtleties not visible from the ground. Figures showed that there were 2320 visitors in 240 guided tours. Not only those involved in the work, but also journalists and local people from the town were offered the opportunity to learn about the state of conservation of the Tower and to understand the reasons for the much-needed work, as well as the problems and the techniques involved in the intervention.

It provided the opportunity to demonstrate the condition of the stonework deterioration, the traces of past restoration work, and the materials that had been used in building the stone facing. The science of restoration and the history of art, guided the visitors through an ideal interactive voyage allowing the access to the wide variety of research work involved in the protection, the diagnostic project and the restoration work planned for the Ghirlandina.

PALADINO PER MODENA:
COME UN TELO
PER COPRIRE I PONTEGGI
PUÒ DIVENTARE PROTAGONISTA

PALADINO FOR MODENA:
A COVER-UP FOR THE
GHIRLANDINA'S SCAFFOLDING
BECOMES THE BELLE OF THE BALL

Angela Vettese



Il fumo della pianura padana ha reso grigio il fondo del telo che ricopre la Ghirlandina, quasi *memento mori* per noi che respiriamo quest'aria. È un peccato. È un nostro peccato, però, non dell'artista, che ha inteso raffigurare nel cielo di Modena un canto lirico di colori e di forme che si stagliavano sul bianco. Un solo anno è bastato per dipingere quel non colore di tempo.

Ed è giusto così: il tempo urbano si visualizza in quel bianco sparito e in quei colori quasi dilavati e amalgamati con il colore della città. Lasciare Modena senza la sua Ghirlandina per un periodo di due o tre anni è sembrato davvero un dramma. Di qui l'idea dell'amministrazione di darle un vestito nuovo, di non lasciare i ponteggi a vista – non sarebbe stato possibile per ragioni di sicurezza – ma non sembrava cosa da abbracciarsi neppure una rete semitrasparente che avrebbe reso protagonista la ferraglia. Era fragile anche l'ipotesi di una copertura che riproducesse sui quattro lati i volti del monumento. Così si è pensato a un artista.

Ho scelto Mimmo Paladino per molti motivi.

Prima di tutto per la sua relazione con Modena: mettere questo piccolo ma anche enorme omaggio nelle mani di uno straniero non mi sembrava opportuno. Metterlo nelle mani di una gloria locale, anche di grande valore, significava fare un torto a tutti gli altri artisti modenesi. D'altro canto non mi sembrava giusto nemmeno far fare il progetto di copertura a un artista che non aveva mai avuto relazioni con la città. Paladino era stato fino dagli anni Ottanta presente nella dinamica culturale di Modena, se non altri per la sua costante presenza – fino a un recente distacco – nelle mostre della galleria Mazzoli.

Nel 1982, abbastanza tempestivamente sul successo del gruppo di artisti sostenuto da Achille Bonito Oliva e denominato allora Transavanguardia, la Galleria Civica aveva a esso dedicato una rassegna importante. Di quel momento espositivo sono stati anche conservati dei pannelli nati per essere sola scenografia e che Fausto Ferri, da allora e fino a ora responsabile degli allestimenti della Civica, ha deciso di non buttare. Così oggi la Galleria Civica ha ricostruito la piccola stanza in cui veniva, all'origine, ospitato un piccolo quadro – la cui prima versione, per la cronaca, fu persa in treno dall'artista... Molti episodi, insomma, legano affettivamente la città a questo artista, in verità del tutto irriducibile a poetiche di gruppo e infatti presto sganciatisi da qualsiasi forzatura a uso critico. Il motivo maggiore per il quale ho pensato a Paladino è la sua capacità di interagire con il pubblico delle strade, quello non avvezzo all'arte contemporanea. Si sa che il linguaggio dell'arte è così cambiato che non è il caso di aspettarsi troppi applausi: la gente si aspetterebbe un Van Gogh e noi gli diamo cose che non capisce; sappiamo di doverci rassegnare a un'audience limitata.

The canvas that covers the four-sides of the Ghirlandina Tower has been rendered gray by the fumes and smoke of the Po River Valley, nearly a *memento mori* for those of us who breathe that same air. It's a shame. It's our shame, of course, and not the artist's. His intention was to decorate the Modena sky in an aria of colors and shapes silhouetted against a backdrop of white.

It took only a year to paint the canvas in time's non-color.

And that is only fitting. Urban time can be observed in that faded-out white and in the nearly washed-away colors, incorporated now into the color of the city itself.

The prospect of leaving Modena without its Ghirlandina for a period of some two or three years had loomed as a disaster.

As a result, and so as not to expose the scaffolding to plain sight, the city administration decided to give the Tower a new suit of clothes.

The proposal to use a semi-transparent net that would have shown off the metal framework beneath aroused little enthusiasm, though safety considerations would have made it impossible anyway. No more viable was the suggestion to dress the sides of the tower with reproductions of its four faces. And so we began to consider an artist.

I chose Mimmo Paladino for many reasons.

First of all, for his relationship with Modena. To entrust this small (huge) honor to a stranger to the city struck me as inappropriate. Bestowing it upon a local luminary was similarly unattractive, because it would have meant committing an injustice against all of Modena's other artists. On the other hand, I didn't feel it was right to grant the project of covering the

Ghirlandina to an artist who had never had any particular connection whatsoever to Modena. Since the beginning of the 1980s, Paladino had been a part of Modena's dynamic culture – if for no other reason than his constant presence (up until a recent parting of the ways) in the shows organized at the Mazzoli Gallery. In 1982, following the success of a group of artists promoted by the critic, Achille Bonito Oliva and called, at the time, the "Transavanguardia," Modena's Galleria Civica organized an important exhibit dedicated to the movement. Even the panels used for background decoration at that show were saved, thanks to Fausto Ferri – then and now in charge of mounting the Galleria's exhibits – who decided not to throw them away. And so the Galleria Civica has today reconstructed the room where a small Paladino canvas once hung (in the interests of historical accuracy, the artist lost the original painting on the train). Quite a few events, then, tie Modena and Paladino to one another sentimentally, though the fact of the matter is that Paladino can in no way be reduced to a question of "group poetics"; indeed, he quickly unyoked himself from critical distortions of all kinds.

Nei pochi casi in cui però questo non si dimostra vero, nelle scarse occasioni in cui un'opera di arte messa in un luogo pubblico diventa veramente arte pubblica, nelle occasioni in cui una struttura pensata da un artista diventa un patrimonio che la gente ama vedersi intorno e del quale è addirittura geloso, allora grande è la soddisfazione.

Questo piccolo miracolo di accoglienza è capitato più volte nel lavoro di Paladino, soprattutto con la *Montagna di Sale* pensata per Benevento ed esposta a Napoli, nel tempo del suo effimero e sperato Rinascimento, nel 1995. Allora ci fu la gara a chi si prese il sacchetto di sale dopo lo smantellamento dell'opera, come elemento doppiamente augurale: perché sale, tradizionalmente fortunato, e perché parte di un'opera che era riuscita a entrare in poco tempo nella memoria di una collettività speranzosa. Eppure quella non era un'opera facile: parlava di cavalli disarcionati, di cavalieri perduti, di un luogo dove c'era stata una sconfitta e non c'era posto per una civiltà nuova. Una piramide, una tomba, un lutto. La lettura che se ne fece fu invece volontariamente felice e non dunque quella di una fine, ma di un possibile ricominciare.

Anche le statue messe a corolla attorno alla fontana che sta al centro della piazza di Botta, a Rovereto, creata dall'architetto svizzero per accogliere il visitatore in un ingresso grandioso: anche quelle, misteriosi pilastri di pietra, tra gli angeli di Melotti e i santi guardiani delle chiese medievali, dovevano essere solo una decorazione temporanea al giro d'acqua. In effetti sono state anche tolte, ma la memoria di quel luogo, di quella cupola vuota, la memoria che si stampa sui libri sotto forma di fotografie e nelle menti come archetipo di quel posto contiene le statue stesse. Anche qui, nulla di felice: sono presenze che ci guardano male o, peggio ancora, non ci guardano, non si interessano a noi, vivono in un mondo lontano in cui la nostra esistenza di uomini in carne e ossa è vista come cosa vana. Eppure anche in questo caso c'è stato un fenomeno di adozione da parte del pubblico. Come è stata adottata la stazione della metropolitana di Napoli, come sarà adottata, certamente, la parete in mosaico commissionata a Paladino per l'Ara Pacis di Roma. I dormienti regalati al Comune di Poggibonsi dopo l'intervento alla Fonte delle Fate (1998) e dopo che quelle forme di uomini fratti, rotti e silenti ebbero trovato una vita nuova anche nei sotterranei di Londra con una installazione sonora di Brian Eno, sono diventati un oggetto di reverenza più che di attrazione turistica.

Dell'arte pubblica si è detto e scritto moltissimo, a partire in particolare dai secondi anni Ottanta. Si è pensato che uno degli

The most compelling reason for considering Paladino was the ability of his work to interact with the ordinary public – the public that is unaccustomed to contemporary art. The language of art, as we all know, has changed so radically that these days no one can expect much in the way of applause. People want to see Van Gogh and we give them things they don't understand.

We realize we must resign ourselves to a limited public. In those few cases in which such an outcome does not come about, on those rare occasions in which a work of art exhibited in a public place truly becomes public art or an artist's creation becomes an asset that people enjoy being around and of which they are even proud – in such cases, the satisfaction is immense. Such small public miracles have greeted Paladino's work on numerous occasions. One thinks, in particular, of his *Montagna di Sale* (Salt Mountain), conceived for Benevento but exhibited in Naples in 1995, during that city's ephemeral but long-anticipated renaissance. When the piece was taken down, there was even a bit of competition to carry home a small sack of salt, a doubly auspicious symbol—first, because salt is a traditional good-luck charm and, second, because the salt was part of a work that had, in a short time, penetrated the memories of an optimistic community. And yet *Montagna di Sale* was not an “easy” piece: it showed us fallen knights, horses that had lost their mounts, a

place of conflict where no new civilization would be born. It was a pyramid, a tomb, a bereavement. And yet the public interpreted the piece in a positive key, not as an end but as a potential new beginning. Even Mario Botta's statues, placed in profusion around the fountain at the entrance to the Museum of Modern and Contemporary Art in Rovereto and intended by Botta to welcome the visitor in the grand entranceway – even those mysterious pillars of stone, set among Fausto Menotti's angels and the guardian saints of the medieval church, were meant solely as a temporary decoration to accompany the movement of water. In fact, they've since been taken away, but the memory of that place, of that empty cupola... in those memories, which take the form of photographs printed in books or of archetypes stamped into our minds, the statues remain. But in Rovereto, too, there was no suggestion of great cheer. Botta's presences regarded us strangely or, worse yet, didn't regard us at all; they weren't interested; they lived in a far-off world in which our existence as flesh-and-blood beings was seen as a sort of vanity. And yet, even in the case of Botta's statues, the public came to adopt the work of art. The way the “art stations” of the Naples subway system have been adopted; the way the mosaic walls commissioned from Paladino for the Ara Pacis Museum in Rome will, certainly, be adopted.





sviluppi possibili per un linguaggio che si sentiva incalzato da altri più popolari, dal cinema alla pubblicità, alle nuove piste di Internet, fosse appunto portare l'opera nel mondo e comunque fuori dal museo, preferibilmente in ambiente urbano, trasformando la sua ragion d'essere soprattutto in una occasione per riflettere – anche politicamente – sul significato e sulla vita di un luogo. Molto spesso si è ritenuto che il significato di questi interventi, nonché la loro ragione progettuale debba essere eminentemente politica: tesa al cambiamento di un luogo pubblico piuttosto che a una presa d'atto o a un commento su di esso. Paladino non è mai stato inserito in rassegne *cutting edge* su tale argomento – per esempio nello Skulptur Project di Muenster – proprio per una posizione che non è battagliera, che non cerca il cambiamento a tutti i costi né fa polemica a casa d'altri.

Lo penalizza la mancanza di una proposta ideologica riconoscibile, proposta che per un italiano, diciamo, non potrebbe che avere il sapore di un'ipocrisia e di un'illusione non disinteressata. Interessata, appunto, a fare parte di un certo circolo critico, al cui consenso l'artista ha rinunciato peraltro da anni e anzi, potremmo dire, proprio da quando – nei primi anni Ottanta – lo ebbe.

Torneremo più tardi sui progetti di copertura della Ghirlandina e su quali tra essi abbia poi trovato realizzazione. Passiamo per un momento alla mostra che è nata, dopo la suggestione di coprire la Ghirlandina con un telo d'artista, attorno appunto all'idea di torre. Concepita per la sala Grande a Palazzo Santa Margherita, l'esposizione "Mimmo Paladino per Modena" è nata appunto sapendo di questo progetto e come complemento a esso. La torre è stata fino dalle sue prime battute un elemento fondamentale del progetto, tanto che inizialmente essa avrebbe dovuto riconfigurarsi come un crollo, come una colata di mattoni e di tegole di terracotta che avrebbe occupato oltre la metà dello spazio calpestabile. Da subito infatti, Paladino ha immaginato l'esposizione come ricca di materiali costruttivi o adatti a evocare l'edificazione; proseguendo la linea di esercitazione sulla terracotta e tutte le sue possibili varianti, che da anni sta seguendo a Faenza con l'aiuto entusiastico dell'atelier Gatti. Questo crollo è poi diventato un treno, quasi una torre ribaltata sul suo asse orizzontale, ma in movimento e con la capacità di trasportare. Il movimento è suggerito da una posizione diagonale nello spazio della galleria, posizione che implica dinamismo. Contiene cose che stanno ordinatamente sui suoi scaffali, pavimentati da reti che trattengono oggetti riconoscibili ma misteriosi. Scarpe o piuttosto calchi interni di scarpe. Guanti. Calci di fucili.

Consider, too, Paladino's *I Dormienti* (The Sleepers), presented to the City of Poggibonsi following its exhibition at the Fonte delle Fate (1998). Those fragmentary, broken, and silent figures later found a new life in the Roundhouse space at Chalk Farm, London, where the exhibition was accompanied by a sound installation by Brian Eno. Once the *Dormienti* returned to Poggibonsi, however, Paladino's sculpture became more an object of reverence than a tourist attraction. Much has been said and written about public art, particularly since the mid-1980s. The thought was that one potential means to rehabilitate a language that felt itself hemmed in by other, more popular means of expression (film, advertising, and even the new inroads created by the internet) was to take the work of art out into the world or, in any case, to release it from the museum. It would, preferably, be displayed in an urban environment, transforming its *raison d'être* into an opportunity for reflection – including politically – on the meaning and life of a particular location. Very often people maintain that the significance of such works, as well as the motive for their creation, is eminently political: their goal is considered to be the genesis of change in a public place rather than an acknowledgement of or commentary upon the place itself. Paladino has never been included in "cutting edge" exhibits of this kind – the Skulptur Projekte in Münster, Germany, for example – precisely

because he does not take combative positions, does not seek out "newness" above all else, and does not travel to other people's cities to foment controversy. He is penalized for his lack of a recognizable ideological approach—although, let us be frank: such a blatant ideology, for an Italian, could only smack of hypocrisy and of false indifference. A false indifference, that is, to being accepted into certain critical circles. Paladino, in any case, renounced the approval of such circles years ago, at—we might well say—the precise moment in the early 1980s when such approval was his to accept. A little further on, we'll come back to projects for the covering of the Ghirlandina Tower and to the question of which, among these, was ultimately realized. For a moment, let us turn to the exhibition that was organized after the proposal to cover the Ghirlandina with a work of art – in other words, a show dedicated to the very concept of "tower." Conceived for the grand hall of the Palazzo Santa Margherita, the "Mimmo Paladino for Modena" exhibit had the Ghirlandina restoration project in mind and was intended to be a complement to it. From the very earliest conversations, in fact, the Tower was a fundamental aspect of the artistic project. The initial concept had been to represent a sort of architectural collapse, a drift of bricks and terracotta tiles that would have occupied more than half the Palazzo's floor space.

Teste accatastate come nei mucchi delle fosse comuni. Pesci e altri cibi. Cappelli di feltro da uomo. Un'archeologia del sapere e del fare, un ricordo del tempo, un modo di essere che è proprio dei campanili sotto ai quali scorre la vita ma anche di tutti i siti archeologici – il che spiega la congruenza di quest'opera con la mostra inaugurale dell'Ara Pacis a Roma, dove l'opera ha trovato un secondo momento espositivo.

La torre-treno contiene sotto metafora la storia dell'uomo, di un'umanità che si sviluppa come un feto dentro all'utero stesso della storia. In basso, in alto, tra i piani diversi che contengono quelle merci, l'opera mostra infatti anche uomini accovacciati come già li avevamo trovati nella serie dei Dormienti. Sono uomini in posizione appunto fetale, alcuni dei quali completi mentre altri hanno perso una mano che è stata pietosamente riposta sul loro piano d'appoggio. Altri ancora hanno perso l'ordine complessivo del corpo e sono stati rimessi a posto alla bell'e meglio, cercando di intaccarne il meno possibile l'integrità e pensando che un giorno qualcuno avrebbe potuto metterne insieme i pezzi. Il treno porta in avanti queste memorie avite esattamente come ogni monumento. Il treno è un monumento che, attraverso il fluido del tempo, trascina in avanti non solo ciò che dobbiamo ricordare – la matematica, le scienze, le conquiste mediche – ma anche e soprattutto quello che siamo stati e forse non ha più ragione che siamo. Ma che comunque non possiamo dimenticare e che nel nostro dormire, nel nostro sognare, nel letargo della mente che appartiene a una certa parte della memoria, lascia tracce indelebili e influenti. L'uomo si porta dietro se stesso, nella storia.

Il grande telo per la Ghirlandina ripete queste emozioni anche se senza il senso della materia e trasferendo quest'ultimo verso il colore. I segni che vi si sono depositati sono simboli del passare della storia fattasi geometria, semplificatasi in strutture cromatiche fondamentali. Vediamo segni che sembrano rievocare un poco gli elementi primari dei quali parlò Empedocle – acqua, aria, fuoco, terra. L'ars combinatoria del pensiero, del progetto, della materia, del colore, del tutto insomma, rende possibili le opere dell'uomo. Paladino qui ci mostra frammenti delle sue proprie: vediamo volti semplificati, cordoni, superfici lavorate e anche muscoli mostruosi in una serie di ingrandimenti fotografici di sue sculture. Molti hanno pensato che si trattasse di immagini tratte dal Duomo e dai suoi rilievi, cui Wiligelmo ha dato un sapore magico. Paladino ha forse voluto parlare di una affinità e di una condivisione di intenti tra l'arte grande del passato e la sua, la nostra, quella del presente.

Paladino immediately imagined the installation as a rich grouping of real building materials or of others that evoked the construction process.

His concept was based in terracotta and all of its possible variants, a strategic approach that Paladino has been exploring for years with the enthusiastic help of the Bottega d'Arte Ceramica Gatti in Faenza.

This collapse later became what Paladino entitled *Treno* – literally a train, very nearly the image of a tower laid horizontally along its axis but still in motion and with the train's ability to transport merchandise. *Treno* was placed diagonally in the gallery space, a position that suggested movement and dynamism, and it held items carefully organized on shelves or hung upon wire gratings. The objects were recognizable but mysterious: shoes or, rather, the internal casts of shoes. Gloves. Pistol-grips. Heads stacked as if piled into common graves. Fish and other food. Men's felt hats. An archeology of human knowledge and activity, time's memory, an essence that is typical of steeples and towers, beneath which everyday life unfolds—but typical as well of all archeological sites (which explains this work's affinities with the Ara Pacis Museum in Rome, where *Treno* was included in the inaugural show).

The tower-train contained the story of human evolution in metaphorical form, a reflection of humanity's embryonic development within the womb of history. *Treno* showed us men huddled upon themselves just as they appeared in *I Dormienti* – whether at floor level or higher up or among the various intermediate surfaces on which objects of all kinds had been placed. These figures, too, were curled into a fetal position; some were intact while others had lost a hand which had compassionately been placed nearby. In still other cases, the integrity of the body itself was lost and the figures had been reassembled haphazardly, albeit with the apparent intention of doing as little damage as possible and in the hope that, one day, someone might be able to put all the pieces back together again. The train carried these ancestral memories with it, just as every monument does. As it travels across the flux of time, the train-monument transports not solely what we would do well to remember – mathematics, the sciences, advances in medicine – but also and especially what we once were and perhaps no longer have any reason to be. And yet we cannot forget such memories. In our sleep, in our dreams, in the lethargy that characterizes a certain segment of our minds,



L'opera è il risultato di una evoluzione delle prime ipotesi, nate da sopralluoghi iniziali poi approfonditi dalla permanenza dell'artista a Modena nel periodo in cui ha installato la mostra. È stata comparata la visione da lontano, da vicino, sul bianco. Una prova che prevedeva un drappo nero su cui fare stagliare un viso di tessere luminescenti è fallita, dal momento che queste tessere di materiale specchiante avrebbero resistito per poco tempo al vento e agli altri agenti ambientali.

Una densità maggiore del telo, forse auspicabile per una migliore vista da lontano, è stata resa impossibile dalla necessità di non renderlo troppo pesante o troppo opaco per chi vi lavora dentro. La possibilità di cancellare la forma a punta della Ghirlandina e di crearle una scatola a parallelepipedo è stata abbandonata perché, anche in questo caso, la struttura sarebbe stata fragile e avrebbe potuto presentare problemi con il vento.

I lavori sono stati seguiti dall'architetto del Comune con qualche pathos, giustificato anche da eventuali responsabilità sia artistiche sia legali.

Naturalmente la salita del telo protettivo lavorato, ancorché nato per essere temporaneo, ha dato luogo a molte polemiche. È naturale che la città abbia difeso la "sua" Ghirlandina da ciò che poteva essere una aggressione.

Ci si aspettava una cosa chiassosa, poco severa, "campana" e quindi partenopea. Ma l'inferenza è sbagliata: Paladino non è napoletano. Non fa parte della gente di costa. È un uomo dell'Appennino, quella spina dorsale che congiunge tutta l'Italia dal centro alla Calabria. Non è un artista di luce, di scherzi, di spazi aperti e privi di conflitti.

Viene da posti dove si sa cosa vuol dire il lavoro e dove niente consola, se non la natura e il lavoro stesso. Benevento non è sul mare. Può ben capire una pianura nella quale, senza lo sforzo e l'eccellenza dell'uomo, niente sarebbe nato.

Può ben sapere che una torre vale non solo perché si staglia verso il cielo segnalando un potere, ma soprattutto perché così facendo comunica l'esistenza e i valori della comunità che le sta alla base, la centralità in essa del segno umano nell'oggi, nei giorni che diventano storia uno a uno, nella memoria che ciascuno trasporta.

they leave their indelible, influential mark. In the passing of history, we human beings transport ourselves. The grand canvas installed around the Ghirlandina Tower reflects these emotions even if not, naturally, their materiality; Paladino has transubstantiated that essence into color.

The signs and tokens that are incised into the canvas are symbols of history's passing, seen now as geometry, simplified in basic chromatic designs.

We see what seem to be evocations of the primary elements of which Empedocles once spoke – water, air, fire, earth. What makes the works of humankind possible is an *ars combinatoria* – an alphabet of human thought, of design, of material, of color, of everything, in short. In a series of photographic enlargements of his own sculptures, Paladino shows us fragments of his alphabet: monstrous or stylized faces, bands of color, incised surfaces. Many people were convinced that Paladino's imagery was taken from the Duomo and its bas-reliefs, which Wiligelmus had rendered so magical. Perhaps Paladino intended to describe an affinity, a shared purpose between that great work of the past and his own creations, the art of the present. In any case, the final result represented the evolution of

Paladino's original ideas, of concepts born in his initial site visits and more fully elaborated during his presence in Modena for the installation of the "Mimmo Paladino for Modena" show. The tower was considered from afar, from close up, against a backdrop of white. The hypothesis of designing a face in luminescent tesserae upon a black drapery was rejected, since the mirrored tiles wouldn't have lasted long in the wind and weather. The use of a denser background material, which might have made the Tower's decoration more visible from a distance, wasn't practical because of the need to employ materials that were neither too heavy nor too opaque for those who would be working inside. The idea of blunting the Ghirlandina's pointed top by covering it in a sort of parallelepiped-shaped box was abandoned; here again, the structure would have been too fragile and the wind might have become a problem. Modena's city architect took in all of these conjectures with a certain pathos, more than justified by the responsibility he would ultimately have been expected to assume (legal or artistic) for the outcome. The installation of the protective canvas, despite its being intended as a temporary measure, nevertheless led to significant outcry. It was only natural that the city would defend its Ghirlandina from what seemed like

an act of aggression. The public was expecting something gaudy, unserious, something reminiscent of the Campania Region and, therefore, “Neapolitan.” But the inference was wrong: Paladino’s roots aren’t in Naples; his people do not come from Italy’s coasts. He is a man of the Apennines, the vertebral column that connects the whole of Italy from its center to Calabria. He isn’t an artist of bright lights, of clever effects, of open spaces from which conflict has been excluded. His origins lie in a place where people know the meaning of work and where life promises little consolation, if not for nature and work itself. Benevento is no town by the sea. Paladino has no difficulty grasping the significance of a vast river plain where, without human effort and excellence, nothing would ever have been born. He is well aware that the value of a tower lies not solely in its ability to soar into the sky, a symbol of strength, but especially in the manner in which its ascent communicates the existence and the values of the community that lives at its base. The tower – towering – marks the centrality to that community of the human sign: on the present; on the days that pass, one by one, into history; on the memories that each one of us carries within.



Apparati

Appendix

FONTI E STUDI PER LA STORIA DELLA GHIRLANDINA
SOURCES AND STUDIES FOR THE HISTORY OF THE GHIRLANDINA
 Cristina Dieghi

Fonti manoscritte / Manuscript sources

Archivio Capitolare di Modena (ACMo):
 Cod. O. III. 32, c. 1r.

Maestri, V., Schede manoscritte n. 338-412 realizzate per la stesura dell'opera mai pubblicata *L'architettura del Duomo di Modena e della Torre Ghirlandina, aggiuntivi in appendice il Tesoro del Duomo*, ms. XX sec. con inserti a stampa, Modena 1905-1907.

Statuti 1538-1539, 1542.

Archivio Storico Comunale di Modena (ASCMo):

Archivio della Torre, in Ex-Actis 1578.

Prodotte degli Atti della Municipalità di Modena 1803, 29 agosto, f. 79.

Prodotte degli Atti della Municipalità di Modena 1804, 24 settembre, f. 89.

Prodotte degli Atti della Municipalità di Modena 1807, 13 febbraio, 21 luglio, 29 settembre, 10 novembre, f. 118, 123, 125 e 127.

Prodotte degli Atti della Municipalità di Modena 1808, 28 dicembre, f.140.

Prodotte degli Atti della Municipalità di Modena 1809, 2 gennaio, 5, 9, 11 dicembre, f. 141 e 154.

Prodotte degli Atti della Municipalità di Modena 1810, 2 gennaio, 11 settembre f. 155 e 165.

Atti di Amministrazione Generale, Registro Protocollo 1804, n. 257, 24 gennaio.

Statuta Civitatis Mutine, 1327-28.

Vacchetta 1542, 24 aprile.

Vacchetta 1547, 19 settembre, 17 ottobre.

Archivio di Stato di Modena (ASMo):

Archivio Napoleonico, s. 56, busta 1325, fasc. 1657, 29 agosto 1803, 20 luglio 1804, 26 maggio 1807.

Biblioteca Estense Universitaria (BEMO):

Barbieri, G.M., *Memorie storiche che incominciano col 1099 sulle origini della Fabbrica del Duomo e Torre della Fabbrica di S. Geminiano per certa pretesa intentata contro la Comunità dal Vescovo, Canonici e Massaro, riguardante il pagamento di annue l. 50 asserto promessogli per un Palio in obblazione ed onore di detto Santo, compilate e scritte di proprio carattere dal Sig. Gio. M.a Barbieri Cancelliere perpetuo della Comunità, 1574 (Fondo Sorbelli 481).*

Cronaca del mondo trovata nel Castello di S. Cesario e messa per iscritto nell'anno 1523 per mano del giovane Battista Fogliano, cittadino di Modena, ms. Lat. 742 (α H. 5. 15); ms. Ital. 179 (α F. 6. 22); ms. Ital. 302 (α H. 6. 16).

Fonti edite / Printed sources

Bonacini, P., *Il Registrum Communis Mutinae, 1299: politica e amministrazione corrente del Comune di Modena alla fine del XIII secolo*, Archivio Storico, Modena 2002.

De' Bianchi detto De' Lancillotti, T., *Cronaca modenese (1547-1548)*, in *Monumenti di Storia Patria delle Province Modenesi, Serie delle cronache*, Fiaccadori, Parma 1862-84, 12 voll.

Panini, F., *Cronica della Città di Modona,*

a cura di R. Bussi e R. Montagnani, Panini, Modena 1978.

Spaccini, G.B., *Cronaca di Modena. Anni 1588-1602*, a cura di A. Biondi, R. Bussi e C. Giovannini, Panini, Modena 1993.

Tassoni, A., Bazzano, G. e Morano, B., *Cronache modenesi*, a cura di L. Vischi, T. Sandonini e O. Raselli, Soliani, Modena 1888.

Tiraboschi, G., *Memorie storiche modenesi col codice diplomatico*, Società tipografica, Modena 1793, 5 voll.

Vicini, E.P., *Regesto della Chiesa Cattedrale di Modena*, Magliione, Roma 1936, II.

Studi / Studies

Adani, G., *Memorie storiche e artistiche della Cattedrale di Modena*, s.n.t., Modena 1875.

Baracchi, O., *La Torre di Modena detta Ghirlandina. Nuove ricerche d'Archivio*, in "Atti e Memorie della Deputazione di Storia Patria per le Antiche Province Modenesi", 2001, s. XI, XXIII, pp. 19-43.

Baracchi, O., *Rinnovamenti e restauri architettonici nel Duomo, nelle sagrestie e nella torre*, in Baracchi, O. e Giovannini, C., *Il Duomo e la Torre di Modena. Nuovi documenti e ricerche*, Aedes Muratoriana, Modena 1988, pp. 143-206.

Barbieri, A., Leonelli, A. e Montanari, G., *Storia dell'arcidiocesi di Modena-Nonantola*, Tipolitografia Paltrinieri, Modena 1997, I.

Biondi, A., *La Comunità e il Santo nel Cinquecento, in Civitas Geminiana. La città e il suo patrono*, a cura di F. Piccinini, Panini, Modena 1997, pp. 36-46.

Biondi, G., *La "lite del pallio": un conflitto giuridico tra il Comune di Modena e la Fabbrica del duomo al tempo del cardinal Morone, in Domus clari Geminiani: il Duomo di Modena*, a cura di E. Corradini, E. Garzillo e G. Polidori, Silvana Editoriale, Modena 1998, pp. 291-308.

Borghesi, C., *Il Duomo ossia cenni storici e descrittivi della Cattedrale di Modena*, Cappelli, Modena 1845.

Borghesi, P., *I Palazzi del Comune di Modena nello scorcio del secolo XIII*, Cappelli, Modena 1943.

Bortolotti, P., *Di un antico ambone modenese e di qualche altro patrio avanzo architettonico cristiano*, Soliani, Modena 1882.

Campori, C., *Del governo a comune in Modena secondo gli Statuti ed altri documenti sincroni*, in *Statuta Civitatis Mutine*, Fiaccadori, Parma 1864.

Cavani, F., *Pendenza, stabilità e movimento delle torri. La Garisenda di Bologna e la Ghirlandina di Modena*, Tipografia Gamberini e Parmeggiani, Bologna 1903.

Cavedoni, C., *Cenni Storici intorno alla vita ai miracoli ed al culto del glorioso San Geminiano vescovo e protettore principale della chiesa modenese compilati da D. Celestino Cavedoni sacerdote modenese*, Cappelli, Modena 1856.

Chellini, L. e Pancaldi, E., *Guida storico-artistica di Modena e dintorni*, Cavallotti, Modena 1926.

Crespellani, A., *Scavi del Modenese (1898). Relazione*, in "Atti e Memorie della Deputazione di Storia Patria per le Antiche Province Modenesi", 1900, s. V, I, pp. 259-265.

De Francovich, G., *Benedetto Antelami*

architetto e scultore e l'arte del suo tempo, Electa, Milano-Firenze 1952, I.

Dieghi, C. (a cura di), *La torre "Ghirlandina". Ricerca storico-documentaria sulla costruzione e i restauri*, con la consulenza di P. Bonacini e F. Piccinini, Comune di Modena - Settore Lavori Pubblici - Servizio Edilizia Storica, Comitato scientifico per i restauri della "Ghirlandina", 18 giugno 2007.

Dondi, A., *Notizie storiche ed artistiche del Duomo di Modena*, Tip. Dell'Immacolata Concezione, Modena 1896.

Forni, L., *Modena cento anni fa ossia cenno storico sopra gli edifizij di Modena, in Modena a tre epoche. Descrizione del Conte Luigi Forni e del Marchese Cesare Campori*, Cappelli, Modena 1844, pp. 1-75.

Fregni, G., *Dell'antica iscrizione esistente nel pulpito del Duomo di Modena*, Namias, Modena 1895.

Fregni, G., *Sulla iscrizione posta a levante e al di fuori della nostra Ghirlandina, sotto la seconda cornice, nel mezzo, e all'altezza di circa 30 metri dal suolo. Riassunto della nostra polemica sul giornale "Il Panaro" e nuovi appunti in merito all'iscrizione stessa e di riscontro agli signori Pietro Zanfognini e Prof. Mario Martinozzi di Modena*, Ferraguti, Modena 1909.

Gandolfo, F., *Problemi della Cattedrale di Modena*, in "Commentari: rivista di critica e storia dell'arte", 1971, XXII, pp. 124-155.

Giovannini, C., *L'attività dei Maestri Campionesi sulla Ghirlandina agli inizi del Trecento: documenti inediti*, in Baracchi, O. e Giovannini, C., *Il Duomo e la Torre di Modena. Nuovi documenti e ricerche*, Aedes Muratoriana, Modena 1988, pp. 253-263.

Giovannini, C., *Vicende e restauri della Ghirlandina nei primi anni dell'800*, in Baracchi, O. e Giovannini, C., *Il Duomo e la Torre di Modena. Nuovi documenti e ricerche*, Aedes Muratoriana, Modena 1988, pp. 253-263.

Grandi, R., *I Campionesi a Modena, in Lanfranco e Wiligelmo: il Duomo di Modena*, Panini, Modena 1984, pp. 545-570.

Lomartire, S., *I Campionesi al Duomo di Modena, in I Maestri Campionesi*, a cura di R. Boscaglia e G.A. Dell'Acqua, Bolis, Bergamo 1992, pp. 37-81.

Lombardi, A., *Compendio storico di Modena*, s.n.t.

Martinuzzi, M., *Piccola guida del Duomo di Modena*, Orlandini, Modena 1920.

Montorsi, W., *La Torre della Ghirlandina. Comacini e Campionesi a Modena*, Aedes Muratoriana, Modena 1976.

Mor, C.G., *Un capitello della "Ghirlandina" e i primordi dello studio modenese, in Studi di storia e diritto in onore di Arrigo Solmi*, Giuffrè, Milano 1941, II, pp. 55-76.

Ognibene, G., *Il Duomo e la Torre di Modena nella storia dell'arte. 1106-1906*, Società tipografica, Modena 1906.

Orlandini, M.G. e Ceccarelli, C., *La Torre di Modena «La Ghirlandina»*, Artioli, Modena 1975.

Patetta, F., *Note sopra alcune iscrizioni medievali della regione modenese e sopra i Carmina Mutinensia*, Soliani, Modena 1905.

Pezzini, G., *Osservazioni sulla torre di Lanfranco a Modena, in Lanfranco e Wiligelmo: il Duomo di Modena*, Panini, Modena 1984.

Pistoni, G., *Duomo di Modena*, TEIC, Modena 1984, p. 41.

Quintavalle, A.C., *La cattedrale di Modena. Problemi del romanico emiliano*, Bassi, Modena 1964-65, 2 voll.

Quintavalle, A.C., *Wiligelmo e Matilde. L'officina romanica*, Electa, Milano 1991.

Roli Guidetti, C., *Duomo di Modena, in Tesori d'arte cristiana*, Officine Grafiche Poligrafici Il Resto del Carlino, Bologna 1966, I, pp. 449-475.

Rossi, P., *Vita di San Geminiano vescovo e protettore di Modena scritta dal Dottor Pellegrino Rossi modenese all'altissima serenissima di Rinaldo I duca di Modena*, Reggio. *Mirandola ecc.*, Francesco Torri, Modena 1736.

Salvini, R., *Il Duomo di Modena e il Romanico nel modenese*, Cassa di Risparmio di Modena, Modena 1966.

Sandonini, T., *Della torre della Cattedrale di Modena*, in "Atti e Memorie della Deputazione di Storia Patria per le Antiche Province Modenesi", 1894, s. IV, VI, pp. XV-XVI.

Sandonini, T., *Scavi eseguiti ai piedi della Torre Maggiore*, in "Atti e Memorie della Deputazione di Storia Patria per le Antiche Province Modenesi", 1900, s. V, I, p. XLVI.

Santini, G., *Diritto comune e tendenze di scuola nel "Capitello dei Giudici" della Ghirlandina*, riedito in Id., *Università e società nel XII secolo: Pillio da Medicina e lo studio di Modena*, STEM-Mucchi, Modena 1979, pp. 17-59.

Serchia, L., *Studi e interventi sulla Ghirlandina*, in C. Acidini Luchinat, L. Serchia e S. Piccini, *I restauri del Duomo, 1875-1984*, Panini, Modena 1984, pp. 173-186.

Silingardi, G., *Catalogus omnium episcoporum mutinensium quorum nomina magna adhibita diligentia reperiri potuerunt*, Officina episcopali apud Ioannem Mariam de Verdis, Modena 1606.

Sossaj, F., *Modena descritta da Francesco Sossaj*, Tipografia Camerale, Modena 1841.

Spinelli, A.G., *Gli archi fra il Duomo e la Ghirlandina di Modena*, in "La Provincia di Modena", 9-10 luglio 1903, pp. 5-8.

Torlaj, U., *La Ghirlandina. Appunti Storici*, Tipografia del Giornale "La Provincia di Modena", Modena 1906.

Valdrighi, F., *Dizionario storico-etimologico delle contrade e spazi pubblici di Modena*, Rossi, Modena 1880.

Valdrighi, F., *La Torre Maggiore di Modena. Lettere due*, Tipografia Sociale, Modena 1876.

Vandelli, D. e Lucarelli, E., *Meditazioni sopra la vita di S. Geminiano vescovo e protettore di Modena scritta dal dottore Pellegrino Rossi modenese proposta in sei punti da due amici*, Francesco Pitteri, Venezia 1738.

Vedriani, L., *Raccolta de' pittori, scultori et architetti modonesi più celebri*, Soliani, Modena 1662.

Venturi, A., *Storia dell'arte italiana. L'arte Romanica*, Hoepli, Milano 1904, III.

Vercellono, G., S. Geminiano, *il Duomo e la Ghirlandina*, Tipografia S. Giuseppe degli Artigianelli, Torino 1906.

**IL CONTRIBUTO DELL'ARCHEOLOGIA
ALLA LETTURA DI UN MONUMENTO
ARCHEOLOGY'S CONTRIBUTION
TO UNDERSTANDING A MONUMENT**
Donato Labate

- Acidini Luchinat, C., Serchia, L., Piconi, S., *I restauri del Duomo di Modena, 1875-1984*, Panini, Modena 2004.
- Barreca, D., Labate, D., Marchi, S., *Modena, Via Emilia Est-Tangenziale Pasternak. Strada consolare e necropoli monumentale di età romana (II sec. a.C. - VI sec. d.C.)*, in "Atti e Memorie della Deputazione di Storia Patria per le Antiche Province Modenesi", s. XI, XXI, Modena 2009.
- Bergonzini, G.D., Bronzoni, L., Cerchi, E., Chiesi, I., Cremaschi, M., Forte, M., Losi, A., Zanasi, C., "La successione stratigrafica rilevata nei recenti sondaggi presso l'abside centrale del Duomo", in *Modena dalle origini all'anno mille. Studi di archeologia e storia*, I, Modena 1988, I, pp. 463-465.
- Bertoni, G., *La cattedrale modenese preesistente all'attuale*, Modena 1914.
- Bottazzi, G., *L'alluvionamento di Modena romana. Relazione tra corsi d'acqua, viabilità ed impianto urbano*, in "Atti e Memorie della Deputazione di Storia Patria per le Antiche Province Modenesi", s. IX, VIII, pp. 57-80.
- Cerchi, E., Losi, A., Sghedoni, M., "Nuovi dati sul Duomo di Modena: gli scavi di via Lanfranco", in *Archeologia medievale in Emilia occidentale. Ricerche e studi*, a cura di S. Gelichi, Mantova 1998, pp. 51-64.
- Cardarelli, A., Cattani, M., Giordani, N., Labate, D., Pellegrini, S., *Valutazione del rischio archeologico e programmazione degli interventi di trasformazione urbana e territoriale: l'esperienza di Modena*, in "Dalla carta di rischio archeologico di Cesena alla tutela preventiva urbana in Europa", a cura di Gelichi, Sauro, Atti del Convegno (Cesena, 5-6 marzo 1999), Firenze 2001, pp. 31-40.
- Cattani, M., *Piazza G. Mazzini, Necropoli (età tardoantico-altomedievale) in Modena dalle origini all'anno mille. Studi di archeologia e storia*, I, Modena 1988, I, pp. 383-389.
- Frugoni, C. (a cura di), *Il Duomo di Modena, The Cathedral of Modena*, I-III, Modena 1999.
- Cremaschi, M., Gasperi, G., "Il sottosuolo della città di Modena. Caratteri sedimentologici, geopedologici, stratigrafici e significato paleoambientale", in *Modena dalle origini all'anno mille. Studi di archeologia e storia*, I, Modena 1988, I, pp. 280 ss.
- Gandolfo, F., *Il cantiere dell'architetto Lanfranco e la cattedrale del vescovo Eriberto*, in "Arte Medievale" s. II, a. III, n. 1 (1989), pp. 29-46.
- Gelichi, S., "Piazza Grande (Saggio A), Necropoli ed edifici (VI-XV sec.)", in AA.VV., *Modena dalle origini all'anno mille. Studi di archeologia e storia*, I, Modena 1988, pp. 289-394.
- Giordani, N., *Modena, piazza XX Settembre*, in "Archeologia dell'Emilia-Romagna", 1998, I/2, pp. 84-86.
- Labate, D., *Modena, Piazza Torre e Piazzetta Ova. Strada Consolare e stratificazioni dall'età romana all'età moderna*, in "Atti e Memorie della Deputazione di Storia Patria per le Antiche Province Modenesi", s. XI, XXI, Modena 2009.
- Labate, D., Malnati, L., "Il sondaggio stratigrafico nella sede centrale della Cassa di Risparmio di Modena (1985-1986): lo scavo", in AA.VV., *Modena dalle origini all'anno mille. Studi di archeologia e storia*, I, Modena 1988, pp. 423-426.

- Labate, D., Malnati, L., "Il sottosuolo di Modena e la salvaguardia del patrimonio archeologico", in *Geologia urbana di Modena: sostenibilità ambientale e territoriale*, Atti del convegno (Modena, 21 novembre 2008), in c.s.
- Labate, D., Palazzini, S., *Modena, Via Emilia Est, necropoli monumentale (I sec. a.C. - II sec. d.C.)*, in "Atti e Memorie della Deputazione di Storia Patria per le Antiche Province Modenesi", s. XI, XX, 2009.
- Labate, D., Pellegrini, S., *Modena, Piazza Roma. Fortificazioni di età romana repubblicana*, in "Atti e Memorie della Deputazione di Storia Patria per le Antiche Province Modenesi", s. XI, XX, 2008, pp. 296-297.
- Labate, D., Pellegrini, S., *Modena, Piazza Roma. Fortificazioni e domus di età repubblicana e stratificazione dall'età romana all'età moderna*, in "Atti e Memorie della Deputazione di Storia Patria per le Antiche Province Modenesi", s. XI, XX, 2009.
- Lomartire, S., "Ghirlandina, lato est. Rilievo a motivi vegetali reimpiegato sotto la cornice del secondo piano", in *Lanfranco e Wiligelmo. Il Duomo di Modena*, coordinamento di E. Castelnuovo, V. Fumagalli, A. Peroni, S. Settis, Panini, Modena, pp. 401-402.
- Lomartire, S., "Ghirlandina. Stanza dei torregiani, lato sud. Capitello 'dei Giudici', in *Lanfranco e Wiligelmo. Il Duomo di Modena*, coordinamento di E. Castelnuovo, V. Fumagalli, A. Peroni, S. Settis, Panini, Modena, pp. 402-403.
- Malnati, L., "Piazza Grande (Saggio B), Necropoli (fine V-inizi VI sec. d.C.)", in *Modena dalle origini all'anno mille. Studi di archeologia e storia*, I, Modena 1988, p. 394.
- AAVV, *Modena dalle origini all'anno mille. Studi di archeologia e storia*, I-II, Modena 1988-1989.
- Montorsi, W., *La Torre della Ghirlandina: Comacini e Campionesi a Modena*, Aedes Muratoriana, Modena 1976.
- Peroni, A., "L'architetto Lanfranco e la struttura del Duomo", in *Lanfranco e Wiligelmo. Il Duomo di Modena*, coordinamento di E. Castelnuovo, V. Fumagalli, A. Peroni, S. Settis, Panini, Modena, pp. 143 ss.
- Pezzini, G., "Osservazioni sulla Torre di Lanfranco a Modena", in *Lanfranco e Wiligelmo: il Duomo di Modena*, Modena 1984, pp. 835-845.
- Sandonnini, T., *Cronaca dei restauri del Duomo di Modena (1807-1925)*, a cura di O. Baracchi Giovanardi, Modena 1983.
- Trovabene, G., Serrazanetti, G., "Il Duomo nel tessuto urbanistico. Primi lineamenti per un'indagine sull'evoluzione edilizia cittadina", in *Lanfranco e Wiligelmo*, in *Lanfranco e Wiligelmo*, Modena 1984, pp. 265-274.
- Trovabene, G., "Gli arredi preromani nel museo lapidario del Duomo di Modena", in *Lanfranco e Wiligelmo. Il Duomo di Modena*, coordinamento di E. Castelnuovo, V. Fumagalli, A. Peroni, S. Settis, Panini, Modena, pp. 595-610.

**LE PIETRE DELLA TORRE GHIRLANDINA
THE STONES OF THE GHIRLANDINA TOWER**

Stefano Lugli, Cesare Andrea Papazzoni, Silvia Gavioli, Carlotta Melloni, Giulia Rossetti, Simone Tintori, Riccardo Zanfognini

- Baracchi O., "Atti e Memorie della Deputazione di Storia Patria per le Antiche Province Modenesi", serie XI-Vol XXIII, Modena 2001, pp. 19-43.
- Baracchi, O., Giovanardi, C., *Il Duomo e la Torre di Modena, nuovi documenti e ricerche*, in "Deputazione di storia patria per le antiche province modenesi", Modena 1988.
- Benchiari S., "Carbonate lithotypes employed in historical monuments: quarry materials, deterioration and restoration treatment", tesi di dottorato inedita, Università di Padova 2007.
- Bertacchi, L., *L'impiego in età Romana ad Aquileia*, in "I marmi del Carso Triestino" (eds. F. Cucchi and S. Gerdol), 17-24, CCIAA, Trieste 1985..
- Bertolani M., "Note sulla natura delle pietre usate nel Duomo di Modena", in *Lanfranco e Wiligelmo il duomo di Modena*, Modena 1984, pp. 298-305.
- Bertolani M., *Le pietre naturali presenti nella città di Modena*, in "Atti della Società dei Naturalisti e Matematici di Modena", 129, 1998, pp. 175-190.
- Bertolani M. e Rossi A., *Osservazioni sul rivestimento lapideo della Torre Ghirlandina a Modena*, in "Deputazione di Storia Patria per le Antiche Province Modenesi", Modena 1971, pp. 93-101.
- Bertosa M., *Lavorio istriano per Donatello*, in "Jurina i Franina", rivista di varia cultura istriana, n. 51, estate-autunno 1992, Libar od Grozda (Pula), pp. 38-41.
- Buonopane A., *Estrazione, lavorazione e commercio dei materiali lapidei in "Il Veneto nell'età romana"*, a cura di E. Buchi, vol. 1, Verona 1987, pp. 187-218.
- Capedri S., *I materiali naturali utilizzati nei repertori del Museo Lapidario Estense*, in "Il Museo Lapidario Estense", catalogo generale a cura di N. Giordani e G. Paolozzi Strozzi, Venezia 2005, pp. 509-513.
- Cavedoni C., *Dichiarazione degli antichi marmi modenesi con le notizie di Modena al tempo dei Romani*, Modena 1828, pp. 52-76.
- Cestari, R. & Sartorio, D., *Rudists and Facies of the Periadriatic Domain*. Agip S.p.A., 1995, pp. 207
- Corvaglia S., "Le pietre di Modena: la spoliazione dei materiali lapidei della necropoli romana di Via Emilia est", tesi di laurea inedita, Università degli Studi di Modena 2007.
- Dolci E., "Marmorata Lunensia. Quarrying Technology and Archeological Use", in Herz N., Waelkens M. (ed.), *Classical Marble: Geochemistry, Technology, Trade*, Dordrecht/Boston/London 1988, pp. 77-84.
- Fiaccadori P., *Cronache modenesi di Tommaso De' Bianchi detto De' lancellotti*, in "Monumenti di Storia Patria delle Province modenesi", serie delle Cronache, tomo XIII, vol. XII, Parma 1884.
- Lozar, F. e Grosso, F., *Biostratigrafia della successione cretacea del margine dei Lessini occidentali (Provincia di Verona, Italia)*. "Bollettino del Museo Regionale di Scienze Naturali", Torino 1997, 15 (1), pp. 111-136.
- Lugli S., *Considerazioni sui materiali da costruzione impiegati nella edificazione del Palazzo Ducale di Sassuolo*, in "Sassuolo e la sua storia, nuovi contributi alla conoscenza della storia artistica e industriale sassolese". QB-Quaderni della Biblioteca, 2, Sassuolo 1996, pp. 203-210.
- Lugli S., Malnati L., Marrocchino E., Mazzucchelli M., Sighinolfi F., Vaccaro C., *Natural stones from sacral buildings of the Marzabotto Etruscan site: Petrochemical characterization and hypothesis of provenance*, in *Geotalia 2007 "VI Forum Italiano di Scienze della Terra"*, Rimini, 12-14/09/2007, Epitome, 2, p. 471.
- Maritan L., Mazzoli C. and Melis E., *A multidisciplinary approach to the characterization of roman gravestones from Aquileia (Udine, Italy)*, "Archaeometry", 2003, pp. 363-374.
- Martire, L., Clari, P., Lozar, F. & Pavia, G., *The Rosso Ammonitico Veronese (Middle-Upper Jurassic of the Trento Plateau): a proposal of lithostratigraphic ordering and formalization* in "Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia" 2006, 112 (2), pp. 227-250.
- Maselli Scotti F., *L'impiego a Trieste e nel suo territorio*, in "I marmi del Carso Triestino" (eds. F. Cucchi and S. Gerdol), 29-33, CCIAA, Trieste 1985.
- Monna D. e Pensabene P., *Marmi dell'Asia Minore*, Consiglio nazionale delle ricerche, Roma 1977, p. 259.
- Pedrazzi S., "Storia di una rosa minacciata rovina, il rosone del Duomo di Modena: caratterizzazione e provenienza delle rocce, fenomeni di degrad e ipotesi di restauro", tesi di laurea inedita, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia 2006.
- Rossetti G., "Il volto della cattedrale: un mosaico di pietra. Il paramento lapideo nella facciata del Duomo di Modena", tesi di laurea inedita, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia 2007.
- Tentor, M., Tunis, G. & Venturini, S., *Schema stratigrafico e tettonico del Carso Isontino in "Natura nascosta"* 1994, 9, pp. 1-32.
- Tintori S., *Nuova luce sul lato oscuro del Duomo, il paramento lapideo nel fianco settentrionale della cattedrale di Modena*, tesi di laurea inedita, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia 2007.
- Vlahović I., Tišljarić J., Velić I., Maticec D., Skelton P.W., Korbar T. e Fuček L., *Main events recorded in the sedimentary succession of the Adriatic Carbonate Platform from the Oxfordian to the Upper Santonian in Istria (Croatia)* in Vlahović I. e Tišljarić J. (eds.) "Evolution of Depositional Environments from the Palaeozoic to the Quaternary in the Karst Dinarides and the Pannonian Basin", FieldTrip Guidebook, 22nd IAS Meeting of Sedimentology 2003, pp. 19-56.

**VALUTAZIONE
DELL'ALTERAZIONE CHIMICO-FISICA
DELLE SUPERFICI LAPIDEE
ASSESSMENT OF THE CHEMICAL AND
PHYSICAL ALTERATION OF STONES
SURFACES**

Mirella Baldan, Guido Biscontin

- Baroni G., Zecchin F., "Le pietre nelle architetture minori del Veneto", Servizi Grafici Editoriali, Padova 1995.
- Lazzarini L., Laurenzi Tabasso M., "Il restauro della pietra", CEDAM, Padova 1986.
- Matteini M., Moles A., *La chimica del restauro*, Nardini Editore Firenze 2004.
- Deer, Howie e Zussman, *An introduction to the Rock Forming Minerals*, Longman 1966.
- Bosellini, Mutti, Ricci e Lucchi, *Rocce e successioni sedimentarie*, UTET.
- Le patine. Genesi, significato, conservazione* in "Atti del Workshop in Firenze 2004", Nardini Editore, Firenze 2005.
- Capedri S., Venturelli G., *Provenance determination of trachytic lavas, employed as a blocks in the Romanesque Cathedral of Modena (Northern Italy), using magnetic susceptibility, and petrographic and chemical parameters*, "Journal of Cultural Heritage 6", 2005, pp. 7-19.
- The axalate films in the conservation of works of art* in "Atti del II International Symposium di Milano 1996", EDITEAM 1996.
- La conservazione dei monumenti nel bacino del Mediterraneo* in "Atti del primo Simposio Internazionale di Bari 1989", Grafo edizioni, Brescia 1990.
- "Beni Culturali – Materiali lapidei naturali ed artificiali – Descrizione della forma di alterazione – Termini e definizioni" UNI1182, aprile 2006.
- "Beni Culturali – Materiali lapidei naturali ed artificiali – Allestimento di preparati biologici per l'osservazione al microscopio ottico" UNI10923, febbraio 2001.
- "Materiali Lapidari: campionamento", Raccomandazione NORMAL 3/80.
- "Distribuzione del volume dei pori in funzione del loro diametro", Raccomandazione NORMAL 4/80.
- "Esame delle caratteristiche morfologiche al microscopio elettronico a scansione (SEM)", Raccomandazione NORMAL 8/81.
- "Microflora autotrofa ed eterotrofa: Tecniche di indagine visiva", Raccomandazione NORMAL 19/85.
- Del Monte M., Sabbioni C., *Morphology and Mineralogy of Fly Ash from a Coal-Fueled Power Plant* in "Arch. Met. Geoph. Biocl., Ser." B 35, 93-104, 1984.
- P. Ausset, R. Lefèvre, J. Philippon, *Interactions entre les microspherules silicates atmospheriques et les surfaces de monuments en calcaire et bronze*, PACT, "Journ. Europ. Study Group Phys., Chem., Math. and Biol. Applied to Archeology", vol. 31, p. 8, 1990.

**ASPETTI GEOTECNICI
NELLA CONSERVAZIONE DELLA
TORRE GHIRLANDINA
GEOTECHNICAL ASPECTS
RELATED TO THE PRESERVATION
OF THE GHIRLANDINA TOWER**

Renato Lancellotta

- Cavani F., *Pendenza, stabilità e movimento delle torri. La Garisenda di Bologna e la Ghirlandina di Modena*, Bologna 1903.
- Cancelli A., *Aspetti geotecnici della subsidenza. Ambiente: Protezione e Risanamento* in "Atti secondo Corso di Aggiornamento per tecnici di igiene ambientale, Modena", Ed. Pitagora, Bologna 1986.
- Cancelli A. e Pellegrini M., *Problemi geologici e geotecnici connessi al territorio della città di Modena*, Atti secondo Congresso Nazionale ASS.I.R.C.CO., Ferrara 1984, pp. 53-64.
- Cremašchi M., Gasperi G., *L'alluvione alto medioevale di Mutina (Modena) in rapporto alle variazioni ambientali oloceniche* in "Mem. Soc. Geol. It.", 42, 1989, pp. 179-190.
- Desideri A., Viggiani C., *Some remarks on the stability of towers* in "Symposium On Developments in Geotechnical Engineering", Bangkok 1994.
- Fazzini P., Gasperi G., *Il sottosuolo della città di Modena*, in "Accad. Naz. Sci. Lett. Arti di Modena, Miscellanea Geologica", 15, 1996, pp. 41-54.
- Hambly E.C., *Soil buckling and the leaning instability of tall structures* in "The Structural Engineer", 63, 3, 1985, pp. 77-85.
- Heyman J., *Leaning towers* in "Meccanica", 27, 1992, pp. 153-159.
- Lancellotta R., *The stability of a rigid column with non linear restraint* in "Géotechnique", 33, 2, 1993, pp. 331-332.
- Lugli S., Marchetti Dori S., Fontana D., Panini F., *Composizione dei sedimenti sabbiosi nelle perforazioni lungo il tracciato ferroviario ad alta velocità: indicazioni preliminari sull'evoluzione sedimentaria della media pianura modenese*, in "Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences", 17, 2004, pp. 379-389.
- Montorsi W., *La Torre della Ghirlandina. Comacini e Campionesi a Modena*, Modena 1976.
- Nova R., Montrasio L., *Un'analisi di stabilità del campanile di Pisa* in "Rivista Italiana di Geotecnica", 2, 1995, pp. 83-93.
- Pellegrini M., Zavatti A., *Il sistema acquifero sotterraneo fra i fiumi Enza, Panaro e Po: alimentazione delle falde e scambi tra falde, correlazioni idrochimiche* in Quad. Ist. Ric. Sulle Acque, CNR, 51, 1980, pp. 205-217.
- Righi P.V., *Rilevamenti geotecnici nel sottosuolo del Palazzo Nazionale di Modena* in "Atti XIV Conv. Naz. Geotecnica", Firenze, 1980, 1, pp. 257-266.
- Russo P., *L'abbassamento del suolo nella zona di Modena (1950-1982)* in "Tecnica Sanitaria", XXIII, 1985, pp. 293-3.
- Sandonnini T., *Cronaca dei restauri del Duomo di Modena (1897-1925)*, a cura di O. Baracchi, Modena 1983.

**I DATI DEL MONITORAGGIO
PER LA COMPrensIONE DEI MOVIMENTI
DELLA TORRE GHIRLANDINA
THE ROLE OF MONITORING TOWER
MOVEMENTS**

Carlo Blasi, Alessandro Capra,
Eva Coisson, Renato Lancellotta

- Cancelli A. (1986). *Aspetti geotecnici della subsidenza. Ambiente: Protezione e Risanamento*. "Atti 2° Corso di Aggiornamento per tecnici di igiene ambientale". Modena. Ed. Pitagora, Bologna.
- Cancelli A. e Pellegrini M. (1984). *Problemi geologici e geotecnici connessi al territorio della città di Modena*. "Atti 2° Congr. Naz. ASS.I.R.C.CO., Ferrara", pp. 53-64.
- Pellegrini M., Zavatti A. (1980). *Il sistema acquifero sotterraneo fra i fiumi Enza, Panaro e Po: alimentazione delle falde e scambi tra falde, correlazioni idrochimiche*. "Quad. Ist. Ric. Sulle Acque", CNR, 51, pp. 205-217.
- Righi P.V. (1980). *Rilevamenti geotecnici nel sottosuolo del Palazzo Nazionale di Modena*. "Atti XIV Conv. Naz. Geotecnica", Firenze, 1, pp. 257-266.
- Russo P. (1985). *L'abbassamento del suolo nella zona di Modena (1950-1982)*. "Tecnica Sanitaria", XXIII, pp. 293-3.



STEFANO ALFIERI

Laureato in Ingegneria civile a Parma, dottorando di ricerca presso la facoltà di Architettura di Parma in Forme e strutture dell'architettura. L'ambito di ricerca è il Restauro architettonico e il consolidamento degli edifici storici. La sua tesi di dottorato tratta il problema del rapporto suolo-struttura per gli edifici storici con particolare attenzione al caso del Duomo e della Torre di Modena. La sua attività di ricerca riguarda principalmente l'analisi statica delle strutture storiche.

Stefano Alfieri received his undergraduate degree in Civil Engineering at the University of Parma and is currently a doctoral student in Architectural Form and Structure at the University of Parma. His research involves the restoration and stabilization of historical buildings, and his doctoral dissertation focuses on the soil-structural relationships of historical buildings with particular attention to Modena's Duomo and Ghirlandina Tower. He is principally involved in the static analysis of historical buildings.



MIRELLA BALDAN

Geologo, responsabile del reparto Beni culturali del laboratorio R&C Lab srl di Altavilla Vicentina e docente dei corsi di Petrografia e mineralogia e di Diagnostica applicata nel corso di diploma accademico di primo livello in Restauro presso l'Accademia di belle arti "G. B. Cignaroli" di Verona. Ha collaborato agli interventi di restauro del Palazzo della Gran Guardia a Padova, dell'Arena di Verona, del Tempio di Adriano a Roma e del Duomo di Modena.

Mirella Baldan is a geologist in charge of the Cultural Heritage Division of R&C Lab srl, in Altavilla Vicentina. She teaches Petrography and Mineralogy courses and Applied Diagnostics in the First-level Academic Certificate Course in Art Restoration at the "G.B. Cignaroli" Academy of Fine Arts, in Verona. She has worked in restoration operations at the Palazzo della Gran Guardia, in Padua, at the Arena of Verona, at the Temple of Hadrian, in Rome, and at the Duomo of Modena.



GUIDO BISCONTIN

Professore ordinario di Chimica del restauro presso l'Università Ca' Foscari di Venezia. Si occupa di problematiche relative alla diagnostica, alla definizione di prodotti e tecnologie per il restauro di superfici architettoniche. Ha prodotto oltre duecento lavori pubblicati su riviste italiane e straniere. Ha realizzato studi applicativi, coordinandone i piani diagnostici, su numerosi edifici tra i quali: il tempio di Amenophis IV (Luxor), il Teatro Municipal (Rio de Janeiro), la cinta muraria di Rodi, la grotta dell'Annunciazione (Nazareth), Palazzo Nicolaci (Noto), Palazzo della Ragione (Padova), la Libreria del Sansovino (Venezia), la cappella guariniana della Sacra Sindone (Torino).

Guido Biscontin is professor of Chemistry of Restoration at Ca' Foscari University, in Venice. His work deals with problems of diagnostics, definition of products and technologies for the restoration of architectural surfaces. He has authored over two hundred papers published in Italian and foreign periodicals. He has carried out applicative studies and coordinated the relative diagnostic plans on numerous buildings, including the Temple of Amenophis IV (Luxor), the Teatro Municipal (Rio de Janeiro), the Rodi city walls, the Grotto of the Annunciation (Nazareth), the Palazzo Nicolaci (Noto, Sicily), the Palazzo della Ragione (Padua), the Sansovino Library (Venice), the Guarini Chapel of the Shroud (Turin).



CARLO BLASI

Professore ordinario di Restauro architettonico presso la facoltà di Architettura dell'Università di Parma. Si è occupato, tra l'altro, della stabilità delle cupole di Santa Maria del Fiore a Firenze, di Santa Sofia a Istanbul e del Pantheon di Parigi. È consulente Unesco, ha seguito per la World Bank la ricostruzione del ponte di Mostar ed è stato capogruppo del progetto di restauro del Teatro Petruzzelli di Bari e di parte della Cittadella di Damasco. È autore di numerose pubblicazioni nel settore della conservazione delle strutture storiche.

Carlo Blasi is professor of Architectural Restoration at the University of Parma. Among other projects, he was involved in the stabilization of the cupolas of Santa Maria del Fiore in Florence, Santa Sofia in Istanbul, and the Pantheon in Paris. He is a Unesco consultant and, for the World Bank, monitored the reconstruction of the Mostar Bridge in Bosnia and Herzegovina; in addition, he was the team leader of the restoration of the Teatro Petruzzelli in Bari and of part of the Citadel of Damascus. He is the author of numerous publications in the area of the preservation of historical structures.



ROSSELLA CADIGNANI

Architetto, dirigente del Servizio edilizia storica del Comune di Modena. Ha diretto per anni il Servizio di pianificazione urbanistica occupandosi della redazione del piano regolatore e di progettazione del paesaggio. Dal 2004 si occupa del restauro degli edifici storico-monumentali di proprietà comunale. È coordinatrice del Comitato scientifico per il restauro della Ghirlandina.

Rossella Cadignani is an architect who manages the Registry of Historical Buildings for the City of Modena. For many years, she has been the director of the Urban Planning Division, where her work includes landscape planning and the preparation of the city's master plan. Since 2004, she has been involved in the restoration of Modena's historical buildings and monuments. She is the coordinator of the Scientific Committee for the restoration of the Ghirlandina Tower.



ALESSANDRO CAPRA

Nato a Bologna nel 1961, si è laureato in Ingegneria mineraria. Professore ordinario di Topografia e cartografia presso la facoltà di Ingegneria di Modena dell'Università di Modena e Reggio Emilia. Coordinatore del gruppo delle Geosciences dello SCAR (Scientific Committee on Antarctic Research). Presidente del Consiglio scientifico della SIFET (Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia). Editor-in-chief della rivista "Applied Geomatics".

Alessandro Capra was born in Bologna in 1961 and holds an undergraduate degree in Mine Engineering. He is professor of Topography and Cartography in the Engineering Department of the University of Modena and Reggio Emilia and coordinator of the Geosciences group of the Scientific Committee on Antarctic Research. He is also president of the Scientific Counsel of the Italian Society for Photogrammetry and Topography (SIFET) and the editor-in-chief of the journal *Applied Geomatics*.



MATTEO CAROBBI

Nato a Parma nel 1982, si è laureato alla facoltà di Architettura nel 2007 con una tesi sul consolidamento del Pantheon di Parigi. Dal 2008 è dottorando in Forme e strutture dell'architettura presso l'Università degli Studi di Parma. Nel campo del restauro e del consolidamento degli edifici storici si occupa del rilievo, dell'analisi, della restituzione, della modellazione tridimensionale, del rendering e del calcolo agli elementi finiti delle strutture.

Matteo Carobbi was born in Parma in 1982 and received his undergraduate degree in the University of Parma's Department of Architecture in 2007, with an undergraduate thesis on the stabilization of the Pantheon in Paris. Since 2008, he has been a doctoral student in Architectural Form and Structure at the University of Parma. In the area of the restoration and reinforcement of historical buildings, his work involves surveying, analysis, restitution, three-dimensional modeling, rendering, and calculation of finite elements.



EVA COISSON

Nata a Firenze nel 1977, si è laureata con lode a Parma in Ingegneria civile nel 2001. Ha conseguito un dottorato di ricerca in Ingegneria strutturale con una tesi su storia e dissesti del Duomo di Parma. Dal 2006 è ricercatrice universitaria in Restauro architettonico e consolidamento degli edifici storici. La sua attività di ricerca riguarda principalmente la diagnostica e l'analisi statica delle strutture storiche, finalizzata alla loro conservazione.

Eva Coisson was born in Florence in 1977. In 2001, she was awarded an undergraduate degree with honors in Civil Engineering by the University of Parma. She received her PhD in Structural Engineering with a dissertation on the history and instability of Parma's Duomo. Since 2006 she has been a university research fellow with a focus on the restoration and consolidation of historical buildings. Her research principally involves the diagnosis and static analysis of historical buildings for purposes of preservation and conservation.



CRISTINA DIEGHI

Laureata in Conservazione dei beni culturali presso l'Università di Parma nel 2003, ha conseguito la specializzazione in Storia dell'arte presso l'Università di Bologna nel 2008. Collabora con il Museo Civico d'Arte di Modena dal 2004 e come ricercatrice per il Comitato scientifico per i restauri della Ghirlandina dal 2006. Attualmente lavora per i Musei di Palazzo dei Pio a Carpi (Modena).

Cristina Dieghi received her undergraduate degree in the Preservation of Cultural Heritage at the University of Parma in 2003 and, since 2008, has continued to pursue her university study with a specialization in Art History at the University of Bologna. Since 2004, she has worked with Modena's Museo Civico d'Arte and, since 2006, as a research assistant for the Ghirlandina Tower Scientific Committee. She is currently employed by the Palazzo dei Pio Museums (Carpi, Modena).



ANGELO DI TOMMASO

Ingegnere civile e professore ordinario di Scienza delle costruzioni in Italia dal 1976. È stato titolare di corsi presso le università di Napoli, Firenze e Bologna. Ha tenuto corsi per post-laurea nelle università di Rosario (Argentina), di Wroclaw (Polonia) e UPC di Barcellona. Attualmente insegna all'Università IUAV di Venezia ed è direttore scientifico del LabSCo, laboratorio di Scienza delle costruzioni. Autore di più di cento memorie scientifiche e tre volumi di Statica e scienza delle costruzioni.

Angelo Di Tommaso is a civil engineer and has been a professor of Construction Sciences in Italy since 1976. He has offered courses at the universities of Naples, Florence, and Bologna and has taught post-graduate students at the University of Rosario (Argentina), the University of Wroclaw (Poland), and UPC-Barcelona. He currently teaches at IUAV University (Venice) and is the scientific director of Construction Sciences Laboratory (LabSCo). He is the author of more than a hundred scientific publications as well as of three books dedicated to Statics and the Construction Sciences.

**GUIDO DRIUSSI**

Direttore delle attività di ricerca e sperimentazione della Società Arcadia Ricerche con particolare riguardo alla diagnostica, alla proposizione e messa a punto di nuovi prodotti, al supporto alla progettazione, alla redazione di piani di manutenzione nonché all'assistenza a operazioni di restauro. Ha scritto oltre cinquanta pubblicazioni e partecipato a convegni internazionali. Attualmente si sta occupando dello studio diagnostico di edifici pubblici a Tripoli e Benghazi (Libia), della redazione del Piano di manutenzione delle Gallerie dell'Accademia (Venezia), della sperimentazione, progettazione e assistenza agli

interventi di restauro della Loggia dei Viretti (abbazia Sacra San Michele, Torino).

Guido Driussi, Director of research and experimentation of Società Arcadia Ricerche, with particular regard to the diagnostics, proposal and implementation of new products, design support, the drawing up of maintenance plans, as well as assistance to restoration projects. He has published over fifty papers and taken part in international conferences. Guido Driussi is currently involved in the diagnostic study of public buildings in Tripoli and Benghazi (Libya), in the drafting of the Maintenance Plan of the Accademia Galleries (Venice), in the experimentation, design and support of the restoration measures at the Loggia dei Viretti (San Michele Abbey, Turin).

**FRANCESCO FOCACCI**

Ingegnere, dottore di ricerca in Materiali compositi per l'ingegneria civile (Università di Lecce, Bologna, Palermo). Ha partecipato, presso il Dipartimento di costruzione dell'architettura dello IUAV-Università IUAV di Venezia, a diversi progetti di ricerca sull'utilizzo dei materiali compositi per il rinforzo delle strutture di calcestruzzo, muratura e legno. Dal 2002 è docente a contratto del corso di Problemi strutturali dell'edilizia storica presso lo IUAV Università IUAV di Venezia.

Francesco Focacci is an engineer and holds a doctorate in Civil Engineering (Universities of Lecce, Bologna, and Palermo). As part of the Department of Architectural Engineering at IUAV University (Venice), he has participated in numerous research projects regarding the use of composite materials for the reinforcement of structures in concrete, bricks, and wood. Since 2002 he has taught a course in the Structural Problems of Historical Buildings at IUAV University.

**PAOLO GIANDEBIAGGI**

Dal 2006 è professore ordinario di disegno presso la facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Parma. Svolge la propria attività scientifica nei settori del Disegno e del rilievo dell'architettura e principalmente nelle metodologie applicative dell'analisi grafica per la comprensione dell'architettura, nonché sull'uso degli strumenti informatici per la rappresentazione e per il rilevamento architettonico.

Paolo Giandebbiaggi has been professor of design in the Department of Architecture at the University of Parma since 2006. His research involves Design and Architectural Surveying and, in particular, the application of graphic analysis to the understanding of architecture and the use of IT tools for architectural modeling and surveying.

**DONATO LABATE**

Laureato presso l'Università di Bologna, con una tesi in Topografia dell'Italia antica. Ha condotto numerose ricerche archeologiche soprattutto nel Modenese e in Puglia. Lavora presso la Soprintendenza per i beni archeologici dell'Emilia-Romagna. È autore di numerose pubblicazioni di carattere scientifico e divulgativo. I suoi campi d'interesse sono la topografia, la storia del popolamento antico, la produzione ceramica e l'archeologia dell'edilizia storica.

Donato Labate graduated at the University of Bologna with a thesis on the Topography of Ancient Italy. He has carried out widespread architectural research, particularly in the Modena area and in Puglia, and is currently employed at the Archaeological Heritage Bureau of Emilia-Romagna. He is the author of numerous published papers of scientific and popular nature. His fields of interest are topography, history of ancient settlements, ceramics production and archaeology of the historical building industry.

**RENATO LANCELOTTA**

È docente di Geotecnica al Politecnico di Torino. Ha svolto studi sulla caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione di importanti monumenti, quali la Torre di Pisa e la Cappella della Sindone di Torino, ed è attualmente membro del Comitato scientifico del Duomo di Modena. È autore di *Geotecnica* (Zanichelli, Bologna), *Geotechnical Engineering* (Taylor & Francis, Londra) e *Fondazioni* (McGraw-Hill, Milano).

Renato Lancellotta teaches Geotechnics at the Turin Polytechnic. He has carried out studies on the geotechnical characterization of the foundation subsoils of important monuments, such as the Leaning Tower of Pisa and the Chapel of the Shroud, in Turin, and is a member of the Scientific Committee of the Duomo of Modena. He is the author of *Geotecnica* (Zanichelli, Bologna), *Geotechnical Engineering* (Taylor & Francis, London), and *Fondazioni* (McGraw-Hill, Milan).

**GIUSEPPE LONGEGA**

Restauratore già dipendente del Ministero per i beni culturali, attualmente è docente a contratto presso l'Università di Ca' Foscari di Venezia. Ha eseguito interventi su oggetti archeologici e superfici dell'architettura. Collabora con istituzioni pubbliche e private italiane ed estere. Ha scritto varie pubblicazioni a carattere monografico su interventi di restauro.

Giuseppe Longega, restorer formerly employed by the Ministry of Cultural Heritage, is teaching under contract at the Ca' Foscari University, in Venice. He has carried out restoration work on archaeological products and architectural surfaces. Giuseppe Longega works with public and private institutions in Italy and elsewhere. He has written various published monographies on restoration projects.

**FABRIZIO LUGLI**

Architetto, dirigente del settore Lavori pubblici del Comune di Modena. Ha diretto per anni il Servizio edilizia sociale occupandosi di nuova edilizia scolastica ed edifici storici, progettando il restauro di parti del Palazzo comunale e del convento benedettino di San Pietro. È membro del Comitato scientifico della Ghirlandina e fa parte del gruppo tecnico di progettazione del restauro.

Fabrizio Lugli, Architect, is Public Works Director in the Municipality of Modena. For years he was in charge of the Public Building Service, dealing with new schools and historical buildings, and planning the restoration of parts of the Town Hall and the Benedictine Convent of San Pietro. He is a member of the Ghirlandina Scientific Committee and is in the technical group involved in planning the restoration work.

**STEFANO LUGLI**

Professore associato di Stratigrafia e sedimentologia presso il Dipartimento di Scienze della terra dell'Università di Modena e Reggio Emilia. È membro del Comitato scientifico per i restauri del Duomo di Modena. Si è occupato dello studio dei materiali da costruzione del Palazzo di Cnosso e di Festo a Creta, del Santuario di Lot in Giordania, del Palazzo Ducale di Sassuolo, del Castello di Vignola e della Rocca di Formigine (Modena). È co-curatore editoriale del volume *Evaporites through time and space* (Geological Society, Londra 2007).

Stefano Lugli is associate professor of Stratigraphy and Sedimentology in the Department of Earth Sciences at the University of Modena and Reggio Emilia. He is a member of the Scientific Committee for the restoration of Modena's Duomo. In addition, he has studied construction materials at the Knossos Palace and the Palace of Phaistos in Crete, the Sanctuary of Lot in Jordan, the Palazzo Ducale in Sassuolo (Modena), and the castle-fortresses of Vignola and of Formigine (both in the Province of Modena). He is the co-editor of *Evaporites Through Time and Space* (London: Geological Society, 2007).

**MAURO MAZZARI**

Laureato in chimica e tecnologie farmaceutiche all'Università di Padova, dopo uno stage alla Glaxo SmithKline, sezione antibatterici ed epidemiologia, dal 2005 lavora nel laboratorio Ricerca & Sviluppo del Colorificio San Marco spa.

Mauro Mazzari graduated in chemistry and pharmaceutical technologies at the University of Padua. After an formative period at the Glaxo SmithKline antibacterial and epidemiological division, he has been working since 2005 in the Research & Development Laboratory of Colorificio San Marco spa.

**ZENO MORABITO**

Laureato in chimica industriale con specializzazione in chimica del restauro, lavora dal 1998 presso Arcadia Ricerche srl dove cura la redazione e la realizzazione di progetti diagnostici nel campo dei beni culturali. Si è occupato tra i vari monumenti del progetto per la Cappella della Sacra Sindone a Torino, delle indagini conoscitive e diagnostiche per il Ponte dei Sospiri a Venezia, della realizzazione di prove non distruttive sulla Statua del Nettuno in Piazza della Signoria a Firenze. Si occupa anche di sviluppo e ottimizzazione di materiali e processi produttivi nel campo dell'edilizia civile, nonché di formazione professionale.

Zeno Morabito, with a university degree in industrial chemistry, with a specialization in restoration chemistry, has been working since 1998 at Arcadia Ricerche srl, where he is in charge of drawing up and implementing diagnostic plans in the cultural heritage field. He has been involved, among the various monuments, with the project of the Chapel of the Shroud of Turin, with the investigative and diagnostic surveys for the Venice Bridge of Sighs, with the implementation of non-destructive tests on the Statue of Neptune, in Piazza della Signoria, in Florence. Zeno Morabito's work also deals with the development and optimization of production materials and processes in the civil construction field, as well as with professional development.



CESARE ANDREA PAPAZZONI

Ricercatore confermato presso l'Università di Modena e Reggio Emilia per il SSD GEO/01 (paleontologia e paleoecologia). L'attività di ricerca è focalizzata principalmente sui macroforaminiferi del Paleogene e sulle ricostruzioni paleoecologiche; si occupa inoltre di vertebrati, in particolare dei rettili marini dell'Appennino settentrionale.

Cesare Andrea Papazzoni is a research fellow in paleontology and paleoecology at the University of Modena and Reggio Emilia. His research is primarily focused on Paleogene macroforaminifers and on the reconstruction of their paleoenvironments. His work also involves vertebrate paleontology – in specific, the marine reptiles of the northern Apennines.



FRANCESCA PICCININI

Dirige il Museo Civico d'Arte di Modena. Ha curato diverse iniziative espositive, tra le quali "Civitas Geminiana. La città e il suo patrono" (1997-98), "Nicolò dell'Abate. Storie dipinte nella pittura del Cinquecento tra Modena e Fontainebleau" (2005) e "Romanica. Arte e liturgia nelle terre di san Geminiano e Matilde di Canossa" (2006-2007). Dal 2005 coordina il Comitato di pilotaggio del Sito Unesco di Modena e in questa veste ha seguito la redazione del primo piano di gestione del Sito (2008-2009).

Francesca Piccinini is the director of Modena's Museo Civico d'Arte. He has curated a wide variety of exhibits, including *Civitas Geminiana: La Città e il suo Patrono* (1997-1998), *Nicolò dell'Abate: Storie Dipinte nella Pittura del Cinquecento tra Modena e Fontainebleau* (2005), and *Romanica: Arte e Liturgia nelle Terre di San Geminiano e Matilde di Canossa* (2006-2007). Since 2005, she has coordinated Modena's Unesco Site Steering Committee and, in that capacity, was responsible for the first site-management plan (2008-2009).



FEDERICA ROMARO

Architetto, dottoranda in Modellazione, conservazione e controllo dei materiali e delle strutture (Università di Trento). Dal 2006 svolge attività di ricerca presso il Dipartimento di costruzione dell'architettura dell'Università IUAV di Venezia.

Federica Romaro is an architect. She is currently a doctoral student in Modeling Preservation, and Structural/Materials Analysis (University of Trento).

Since 2006 she has been engaged in research in the Department of Architectural Engineering at IUAV University (Venice).



MAURO TONON

Laureato in Scienze e tecnologie dei materiali, lavora dal 2001 presso Arcadia Ricerche srl, nell'ambito della diagnostica e della sperimentazione scientifica nel campo dei beni culturali. Ha collaborato, tra gli altri, alla realizzazione di studi diagnostici presso la Basilica di S. Marco di Venezia, alla consulenza scientifica e formazione del personale per l'intervento di restauro del Tribunale Elettorale Superiore di Rio de Janeiro e tenuto lezioni presso l'Università di Padova.

Mauro Tonon graduated in materials sciences and technology, and has been working at Arcadia Ricerche srl since 2001 in diagnostics and scientific experimentation in the cultural heritage field. Among other activities, he has worked in diagnostic surveys at Saint Mark's Basilica, in Venice, in scientific consulting and training of personnel for the restoration of the Higher Electoral Court of Rio de Janeiro, and has held lessons at the University of Padua.



FRANCO VALLI

Dirigente tecnico al settore Lavori pubblici-Edilizia storica, dipendente del Comune di Modena dal 1972, ha collaborato ai progetti di restauro conservativo di importanti edifici storici di Modena quali il Teatro Comunale, il Teatro Storchi, il Palazzo dei Musei, il Palazzo Santa Margherita ed è attualmente impegnato nel progetto di restauro della Torre Ghirlandina.

Franco Valli is technical director for the Registry of Historical Buildings, Department of Public Works. He has worked for the City of Modena since 1972, and has been involved in the restoration and preservation of such important historical buildings as Modena's Teatro Comunale, Teatro Storchi, Palazzo dei Musei, and Palazzo Santa Margherita. Currently, his efforts are focused on the restoration of the Ghirlandina Tower.



ANGELA VETTESE

Dirige il corso di laurea specialistica in Arti visive presso l'Università IUAV di Venezia, dove insegna Teoria e critica dell'arte contemporanea. È presidente della Fondazione Bevilacqua La Masa di Venezia dal 2002 e ha diretto la Galleria Civica di Modena dal 2005. Ha pubblicato tra l'altro *Capire l'arte contemporanea* (Allemandi, Torino 1996/2006) e *Ma questo è un quadro?* (Carocci, Roma 2006). Collabora al supplemento domenicale de "Il Sole 24 Ore" dal 1986.

Angela Vettese directs the graduate program in Visual Arts at IUAV University (Venice), where she teaches Theory and Criticism of Contemporary Art. Since 2002, she has been president of the Bevilacqua La Masa Foundation (Venice) and has directed Modena's Galleria Civica since 2005. Her publications include *Capire l'arte contemporanea* (Turin: Allemandi, 1996/2006) and *Ma questo è un quadro?* (Rome: Carocci, 2006). Since 1986 she has written for the Sunday supplement of the newspaper *Il Sole 24 Ore*.



ANDREA ZERBI

Dal 2006 è ricercatore universitario presso la facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Parma. Si occupa prevalentemente di rilievo, rappresentazione e modellazione dell'architettura storico-monumentale, ed è autore di numerosi saggi sul tema del rilievo dell'architettura e della rappresentazione digitale della stessa, presentati in convegni nazionali e internazionali.

Andrea Zerbi has been a research fellow at the Department of Architecture at the University of Parma since 2006, where his principal activities involve the surveying, description, and modeling of historical-monumental architecture. He is the author of numerous essays on architectural surveying and digital representation, and he has presented his work at national and international conferences.



CARLOTTA MELLONI, GIULIA ROSSETTI, SIMONE TINTORI, RICCARDO ZANFROGNINI, KATIA ZOLLI

Laureati all'Università di Modena e Reggio Emilia in Scienze dei beni culturali, frequentano il corso di laurea specialistica in Scienze per il recupero e la conservazione del patrimonio archeologico.

Carlotta Melloni, Giulia Rossetti, Simone Tintori, Riccardo Zanfognini, Katia Zolli, all graduates in Cultural Heritage Sciences from the University of Modena and Reggio Emilia, are pursuing the specialistic degree course in the Sciences of Recovery and Preservation of the Archaeological Heritage.

LUCA CORRADINI, SILVIA GAVIOLI E SIMONA PEDRAZZI

Laureati all'Università di Modena e Reggio Emilia in Scienze dei beni culturali e in Scienze per il recupero e la conservazione del patrimonio archeologico. Collaborano con i docenti del Dipartimento di Scienze della terra per la caratterizzazione dei materiali lapidei della torre Ghirlandina e del Duomo di Modena.

Luca Corradini, Silvia Gavioli and Simona Pedrazzi are University of Modena and Reggio Emilia graduates in Cultural Heritage Sciences and in the Sciences of Recovery and Preservation of the Archaeological Heritage. They work with the teachers of the Department of Earth Sciences in the characterization of the stone materials of the Ghirlandina Tower and the Duomo of Modena.



Ringraziamenti Acknowledgments

**HANNO LAVORATO
CON NOI
OUR COLLABORATING
PARTNERS**

**Le ditte
Contracting Firms**

**Consorzio ponteggi s.r.l. Gramigna
di San Lazzaro di Savena, Bologna**
Installazione ponteggi
Installation of scaffolding

Gruppo Masserdotti s.p.a., Brescia
Fornitura e installazione
telo in rete microforata
Supply and installation
of microperforated tarp

**Sangalli s.r.l., Brusaporto (Bergamo) e 2B,
Bassi Cristiano & c. s.n.c., Esine (Brescia)**
Illuminazione telo Paladino
Lighting of the site-specific
Paladino art-installation
for the Ghirlandina Tower

**Prove Penetrometriche,
Castelnuovo (Modena)**
Sondaggi meccanici e carotaggi
Mechanical and core sampling

**Solgeo di Seriate, Bergamo e So.ge.tec.
s.r.l., Villa d'Adda (Bergamo)**
Indagini geognostiche e geofisiche
Geological and geophysical studies

Agisco s.r.l., Liscate, (Milano)
Monitoraggio torre Ghirlandina
Monitoring of the Ghirlandina Tower

**Società Arcadia Ricerche s.r.l.,
Marghera (Venezia)**
Diagnostica e campionamento
dell'apparato lapideo della torre a
supporto degli interventi di restauro
Diagnosis and sampling
of the Tower's stonework
in support of restoration efforts

**Ditta R&C Lab s.r.l.,
Altavilla Vicentina (Vicenza)**
Verifiche tecniche e prove di laboratorio
e analisi porosimetriche per valutare
la microstruttura e le sequenze
stratigrafiche da effettuarsi
sulla struttura della torre Ghirlandina
Technical inspections, laboratory
analysis, and testing and
poro-symmetric analysis for the
evaluation of the microstructural
and stratigraphic sequences to be
carried out on the Ghirlandina Tower

La Maddalena Restauri d'Arte s.n.c., Como
Lavori di restauro dei paramenti
esterni e opere interne
alla cuspide primo stralcio
Restoration of external walls
and work on the interior
of the first section spire

**Ditta Borghi Franco,
Castelfranco Emilia (Modena)**
Monitoraggio dello stato
di conservazione del paramento
esterno della torre Ghirlandina
Monitoring of the state of conservation
of the Ghirlandina Tower's
external stonework

Ditta Tracce s.r.l., Modena
Telo per rivestimento recinzione
e cartellonistica
Signage and tarpaulins
for exterior covering of fencing

**I professionisti/ Engineering,
Architectural, and Other Professionals**

Mimmo Paladino, artista
Rivestimento ponteggio con
una opera d'arte contemporanea
Creation of a site-specific
art-installation for
the Ghirlandina Tower

**Nicolino Fiorillo, architetto,
Pago Veiano (Benevento)**
Elaborazione tecnica alla progettazione
preliminare telo Paladino
Technical schematics for the
preliminary plan for the
site-specific Paladino art-installation

**Studio Cammata & Partners
Lighting Design srl, Benevento**
Elaborazione tecnica
illuminazione telo Paladino
Lighting design and lighting for
the site-specific Paladino
art-installation

**Sipral s.r.l., Modena, Marco Bruini
e Sandro Menozzi, ingegneri**
Coordinatori sicurezza
in progettazione ed esecuzione
Coordination of safety measures
during the planning and execution
of the restoration project

**Elisabetta Longega,
Salgareda (Treviso), esperta**
Test sperimentali sull'apparato
lapideo della Torre a supporto
degli interventi di restauro
Experimental surveys
of the Tower's stonework
in support of restoration efforts

**Scaff Studio di Vigenza (Padova),
Lucca Bergamin, ingegnere**
Progettista e direttore tecnico
del ponteggio metallico installato
Designer and technical
director for the installation
of metal scaffolding

**Convenzioni stipulate con le università
Universities**

Università di Modena e Reggio Emilia
Dipartimento di Scienza della terra
Department of Earth Sciences
Indagini sulle caratteristiche
chimico-fisiche e mineralogico
-petrografica dei materiali
di costruzione della torre Ghirlandina
Study of the chemical/physical
and mineralogical/petrographical
characteristics of materials
used in the construction
of the Ghirlandina Tower

Politecnico di Torino
Dipartimento di ingegneria
strutturale e geotecnica
Department of Structural
Engineering and Geotechnology
Ricerca sulle caratteristiche
geotecniche dei terreni di fondazione
della torre Ghirlandina
Study of the geotechnical
characteristics of the Ghirlandina
Tower's foundation soils

Università di Parma
Dipartimento di Ingegneria civile
Department of Civil Engineering
Rilievi architettonici e valutazione statica
e degrado della torre Ghirlandina
Architectural surveys and static
and degradation analysis
of the Ghirlandina Tower

Università di Modena e Reggio Emilia
Dipartimento di Ingegneria
meccanica e civile
Department of Mechanical
and Civil Engineering
Collaborazione nello studio
e nel rilievo e monitoraggio
dei movimenti verticali
del suolo della città di Modena
Assistance in the study, surveying,
and monitoring of vertical
movement in the soils underlying
the City of Modena

GLI AUTORI
RINGRAZIANO
THE AUTHORS WOULD
LIKE TO THANK

Il dottor Antonio Gelati, veterinario ufficiale dell'Azienda USL di Modena, Dipartimento Prevenzione, Area nord, per i suggerimenti che hanno consentito di minimizzare l'impatto del cantiere sui volatili che popolano la Torre.

Lisa Musto, geometra, del Settore Lavori Pubblici del Comune di Modena, per la competenza e la professionalità con cui ha condotto le numerose viste guidate sui ponteggi.

Maria Chiara Gallina e Cecilia Lazzeretti della Fondazione Cassa di Risparmio di Modena, per la disponibilità sempre dimostrata e il fattivo contributo allo svolgimento dell'iniziativa.

Daniele Venturelli geometra del Comune di Modena per il competente contributo all'elaborazione delle cartografie generali.

Dr. Antonio Gelati, official veterinarian of the Department of Preventive Medicine, Modena Health Authority (Northern District), for his advice regarding means to minimize the impact of restoration work on the birds that live in the Ghirlandina Tower.

Lisa Musto, a surveyor for the City of Modena's Public Works Department, for the competence and professionalism with which she conducted numerous guided tours to the Tower's scaffolding.

Maria Chiara Gallina and Cecilia Lazzeretti of the Fondazione Cassa di Risparmio di Modena for their unfailing helpfulness and for their active contributions to our project

Daniele Venturelli, surveyor for the City of Modena, for the competence assistance he provided in the creation of site maps.

ASPETTI GEOTECNICI
NELLA CONSERVAZIONE
DELLA TORRE

L'autore ringrazia il geometra **Roberto Maniscalco**, responsabile tecnico del Laboratorio geotecnico del Politecnico di Torino, per aver eseguito con tanta cura le figure riportate nel testo.

The author would like to thank **Roberto Maniscalco**, from Geotechnical Section of Turin Polytechnic University, who drew the figures of this chapter with remarkable skill and care.

I DATI DEL
MONITORAGGIO

Gli autori ringraziano la ditta **Agisco di Liscate** (Milano), che ha installato la strumentazione di controllo nel 2003 e ne ha curato la manutenzione, per tutta la collaborazione ricevuta. Ringraziano inoltre gli ingegneri **Marco Dubbini, Cristina Castagnetti, Eleonora Bertacchini, Emanuele Boni** per il rilievo laser scanner terrestre e per le attività di controllo dei movimenti verticali della torre, e l'ing. **Stefano Alfieri** per il suo contributo.

The authors would like to thank **Agisco of Liscate** (Milan) for their expert assistance in the installation of monitoring instruments in 2003 and for their subsequent maintenance. They also would like to thank **Marco Dubbini, Cristina Castagnetti, Eleonora Bertacchini, Emanuele Boni** for the terrestrial laser scanner surveying and monitoring of vertical movement in the tower, and **Stefano Alfieri** for his contribution.



LA TORRE GHIRLANDINA
UN PROGETTO PER LA CONSERVAZIONE
Allegato



Photo Bruno Marchetti

CRONISTORIA DEGLI INTERVENTI DI RESTAURO ALLA TORRE

Cristina Dieghi

1184 *La Torre della chiesa Maggiore sie dal pomo in fino a terra braccia cento sessantadue. RMC, c. 172.*

1217 Un fulmine colpisce una delle torrette angolari della Ghirlandina.
Cronache modenesi, p. 28.

1344-1345 Fulmini colpiscono la torre danneggiandola.
Cronache modenesi, pp. 241, 246.

1347 Un fulmine colpisce la torre provocando la morte di un torresano.
Cronache modenesi, p. 255.

1457 Il Comune concede ai torresani assi per costruire nuove lettiere e allestire un camino per riscaldarsi e cucinare. ASCMo, *Vacchetta 1457*, 12 ottobre.

1481 Nel mese di giugno un fulmine colpisce la ghirlanda piccola della torre causandone la caduta di una porzione consistente oltre che la distruzione di altre parti di pietra tra cui la cornice. Il fulmine entra nella torre, distrugge il soffitto della stanza delle campane e causa un incendio. Occorrono tre anni perché i danni vengano riparati.
Cronaca Jacopino, pp. 51-52; Cronaca Lionello, p. 16.

1484-1492 Durante questo periodo vengono condotti parecchi lavori di restauro sotto la direzione di Giacomo da Varignana e Giacomo da Ferrara, i quali, lavorando solo di fino, necessitano di altri operai che si occupino di sgrassare le pietre, molte delle quali vengono mandate a prendere dalla zona di Monte Gibbio e da Ferrara. Durante questo intervento vengono sistemate la cornice e le colonne di una delle ghirlande, una torricella e i parapetti di alcune finestre.
ACMo: *Atti della Fabbriceria 1484*, f. 77, cc. 108v., 109, 122v., 123, 146v., 161, 162; *Statuti 1488*, cc. 77v., 78v., 79, 80r.; Cod. O. I. 27, anno 1484.
Dondi, 1896, pp. 250-251; Torlaj, 1906, pp. 21-22; Vercellono, 1906, p. 45; Giovannini, 1988, p. 20.

1485, 28 giugno Ha termine il restauro alla torre per il quale erano stati costruiti ponteggi che arrivavano fino alla cima e al pomo dell'edificio. Molte persone salgono sulla torre montando in piedi o a cavallo del pomo e reggendosi alla croce. In questa occasione si prendono le misure della croce, del pomo e l'altezza della torre.
Cronaca Lionello, pp. 22-23.

1501, 5 giugno Un terremoto fortissimo colpisce la città, cadono parti di palazzi e case e *la tore del domo fu veduta dondolare che la pareva un arborio da neve.*
Cronaca Tommasino, XII, p. 52; Cronaca Lionello, p. 41.

1505, 3 gennaio La Fabbriceria chiede al Comune il denaro occorso per la riparazione della torre *conquassata ex terremoto.* ASCMo, *Vacchetta 1505-1507*, 3 gennaio.

1502-1504; 1509-1510; 1524-1530 In questi anni si apportano riparazioni alla torre per le conseguenze del terremoto del 1501 che aveva colpito in particolar modo le *rose* delle finestre e gli ornati della parte ottagonale. Secondo Sandonnini proprio in questa fase di lavoro viene tolto il parapetto che corre tra le torrette angolari sui quattro lati della torre quadrata oltre che le torricelle minori che ornavano la ghirlanda di mezzo e quella superiore. Dondi riporta la notizia del rafforzamento delle finestre con catene di ferro.
Sandonnini, 1892, p. XXIV; Dondi, 1896, pp. 251-252; Vercellono, 1906, p. 45.

1542, 24 aprile La torre ha gravissimi problemi tanto che si teme il crollo dell'edificio. Le riparazioni appaiono ancora più urgenti per la caduta di pezzi di pietra di un'edicoletta che si sono staccati e sono crollati ferendo a morte la moglie del torresano e altre persone.
Cronaca Tommasino, VII, pp. 240-241.

1547, 23 settembre

La torre rischia il crollo dalla parte quadrata in su. *Cronaca Tommasino, IX, p. 163.*

17 ottobre Il Comune decide di soccorrere la Fabbriceria nelle spese di manutenzione e partecipa alla riparazione degli interni lignei della torre, scala a chiocciola e tassello del piano delle campane, marciti a causa delle infiltrazioni d'acqua. Non può invece partecipare alla spesa per le riparazioni delle parti esterne della torre, ovvero la sostituzione di pietre lavorate.
ASCMo, *Vacchetta 1547*, 19 settembre, 17 ottobre.

1548, 22 marzo Lancillotti sale sulla torre per ispezionare lo stato dell'edificio dalla parte quadrata in su e redige un preventivo per riparazioni a una finestra, al piano delle campane rivolto verso la piazza, al *fondo di lavezzo*, ovvero la volta del piano delle campane, e alla prima ghirlanda. La spesa ammonta a lire 2.525 comprensiva di materiale, manifattura e armature.
Cronaca Tommasino, IX, pp. 309-310; 326.

1549, 19 luglio Il Cancelliere della Comunità, consultando gli scritti del defunto notaio Giacomo Pignatti, trova notizia di un finanziamento concesso dal Comune tra 1460 e 1470 e destinato a un radicale restauro della torre dalla base alla cima.
ASCMo, *Vacchetta 1549*, 19 luglio.

1554 Paolo Castro, responsabile dei lavori pubblici del Comune a Modena, redige una perizia in cui elenca le riparazioni di cui la torre necessita. Partendo dalla parte quadrata della torre devono essere sistemate le finestre (bifore e trifore), il pavimento del piano delle campane e la scala a chiocciola dal quinto piano alla volta del piano delle campane. Nella parte superiore ottagonale bisogna chiudere tutte le crepe, aggiustare le decorazioni a rosette e le volte delle otto

finestre del prisma, mettere i parapetti alla scala di legno; inoltre occorre rimuovere l'erba cresciuta tra le pietre e chiudere tutte le fessure, togliendo e rimettendo le lastre che non sono assicurate alla parete. Nel paramento esterno molte pietre e colonne sono fatiscenti e devono essere sostituite. I bancali delle finestre devono essere rifatti. ASCMo, *Ex-Actis 1554*, gennaio, 25 luglio. *Cronaca Tommasino, XII, p. 133.* Baracchi, 1988, pp. 182-186.

1555, 21 ottobre Le spese per le riparazioni vengono equamente divise tra Canonici e Comune, anche se quest'ultimo non è legalmente obbligato a contribuire. ASCMo: *Vacchetta 1555*, 21 ottobre; *Vacchetta 1560*, novembre.

1556 Le riparazioni indicate da Paolo Castro risultano effettivamente eseguite.
ACMo, *Atti della Fabbriceria, f. 68, t. XIV, c. 16v.*

1562 Nonostante i lavori di riparazione siano stati compiuti continuano a verificarsi cadute di materiale lapideo dalla torre, motivo per cui vengono approvate spese per ulteriori riparazioni.
ASCMo, *Vacchetta 1562*, 3 luglio, 5 agosto.

1566 I lavori proseguono ed entro questa data si realizza la scala fino alla prima ghirlanda, inoltre molte lastre del rivestimento lapideo vengono assicurate con ferro e piombo. Dondi, 1896, p. 251.

1565 I torresani chiedono la riparazione di una loro stanza. ASCMo, *Vacchetta 1565*, 20, 23 luglio, 3, 6 agosto. Una saetta colpisce nella notte la parte superiore della torre, provocando danni su più lati dell'edificio tanto che si rendono necessarie altre riparazioni. ASCMo, *Vacchetta 1565*, 24 settembre.

1567 Il torresano Vendramino notifica nuovamente la necessità di riparazioni urgenti all'edificio.
ASCMo, *Vacchetta 1567*, 30 gennaio.

1569 La torre soffre per infiltrazioni d'acqua che col tempo potrebbero comportare grande rovina all'edificio.
ASCMo, *Vacchetta 1569*, 24 gennaio.

1571 Il Comune partecipa alle spese di riparazione della torre. ASCMo, *Vacchetta 1571*, 9 novembre.

1572 La torre minaccia continuamente il pericolo di rovina. Viene eletta una commissione che si deve occupare di discutere delle riparazioni alla torre.
ASCMo, *Vacchetta 1572*, 22 settembre, 22 ottobre.

1573 Un'ispezione alla torre fa ipotizzare una nuova serie di interventi con una spesa pari a 2.500 scudi d'oro. ASCMo, *Vacchetta 1573*, maggio.

1574 Il Massaro Giovan Battista Molza notifica al Consiglio la venuta di un perito da Ferrara per considerare modalità e spese della riparazione. ASCMo, *Vacchetta 1574*, 2 gennaio. Giovan Battista Molza presenta un *dissegno della torre del domo colla lista delle robbe et spesa*. ASCMo, *Vacchetta 1574*, 5 febbraio. In consiglio Comunale si stabilisce di eleggere alcune persone incaricate di seguire le riparazioni alla torre, tra queste Bartolomeo Calori e Giulio Fontanelli che mandano a comprare materiale per la torre a Verona. ASCMo: *Vacchetta 1574*, 21 maggio, 29 ottobre; *Ex-Actis*, 1574.

1575 Lavorano alla torre maestri ferraresi che reperiscono a Verona materiale lapideo, fatto arrivare a Modena per via fluviale passando per Ferrara. ASCMo: *Vacchetta 1575*; *Ex-Actis 1575*, 7 febbraio.

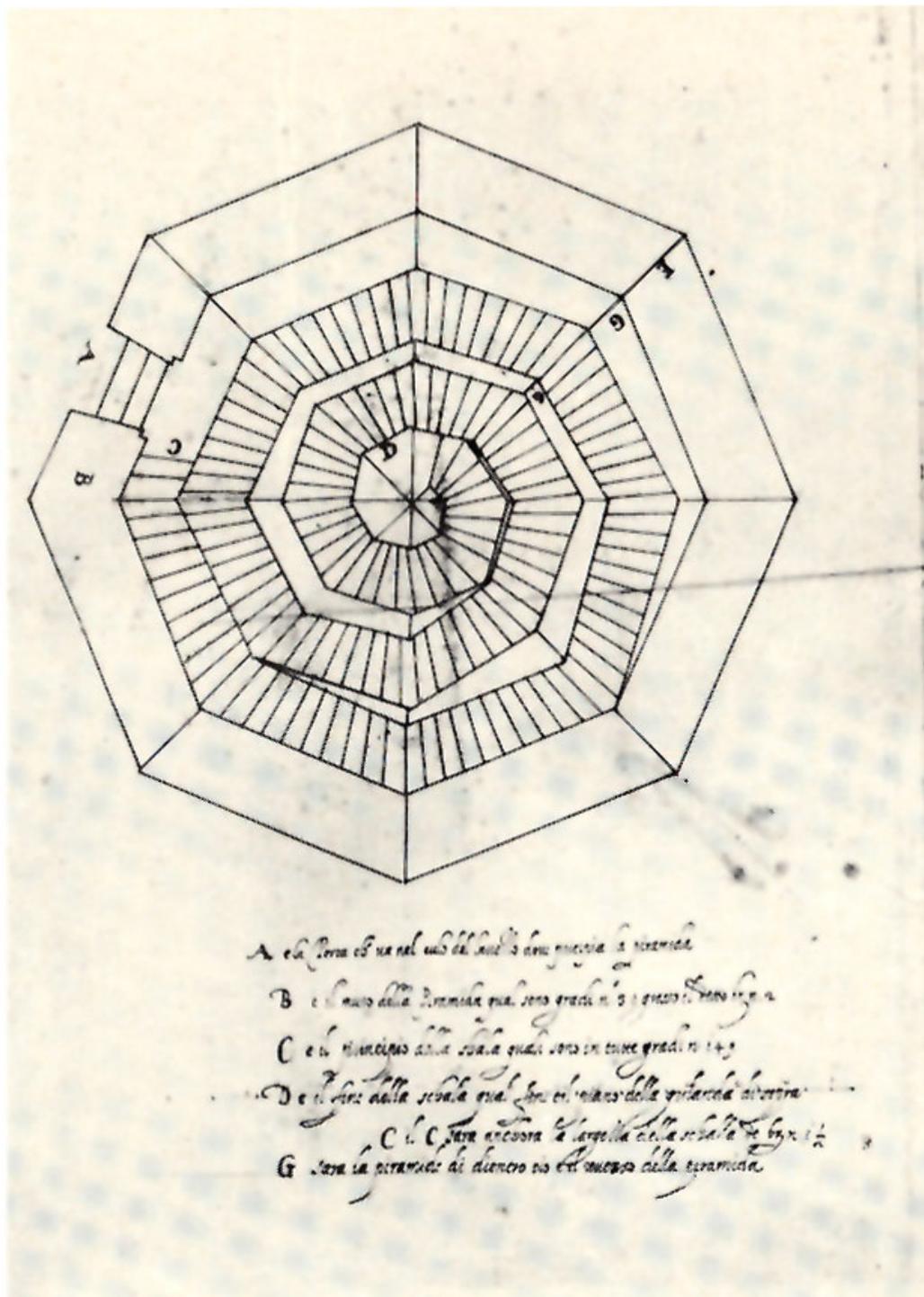
1577 Si ordina di non far salire più nessuno sulla torre. ASCMo, *Vacchetta 1577*, gennaio. Si susseguono fino al 1581 gli ordini di materiale, in particolare pietre e *sabbione*, che arriva in casse per via fluviale transitando per Ferrara. In particolare si richiedono pietre per il rivestimento murario di una parte del fusto quadrato dell'edificio. Del 14 ottobre del 1577 è il pagamento alla bottega del *maestro Tomaso Caribone scarpellino* che lavora per la sistemazione del paramento esterno. ASCMo: *Vacchetta 1577*, 19 aprile, 6 maggio, 14 ottobre; *Vacchetta 1578*; *Vacchetta 1579*; *Vacchetta 1581*.

Terminano i lavori su una delle facce della parte quadrata della torre, ma non si riesce a proseguire con gli altri lati per mancanza di materiale che deve essere riordinato. ASCMo: *Ex-Actis 1577*, 19 aprile; *Ex-Actis 1578*.

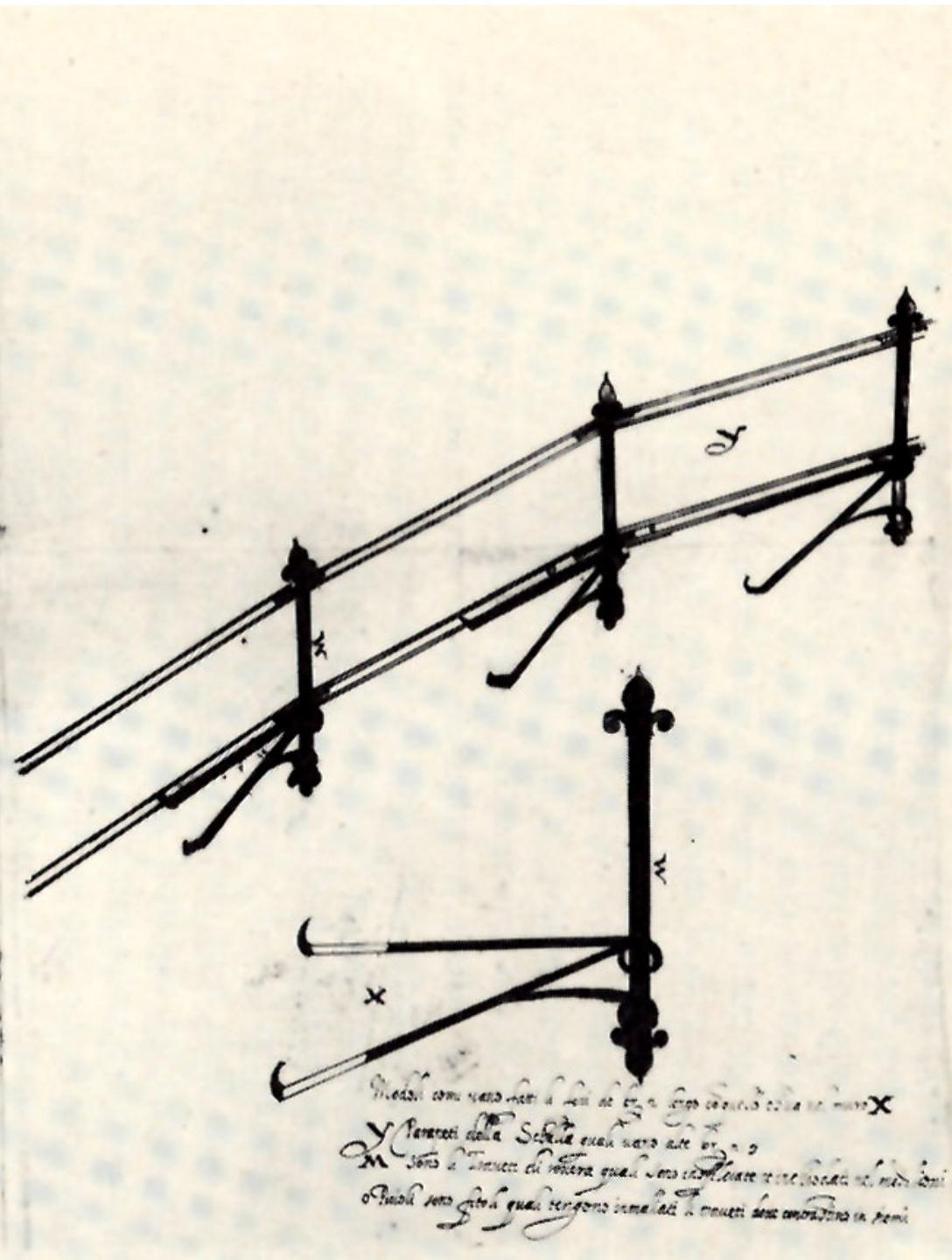
1580 A causa delle elevate spese il Comune si interroga su come continuare i restauri, se intervenire su tutto l'edificio o solamente su una parte; inoltre si propone di coprire la parte sommitale della torre con lastre di piombo che costano meno rispetto al materiale lapideo. ASCMo, *Vacchetta 1580*, febbraio, 22 novembre.

1581 Grave problema delle infiltrazioni: dalla cima penetra acqua che scende fino alla base della parte piramidale. ASCMo, *Ex-Actis 1581*, 10 febbraio.

1582 Le riparazioni alla torre proseguono fino alla parte piramidale. In consiglio si discute su quale materiale sia migliore per difendere la sommità dalle infiltrazioni d'acqua. Al posto del marmo si propone il rame più leggero, economico e resistente alle intemperie. ASCMo, *Vacchetta 1582*.



Raffaele Menia, *Pianta della parte ottagonoga della Ghirlandina con la scala e modello per il parapetto in ferro della scala*, Modena, Archivio Storico Comunale, *Ex-Actis* 1605.



1583 Per ragioni estetiche si decide infine di utilizzare il marmo per la copertura della parte sommitale. ASCMo, *Vacchetta* 1583, 26 luglio, 16 settembre.

1584 Continuano le richieste di materiale lapideo fatto pervenire da Verona. ASCMo, *Vacchetta* 1584, 2 gennaio. Bartolomeo Calori e Giulio Fontanelli presentano un disegno con il progetto di come, a loro parere, si dovesse intervenire nella parte piramidale della torre. ASCMo, *Vacchetta* 1584, 18 giugno. L'ornamentazione della cornice che viene rifatta deve essere il più possibile simile alla precedente. ASCMo, *Vacchetta* 1584, 2 luglio.

1587 Il pomo e la croce della torre vengono fatti pulire e restaurare prima di essere benedetti e ricollocati sulla guglia. Il 19 giugno avviene la benedizione durante la messa in Duomo ... tutti ascensero le scale della Torre sino in cima al quadro et dal quadri in su per le scale di legno per di dentro sino al primo ordine delle cadene, di poi uscirono fuori di essa torre et montorno le scale da pirola di legno fatte per di fuori della Torre, andando ... sino alla cima. ASCMo: *Vacchetta* 1587, 16 marzo; *Sala Ragioneria, Relazioni e referti*, V, cc. 70 e segg., 18-19 giugno 1587. Secondo vari studiosi questa lunga fase di restauro dovrebbe essere quella in cui viene eliminata la più vistosa decorazione gotica dalla parte piramidale, anche se nella documentazione esaminata non vi sono precise indicazioni a riguardo. La torre, alta 155 braccia, dopo l'innalzamento raggiunge le 169 braccia, ossia gli attuali 87,88 metri. *Annali Todesco*, 1979, p. 89. Rossi, 1736, p. 83; Sossaj, 1841, p. 136; Valdrighi, 1880, p. 247; Dondi, 1896, p. 251; Vercellono, 1906, p. 46.

1592 Il Consiglio discute sulla possibilità di costruire una scala esterna che permetta di accedere alla torre senza dover passare attraverso il duomo. Il progetto viene scartato perché considerato antiestetico e poco funzionale. ASCMo: *Vacchetta* 1592; *Vacchetta* 1599.

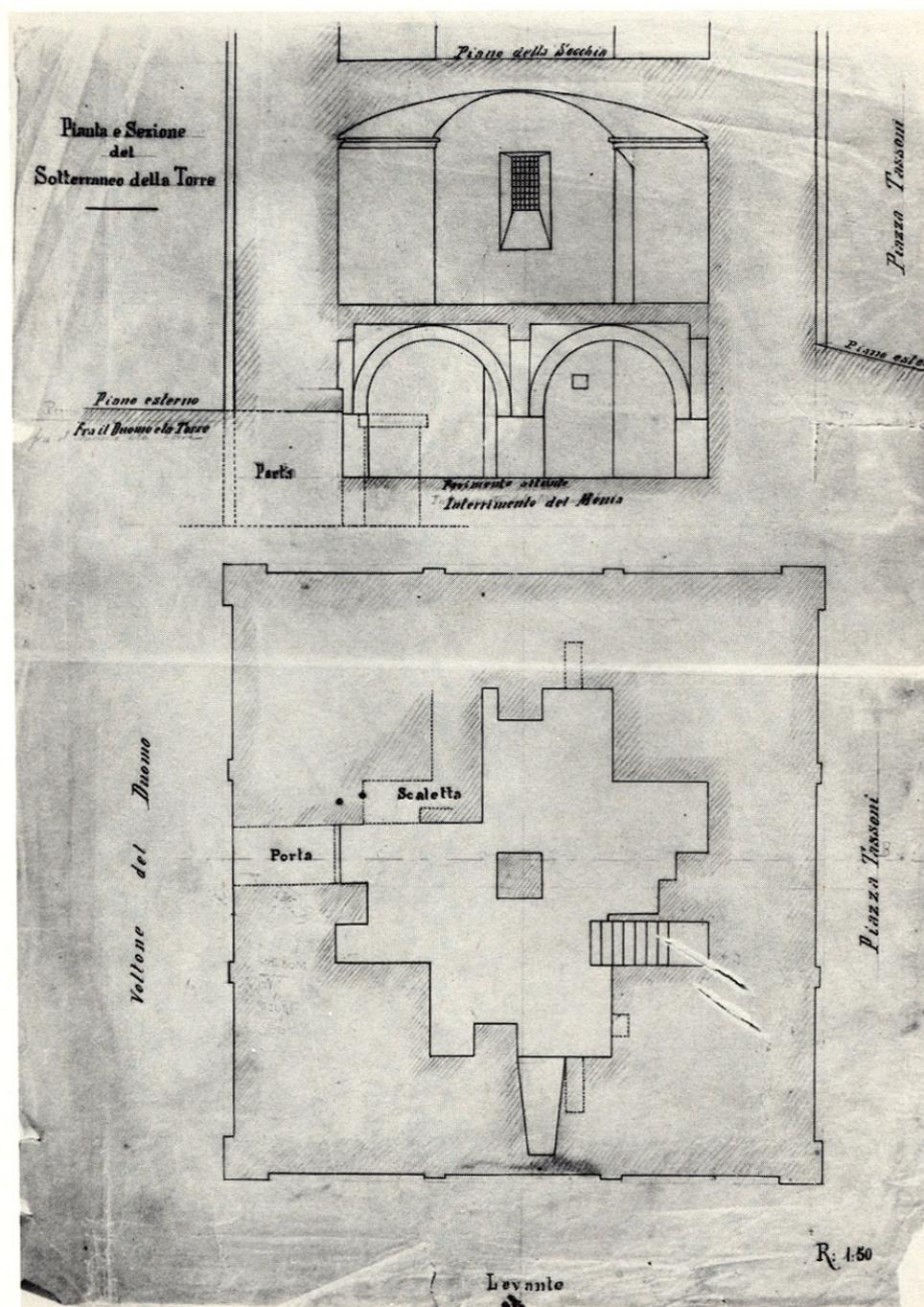
1600-1604 Si manifesta nuovamente il problema delle infiltrazioni d'acqua in particolar modo sul tetto della cella campanaria, nei punti in cui erano stati costruiti e in seguito demoliti i torreselli angolari. ASCMo, *Vacchette* 1600-1604.

1606, 20 gennaio L'architetto comunale Raffaele Rinaldi detto il Menia viene incaricato della costruzione della scala nella parte terminale della torre fino alla guglia. Per la realizzazione della scala nel 1605 era stato prodotto un disegno con la pianta della parte ottagonale della torre con la scala e con il modello per il parapetto in ferro. ASCMo: *Ex-Actis* 1605, s.d.; *Ex-Actis* 1606, 20 gennaio.

1607 Dati i problemi di stabilità dell'edificio si avvia uno scavo su uno dei lati della torre per esaminare le fondamenta dell'edificio. Il sotterraneo manifesta problemi d'infiltrazioni e ristagni d'acqua dovuti principalmente alla presenza di una falda acquifera sotto la base della torre. Per sanare la situazione l'ambiente viene riempito con una gettata di calcestruzzo. ASCMo, *Ex-Actis 1607*, 7 settembre. Serchia, 1984, p. 173

1609, 27 aprile Il Menia compila una relazione nella quale manifesta la sua grande preoccupazione per la stabilità della torre. Gli scavi effettuati negli anni precedenti avevano manifestato la presenza di uno smottamento alla base dell'edificio, che molto probabilmente era la causa dell'instabilità e dello sprofondamento della torre. Per stabilizzare la situazione è quindi necessario consolidare le fondamenta. Inoltre, per mettere al sicuro la piramide della torre, sono da ingrossare i contrafforti interni al piano delle campane ancorandoli al muro sottostante. È necessario rafforzare la base d'appoggio della parte piramidale che, con i ripetuti interventi subiti nel corso del tempo - ispessimenti, innalzamenti e aggiunte - ha aumentato le sollecitazioni sulla parte sottostante. Ulteriori lavori sono destinati a consolidare nuovamente il paramento esterno della parte ottagonale. Problematica è la questione del cornicione, in quanto non ha più il *declivio verso il suo sporto come aveva quando si fece che adesso per il carico della Piramide pende verso la suddetta Piramide e da qui nasce che gli archi dov'è fondata la detta Piramide se sono smarciti in maniera tale che ne rende spavento a che la considera ...* ha cioè assunto una pendenza inversa. Il Menia sostiene che l'operazione più utile sia quella di coprire tutta la parte con il piombo ripristinando la corretta pendenza. ASCMo, *Ex-Actis 1609*, 27 aprile. Serchia, 1984, p. 178.

Sezione e pianta del sotterraneo della Ghirlandina, Modena, Archivio Storico Comunale, Cartografia 7 bis, fasc. VII bis.



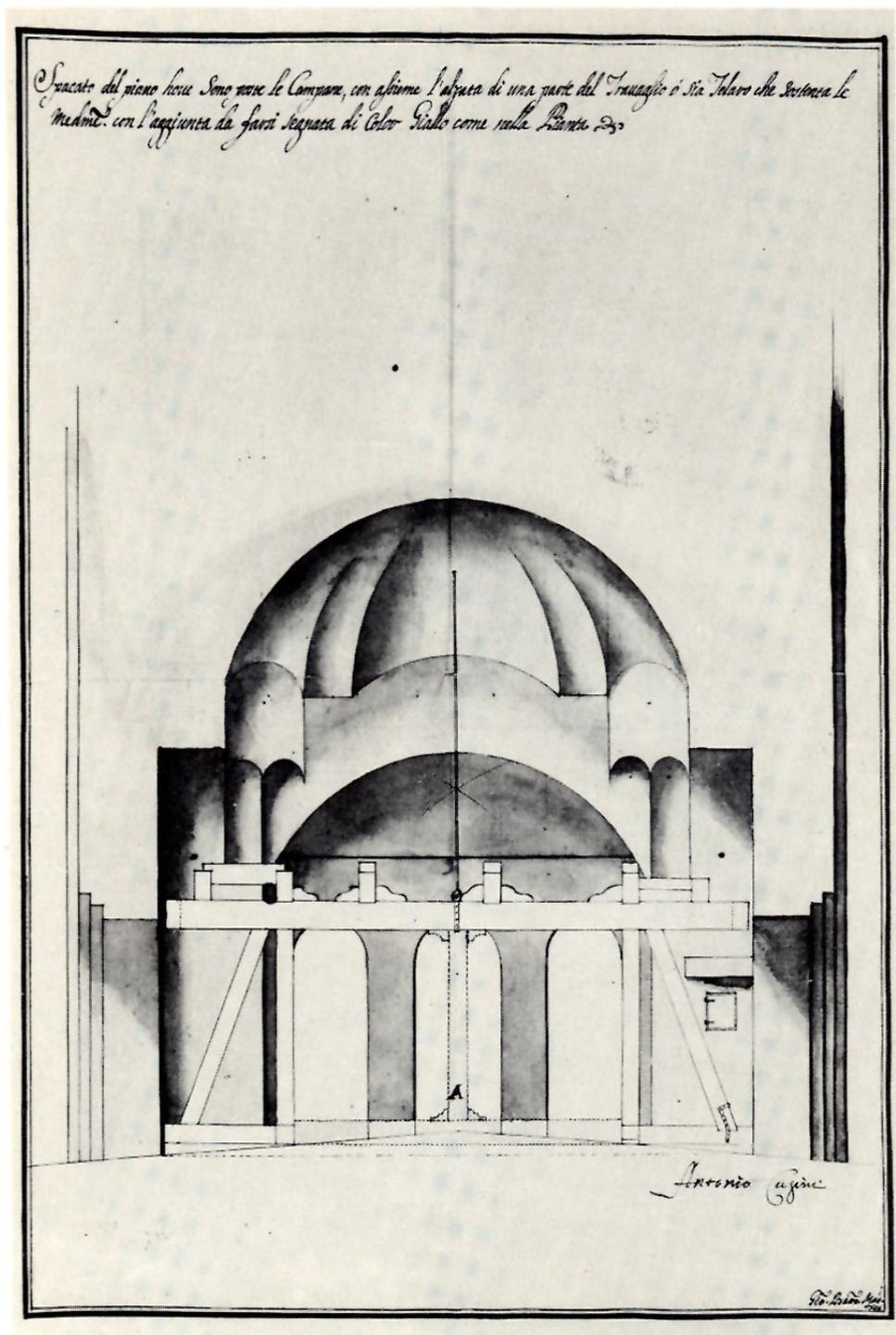
6 settembre Il Menia pone sopra il tetto della parte quadrata della torre un torricello di legno che deve servire come modello per ricostruire i torreselli in pietra. *Cronaca Spaccini*, 1999, p. 399.

1639 Il pomo e la croce vengono tolti per essere nuovamente dorati. Vercellono, 1906, p. 48.

1666-1667 L'architetto Marco Costa dirige nuovi interventi di restauro durante i quali si effettuano nuove impiombature e stuccature. Costa compila una relazione in cui spiega come al posto del piombo sia preferibile utilizzare stucco solido, costituito da calce, polvere di marmo, bitume di ferro e fior di pietra, il tutto impastato con olio di noce. ASCMo: *Vacchetta 1667*; *Ex-Actis 1667*, 16 giugno.

1733 Riprendono i lavori di restauro per la riparazione della sommità della torre, dall'ultima ghirlanda al pomo, in quanto l'acqua continua a infiltrarsi in molti punti danneggiando l'interno in mattoni e le chiavi orizzontali che servono a rinforzare la struttura. Si utilizza il piombo, che prima viene colato fuso nelle sconessioni dei *marmi* e poi posto in lamine per coprire le fessure. L'architetto Giovan Battista Massari, che si occupa della direzione dei lavori, propone di intervenire con un'incamicatura generale di piombo, successivamente di stuccare la zona tra le due ghirlande e, infine, di smaltare con calce l'interno della piramide. Con grande spesa si porta a compimento il lavoro che in realtà non è risolutivo dal momento che il piombo non fa lega col marmo. ASCMo: *Vacchetta 1745*, 15 novembre; *Vacchetta 1748*; *Vacchetta 1749*, 19 aprile. *Memorie Palmieri*, 1854, p. 24. Torlaj, 1906, p. 33.

Giovan Battista Massari, *Spaccato della Ghirlandina al piano delle campane*, Modena, Archivio Storico Comunale, *Ex-Actis 1751*, 2 gennaio.



1765 Vengono demolite le botteghe alla base della torre. In alcuni punti è necessario rimettere nuove pietre per coprire zone in cui il rivestimento lapideo è stato tolto per creare ripostigli abusivi. *Memorie Palmieri*, 1854, p. 21. Dondi, 1896, p. 251.

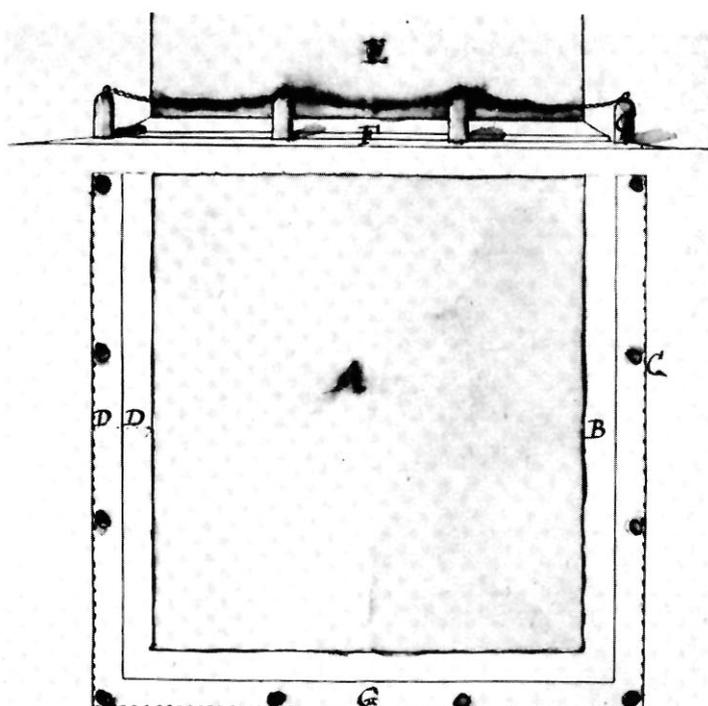
- Antonio Palmieri riporta che in questi stessi anni si decide di fare uno scavo intorno ai tre lati orientale, occidentale e settentrionale della torre per ispezionarne le fondamenta. Il lato occidentale risulta fortemente danneggiato, tanto che si decide di sostituire alcuni pezzi di marmo e, per assicurare il piede della torre nei tre lati scoperti, si realizza un muro (profondo e largo 2 braccia e mezzo) che viene appoggiato su un gradino di marmo posto a due braccia e mezzo di profondità dal piano di calpestio. Il gradino va perduto a causa di successivi innalzamenti; in alcuni disegni antichi è ancora visibile. *Memorie Palmieri*, 1854, pp. 21-22.

1771 Giovan Battista Malagoli realizza un'inferriata che deve circondare la base della torre per difenderla da atti vandalici. ASCMo: *Ex-Actis 1771*, 14 maggio; *Vacchetta 1771*, 3 giugno.

1781, 20 luglio Relazione del perito comunale Scarabelli Pedoca in seguito a un sopralluogo. La torre presenta nuovamente il problema delle infiltrazioni d'acqua nella parte piramidale fino alla base o *culo di lavezzo* (la volta del piano delle campane) e il deterioramento del rivestimento lapideo e delle impiombature a causa dell'erba e delle radici che vi crescono sopra. ASCMo, *Ex-Actis 1781*, 20 luglio.

1781-1789 Si registrano continui ordini e pagamenti per materiale, soprattutto piombo, e manodopera per i lavori di riparazione alla torre. ASCMo: *Ex-Actis 1781-1782*, *Computisteria recapiti per le nuove fabbriche 1781*, f. 231; *Recapiti della Generale Amministrazione 1781*, f. 10; *Mandati pagati dal Tesoriere 1781*; *Mandati pagati dal Tesoriere 1782*; *Recapiti della Generale Amministrazione 1782*; *Mandati pagati dal Tesoriere 1788-1789*. Torlaj, 1906, p. 46.

1791 La cancellata che circonda la base della torre viene rimossa e collocata a porta S. Agostino, mentre intorno all'edificio, al posto dell'inferriata, si realizza il progetto dell'architetto Giuseppe Soli che prevede di porre pali di marmo e catene oltre a un piano inclinato, costituito di lastroni di marmo, rivolto verso l'esterno per evitare accumulo di acqua alla base della torre. ASCMo: *Vacchetta 1791*; *Ex-Actis 1791*, 22, 27 ottobre. *Memorie Palmieri*, 1854, p. 22. aracchi, 1982, pp. 51-52.



Spiegazioni

- A. Pianta della Torre
- B. Scalino della medesima ristretto mezzo braccio per acquistar area da collocare le Colonnelle, acciò non obstringono l'ingresso alla Porta del Duomo.
- C. Colonnelle.
- D D. Larghezza dello Scalino sottoposto alla Ferriata
- E. Sezione dell'alzamento della Torre
- F. Piano dello Scalino ridotto con la sua inclinazione
- G. Piano delle Colonnelle da collocarsi attorno la Torre

Giuseppe Soli, Progetto per la difesa della base della torre, Modena, Archivio Storico Comunale, *Ex-Actis 1791*, ottobre.

1794 Giuseppe Soli effettua una ricognizione sulla torre in seguito alla quale scrive una relazione in cui sostiene che i restauri con stucco e piombo sono praticamente inutili, inoltre i tiranti di ferro che tengono insieme la piramide sono logori e se la struttura rimane stabile e in equilibrio, ciò si deve solamente alla sua forma conica. L'unica soluzione è una copertura integrale di rame.
ASCMo: *Ex-Actis 1794*, 22 agosto; *Recapiti della Generale Amministrazione 1796*, 28 gennaio.

1794-1796 Si registrano svariati pagamenti per lavori di muratura e di accomodamento del paramento esterno della torre. Il capomastro Antonio Palmieri viene pagato per riparare il paramento lapideo, con pietre tagliate appositamente, per la manutenzione delle nicchie nell'ottagono sopra le campane e per i lavori interni nell'ultima ghirlandina, ovvero la stuccatura delle fessure. Palmieri riferisce che per scendere nel fondo della torre bisogna utilizzare una stretta scaletta a chiocciola posta all'interno del pilastro nell'angolo di sud-ovest proprio in direzione della pendenza dell'edificio.
ASCMo: *Vacchetta 1794*; *Recapiti della Generale Amministrazione 1795*; *Recapiti della Generale Amministrazione 1796*. *Memorie Palmieri*, 1854, p. 23.

1800, 26 agosto In un documento redatto per concedere al torresano Giuseppe Malavasi un aumento di paga si trova riportato che *ascendendo la torre, abbiamo rilevato che occorre il fare la stabilitura al muro d'ingresso alla camera della Secchia e che trovisi rotta la serratura del primo uscio dopo il Piano delle Campane come pure troviamo necessario il rimettere la corda alla scala dell'ultima Ghirlandina. P.S. Sarà bene che la torre internamente ed all'esterno sia visitata per tutti quei ripari che si credessero necessari.* ASCMo, *Consiglio della Municipalità di Modena 1800*, 26 agosto.

1802 Si richiede a Giuseppe Soli un nuovo sopralluogo alla torre poiché si teme il crollo dell'edificio. L'architetto attesta che in realtà non sussiste pericolo di crollo ma allo stesso tempo l'edificio sta soffrendo moltissimo a causa delle infiltrazioni d'acqua. Ulteriori interventi per arginare i problemi della torre sono assolutamente necessari.
ASCMo, *Consiglio della Municipalità di Modena 1802*, 20 febbraio. Valdrighi, 1876, pp. 13-14; Valdrighi, 1880; p. 248; Dondi, 1896, p. 253.

1803, 29 agosto Il Comune cede la proprietà della torre allo Stato. ASCMo, *Prodotte degli Atti della Municipalità 1803*, 29 agosto; ASMo, *Archivio Napoleonico*, s. 56, b. 1325, fasc. 1657, 29 agosto 1803.
La proprietà viene recuperata dal Comune nel 1809

tramite una cessione gratuita da parte dello Stato che si impegna a partecipare alle spese di manutenzione dell'edificio.

ASCMo: *Prodotte degli Atti della Municipalità di Modena 1809*, 5, 9, 11 dicembre; *Prodotte degli Atti della Municipalità di Modena 1810*, 2 gennaio, 11 settembre.

1804, 20 luglio Sono urgenti nuovi interventi e lavori di restauro alla torre. ASCMo, *Registro Protocollo 1804*, III, n. 257, 24 gennaio; ASMo, *Archivio Napoleonico*, s. 56, b. 1325, fasc. 1657, 20 luglio 1804.

24 settembre Viene richiesta a Giuseppe Soli una nuova perizia che si deve limitare a prendere in considerazione solo i restauri assolutamente necessari.
ASCMo, *Prodotte degli Atti della Municipalità di Modena 1804*, 24 settembre. Giovannini, 1988, pp. 253-263.

1807 Non avendo ancora ricevuto dal Professor Soli la perizia per le riparazioni alla torre ormai assolutamente indispensabili, lo Stato richiede una nuova ispezione all'ingegnere Vincenzo Blosi.
La perizia di Blosi determina che nella piramide ottagonale dal pomo fino alla prima ghirlanda superiore vi sono sconessioni nelle lastre di *marmo*, fenditure nella balaustra e nello zoccolo e *marmi* mancanti negli angoli; nel tronco di piramide, all'interno, si deve sistemare il muro con calce e mattoni cotti e rifare parte della scala a chiocciola di legno mentre, all'esterno, si devono chiudere le fenditure sistemando le lastre di pietra con il piombo e aggiungendo le lastre mancanti. Nel prisma ottagonale bisogna accomodare la scala e devono essere messe le inferriate ai finestrone; esternamente devono essere rimesse le parti di *marmo* mancanti. Nella parte quadrata sottostante si deve sistemare l'abitazione dei torresani. Si omettono le riparazioni del piano delle campane perché, secondo Blosi, non sono a carico dello Stato. Infine tutto il rivestimento esterno deve essere ripulito dalle erbacce.
ASCMo, *Prodotte degli Atti della Municipalità di Modena 1807*, 13 febbraio, 10 novembre; ASMo, *Archivio Napoleonico*, s. 56, b. 1325, fasc. 1657, 26 maggio 1807.

1808 Le riparazioni alla torre sono sempre più urgenti.
ASCMo, *Prodotte degli Atti della Municipalità di Modena 1808*, 28 dicembre.

1809, gennaio Soli critica i metodi d'intervento proposti da Blosi e in particolar modo il suggerimento di utilizzare lastre di piombo, unico metodo indicato dall'ingegnere, in quanto nel corso del tempo tale materiale aveva causato all'edificio molti più danni che benefici. ASCMo, *Prodotte degli Atti della Municipalità di Modena 1809*, gennaio.

1810, 4 ottobre L'ingegnere comunale Giuseppe Manetti suggerisce un metodo di restauro alternativo all'uso di lastre di rame e inserti di piombo, che tolgono naturalezza alla torre e sono più nocivi che risolutivi. Egli suggerisce un particolare cemento che sarebbe, a suo dire, facile da impastare e poco costoso. Tale cemento, a rapida presa, si compone di tegole polverizzate e passate a calcinarsi in fornace, di arena grossa di fiume ben dilavata e di grasso di maiale. Facilmente impastati, questi elementi creano con il marmo una forte lega che chiude le fenditure e le sconessioni. ASCMo, *Prodotte degli Atti della Municipalità di Modena 1810*, 4 ottobre.

1811, 27 marzo Il Manetti viene incaricato di effettuare un sopralluogo sulla torre e di presentare una relazione in modo da dare inizio a nuovi lavori di restauro.
ASCMo, *Prodotte degli Atti della Municipalità di Modena 1811*, 27 marzo

1813, 17 marzo Il Manetti visita la torre da cima a fondo e dichiara di non aver trovato alterazioni nello stato di solidità: in tutta la parte ottagonale e prismatica non c'è stato alcun movimento e non vi sono distacchi del rivestimento. Tuttavia negli archi dei finestrone vi sono scrostature delle pietre causate dall'azione del gelo e per lo stesso motivo vi sono anche *marmi* sfogliati nei sopravvoluti, ma si tratta di alterazioni avvenute in passato, dato che il sopravvolto orientale è munito di una centinatura di ferro. Danni simili sono presenti anche nel piano sottostante quello delle campane con caduta di pezzi di un peduccio di una cornice. Problemi di questo tipo sono altresì ordinari in siffatti edifici a causa delle intemperie. Anche nella parte quadrata dell'edificio vi sono distacchi di pietre. Per quanto riguarda il quartierino del campanaro il soffitto, ovvero il pavimento del piano delle campane, è composto da un semplice lastricato di quadri di pietra cotta poco bene connessi assieme che poggiano sopra ad un semplice selciato adagiato ad un pavimento di assi sopra una travatura. Pertanto l'acqua che entra dalle finestre e la neve che non viene tolta, penetrano nelle fessure e nei muri, dal momento che non c'è possibilità di scolo. L'inconveniente è facilmente risolvibile apponendo delle stuoie ai finestrone a difesa dei selciati e delle armature. ASCMo, *Prodotte degli Atti della Municipalità di Modena 1813*, 17 marzo, fasc. *Torre Maggiore*.

1813, 20 marzo La base della torre deve essere barricata con inferriate poiché pezzi di marmo cadono dall'edificio. Viene richiesta al Manetti una nuova visita alla parte esterna della torre per la quale è necessario costruire un *gabbione* intorno all'edificio. ASCMo, *Prodotte degli Atti della Municipalità di Modena 1813*, 20, 30 marzo, 23 maggio.

1813, 20 luglio Perizia di Manetti. L'ingegnere descrive lo stato della torre e commenta i restauri effettuati in precedenza ripercorrendoli velocemente, a partire dal Cinquecento. Critica i metodi utilizzati e ne propone di nuovi, in particolare è fermamente convinto che i restauri ordinari di manutenzione eseguiti fino a quel momento avessero arrecato più danni che vantaggi. Nei sei ordini del fusto, da terra al piano delle campane, le riparazioni eseguite erano state poche ed erano consistite nella collocazione di porzioni di lastre di *marmo* che costituivano il rivestimento esteriore. La parte ottagonale, soprattutto la piramide tra le due ghirlande, era stata quella maggiormente investita dalle intemperie, ma era anche di costruzione più recente e aveva ricevuto più di frequente restauri. Massimi erano stati gli interventi nell'apice, per impedire le infiltrazioni dell'acqua, con l'otturazione delle giunture delle lastre di *marmo*. Il metodo era consistito nel colare piombo liquefatto che doveva riempire lo spazio tra la coperta esterna del *marmo* e l'anima interna in cotto, quindi le giunture erano state riempite con piombo in strisce posto a freddo e sopra erano state poste ulteriori strisce, sempre di piombo, a ridosso delle giunture bucate da giunti o *chiavarde* di rame. In realtà questo tipo di intervento aveva provocato il frantumarsi del *marmo* sottostante. La *smania di adoperare il piombo* aveva fatto sì che fosse stato messo un po' ovunque, per esempio anche al posto dei costoloni mancanti che dovevano fortificare gli angoli dell'ottagono piramidale e, liquefatto, era stato colato nelle giunture della parte piramidale tra le due corone, causando il distacco del rivestimento esteriore in *marmo* dalla struttura interna in cotto.

Con i cambi di temperatura il piombo provocava il distacco del *marmo* facendo nuovamente filtrare l'acqua. L'umidità portava alla caduta di intonaci e pietre e alla corrosione delle catene di ferro che legavano insieme gli angoli del fusto dell'ottagono. Queste parti in ferro erano già state *rappezzate* nel 1770, ma erano ugualmente molto rovinate soprattutto nel punto di uscita dai muri. Manetti è convinto che altri metodi di restauro debbano essere stati utilizzati in precedenza, altrimenti la torre non avrebbe potuto resistere per così tanto tempo. Quindi, dopo aver consultato gli Atti del Comune, Manetti compila un breve excursus: nel 1505 si erano verificati i primi interventi in seguito a un terremoto; nel 1524 i pavimenti delle corone e il cappello del cornicione del prisma erano stati coperti di piombo; nel 1575 era stata fatta la coperta di marmo (mancante o consumata) per la piramide ottagonale; nel 1651, 1658 e 1659 si erano verificati danni per fulmini; nel 1666 si parlò di mettere il piombo sui lastricati delle corone e di usare per tutto il resto dello stucco solido (in riferimento alla relazione dell'architetto Costa del 1667); nel 1690 lo stucco venne utilizzato per tutta la torre; nel 1717 venne rimesso nuovamente lo stucco, il piombo fu utilizzato in minima parte per i cornicioni; successivamente l'ingegnere Massari decise di utilizzare largamente il piombo come accadde negli interventi del 1745, 1750, 1751, 1761 e 1790.

Manetti condanna totalmente l'utilizzo del piombo e rileva che in tutti i più ragguardevoli edifici, come nel duomo di Milano, si utilizza uno stucco di fior di calce, vernice grossa e olio di noce, mentre il piombo serve solo per i pavimenti delle corone e per i cornicioni. Al limite, per risparmiare, nelle parti meno esposte si può utilizzare uno stucco diverso, meno pregiato ma di buona presa, *formato da cemento comune di calce e malta da fabbriche . . . al quale si aggiunga all'atto di porlo in opera ? di fiore di calce asciutto e 1/3 di polvere di tegoli macinati con mola verticale*.

Così anche nella torre si deve eliminare il piombo utilizzato fino ad allora e sostituirvi questo tipo di stucco. In particolare nella parte piramidale, la più sconnessa, bisogna togliere tutte le pietre, rifilarle nelle giunture, sistemare l'interno in cotto e riposizionarle. Le catene di ferro devono essere rimesse di nuovo, inserendole nei *marmi* più robusti che possono sostenerne il peso. Successivamente a questi, che sono gli interventi più importanti da effettuarsi, si deve ricostruire la scala a chiocciola che porta alla corona, intonacare le pareti interne, mettere le imposte a quattro finestre del fusto ottagonale, riparare le corone sostituendo i pezzi di *marmo* rotto e impiombando i pavimenti, chiudere tutte le crepe col cemento e sistemare anche le finestre del piano del campanaro.

La spesa per i lavori (20.420 lire circa) è da ripartirsi in due o tre anni per non gravare troppo sul Comune e per eseguire i lavori con precisione.

ASCMo, *Prodotte degli Atti della Municipalità di Modena 1813*, 20 luglio, fasc. *Torre Maggiore*, 21 settembre.

1814-1815 Varie note spese per il pagamento di operai attestano che i lavori di restauro vengono portati avanti. Manetti sostituisce le catene logore nel penultimo giro della torre, mentre applica pece e catrame alle altre per difenderle dall'umidità.

Utilizzando gli stessi ponteggi verifica lo stato dei muri e li fa restaurare, quindi fa controllare anche le catene di ferro che sostengono

la scala di legno a chiocciola in cui alcuni gradini vanno cambiati, dal momento che rischiano di crollare.

La parte piramidale fra le due corone è internamente molto degradata in quanto manca un adeguato ricambio di aria. I vapori e l'umidità si addensano facendo aumentare la temperatura, le finestre sottostanti non riescono a risolvere il problema che può essere evitato creando un piccolo abbaino - come si fa nelle cupole - che non recherebbe danno all'estetica e fornirebbe aria e luce. Con l'approvazione del Consiglio comunale vengono fatte costruire quattro aperture circolari. Per supplire alla mancanza di pozzolana (terra vulcanizzata), Manetti fa macinare rottami di *tegoli* ben cotti, ovvero vulcanizzati artificialmente, onde ottenere pozzolana in polvere.

ASCMo, *Prodotte degli Atti della Municipalità di Modena 1814*, 1, 4, 8, 14, 17 ottobre, 12, 19, 26 novembre, 3, 10, 17 dicembre.

Nel 1815 si procede con le riparazioni della scala a chiocciola di legno, in quanto devono essere rifatti parecchi gradini, le fodere e anche le parti in ferro. L'umidità che colpisce la zona per la mancanza di ventilazione ha pregiudicato il legname e i serramenti. ASCMo, *Prodotte degli Atti della Municipalità di Modena 1815*, 28 giugno, 1 luglio, 2 settembre.

1838 Un fulmine colpisce la torre causando nuovi danni. ASCMo, *Prodotte degli Atti della Municipalità di Modena 1838*, 8, 9 agosto, 1 settembre.

1842 Vengono ispezionate le facce esterne della parte quadrata della torre a causa di distacchi di pietre dalla veste esterna. La *cantonata*, ovvero l'angolo di nord-ovest, è quella che risulta maggiormente danneggiata per via di molte parti di *marmo* sconnesse e staccate; per questo si interviene sulla parete assicurando tutta la facciata nord con cemento e i pezzi di *marmo* più instabili vengono collegati con le *chiavarde*. Anche la facciata ovest necessiterebbe assolutamente di interventi, ma per mancanza di fondi vengono rimandati. Un rapporto di Manetti attesta l'assoluta urgenza dei lavori sia alla parte cilindrica ottagonale inferiore alla prima corona sia alla parte prismatica quadrata, interventi che da parecchi anni venivano rimandati nonostante fossero ormai assolutamente indispensabili. ASCMo, *Prodotte degli Atti della Municipalità di Modena 1842*, 22 febbraio, 3 novembre.

1847 Un terremoto riapre alcune fenditure vicino alla volta della cella campanaria. ASCMo, *Prodotte degli Atti della Municipalità di Modena 1847*, 11 gennaio.

1869 Per cercare nuovamente di eliminare le infiltrazioni viene rinnovata la coperta di piombo intorno al piede dell'asta che sostiene la croce. Si ripara il pomo a sfera e si stuccano le connessioni tra i *marmi* esterni, si prolunga di sei metri la coperta di piombo e si fissa con graffe presso gli spigoli e con aste di ferro poste orizzontalmente nelle facce della piramide. Anche queste riparazioni si mostrano inefficaci, dal momento che l'acqua continua a entrare nella palla fino a scorrere tra il rivestimento di *marmo* e la cappa di piombo colando tra le fessure e penetrando all'interno della guglia. Relazione sui lavori eseguiti nel 1869 contenuta nel resoconto dei lavori eseguiti nel 1890 in ASCMo, *Prodotte degli Atti della Municipalità 1890*, 30 dicembre.

1889-1898 L'urgenza di avviare nuovi lavori spinge il Comune a nominare una Commissione Tecnica d'indagine costituita dall'architetto Raffaele Faccioli, dal professor Cesare Razzaboni e dall'ingegnere Vincenzo Maestri. La Commissione elabora un progetto che viene approvato il 12 gennaio 1890 e che si incentra principalmente sul problema delle infiltrazioni d'acqua. ASCMo, *Relazione e perizia sui restauri della Torre Ghirlandina eseguiti nell'anno 1890*, 30 dicembre. Serchia, 1984, pp. 176-184.

I lavori, eseguiti tra 1890 e 1897, sono documentati da una relazione di Raffaele Faccioli del 1898. Il fine principale degli interventi era quello di risanare il rivestimento lapideo della torre.

I restauri, iniziati nel giugno del 1890, erano partiti dalla guglia e, con la prima somma stanziata (lire 11.274,08), si era costruita un'armatura in legno esterna, dalla seconda ghirlanda al vertice della torre, e un'armatura interna per tutta la parte piramidale e ottagonale. Smontando il pomo con la croce si vide che il cupolino di *marmo*, un pezzo unico cavo all'interno, sul quale era issata l'asta, aveva tre costole spezzate e frantumate dall'ingrossamento, per ossidazione, dei perni di congiunzione con la parte sottostante, tanto che ne era compromessa la stabilità. Si rese quindi necessario porre nuovi tasselli di pietra, riparare il pomo aggiungendo un manicotto saldato nella parte inferiore alla cappa di piombo e coprire con lamiere, sempre di piombo, la parte esterna piramidale fino all'ultima ghirlanda. In questa occasione venne sistemato anche il parafulmine. Nella parte interna della piramide e del prisma ottagonale vennero fatti dei saggi e si rilevò che la muratura laterizia si componeva di due pareti concentricamente addossate l'una all'altra e costruite in epoche diverse: quella esterna primitiva, in mattoni *romani*, rivestita di *marmo* e originaria dell'epoca di costruzione, l'altra interna, di data posteriore, posta in modo da formare un guscio di mantenimento e consolidamento per il muro esterno.

[La documentazione relativa ai restauri avvenuti nei secoli non fa riferimento diretto a questo tipo di intervento, ovvero alla costruzione del guscio interno per il sostegno della parte esterna terminale, ma è assolutamente probabile che nei restauri cinquecenteschi e seicenteschi si sia provveduto a questo tipo di operazione, dal momento che tutta la parte superiore della torre, compreso l'ultimo tronco quadrato, è quella che maggiormente ha rischiato il crollo a causa della instabilità della struttura e per le sue precarie condizioni. Ciò potrebbe motivare anche l'eliminazione della più fragile ornamentazione gotica che per prima avrebbe risentito dei danni del tempo, divenendo precaria, a rischio di rovina, e quindi pericolosa.]

La parte piramidale, insieme con la parte quadrata, che presentava internamente fenditure verticali, di cui le più accentuate si trovavano nella parete nord, vennero consolidate con catene e cerchiature di ferro e, infine, si risarcirono gli archi di sostegno e i parapetti della scala. Nel 1894 venne eretto un grande ponteggio esterno sulla parte quadrata fino all'ultima ghirlanda. Le ispezioni rivelarono che le condizioni di questa parte di torre erano molto peggiori del previsto, in quanto le infiltrazioni avevano provocato il distacco del rivestimento lapideo esterno dall'armatura interna creando grandi interstizi. Le grappe poste inizialmente per risolvere il problema si erano corrose e arrugginite.

Gli interventi risultavano essere molto più impegnativi di quanto si era preventivato inizialmente, dal momento che si trattava di *lavori di indole statica* e non solamente di

stuccature e rappezzati. Era necessario levare i conci lapidei distaccati dal nucleo laterizio interno, rimuovere i detriti laterizi che senza coesione scorrevano tra gli interstizi, ripristinare i vecchi conci ancora riutilizzabili e sostituire quelli troppo compromessi. Quindi bisognava rinnovare l'*imbotitura* con buona malta di cemento e ghiaia minuta mescolata con i detriti di *marmo* ricavati dalla lavorazione dei conci stessi.

Il paramento esterno del prisma quadrato venne pertanto pesantemente rinnovato, anche se fortunatamente è ancora possibile individuare chiaramente le parti sostituite, in particolare le più semplici mensole che hanno preso il posto delle originarie protomi umane e zoomorfe delle cornici marcapiano.

Oltre al rivestimento era assolutamente necessario intervenire sulla balaustra dell'ultima ghirlanda, che si era rivelata in pessime condizioni. Tutte le parti possibili dovevano essere ricollocate e contemporaneamente si poteva coprire il piano su cui poggiava la balaustra con lastre di piombo, per bloccare le infiltrazioni. I lavori, eseguiti in tal modo, si conclusero nel 1897, con una sosta di un anno nel 1896.

Faccioli elenca infine una serie di interventi alla torre, avvenuti nel passato, dichiarando come tutti questi lavori non avessero mai dato luogo a un intervento globale, ma soltanto a rappezzati del rivestimento lapideo che, moltiplicando le giunture, avevano fatto aumentare i punti d'infiltrazione. Faccioli, 1898, pp. 37-41.

1898-1899 Nel settembre del 1898 il Comune fa pulire tutta la parte quadrata dell'edificio dalle erbacce che crescevano abbondantemente nelle fenditure. Nello stesso anno, nel mese di novembre, si eseguono alcuni scavi nel fondo interno della torre e si scoprono, sul lato rivolto verso il Palazzo Comunale, un architrave in *marmo* di una feritoia, che doveva dare luce al sotterraneo, e l'architrave della porta originaria di accesso alla torre sulla parete verso il duomo. I muri laterali riportavano ancora i fori in cui si imperniava la porta a due battenti, che si aprivano verso l'interno ed erano contenuti dalla profondità dei muri. Sull'intonaco del muro, costruito per chiudere l'antica porta, viene trovata l'iscrizione *ADI 2 GIUGNO FORNI IL MENIA DI FARE IMPIRE LA TORE DA BASSE DAL 1607*.

Il riempimento, che si era effettivamente realizzato per salvare il sotterraneo dalle acque, misurava cm 90 in altezza sopra la base originaria dell'edificio. Rimaneva quindi uno spazio libero di m 1,35 che, sommati ai cm 90 del riempimento, davano un'altezza di m 2,25, altezza totale della porta, che in larghezza misurava m 1,25. Anticamente la torre aveva all'interno un unico vano, così, quando venne costruita la prima volta, ovvero il soffitto del sotterraneo, fu realizzata una scaletta a chiocciola che permetteva l'accesso al piano superiore, ovvero la stanza della Secchia. La scaletta era stata realizzata nello spazio ricavato tra il pilastro di sud-ovest e il muro a filo con la spalla della porta d'accesso; a filo dell'altra spalla della porta era, invece, il pilastro che doveva sostenere la volta.

Dato che per accedere alla torre si utilizzava in realtà il passaggio attraverso il duomo, la scala a chiocciola serviva solamente per andare appositamente nel sotterraneo. In seguito all'interramento del Menia la scaletta venne in parte otturata e successivamente venne definitivamente chiusa, realizzandone un'altra sul lato opposto. Il pilastro di sud-ovest era stato tagliato nella stanza sotto a quella della Secchia. Le ispezioni continuano fino alla fine del 1898 tentando di determinare lo strapiombo della Ghirlandina e, in particolare, la pendenza dell'angolo sud-ovest: verso ovest il filo a piombo segnava una inclinazione di m 1,24, verso sud di m 0,84. Si vuole anche determinare se la pendenza sia ormai stazionaria o se ci sia la possibilità di un peggioramento della situazione. Sandonni, 1983, pp. 10-12, 15.

1899-1901 Si rendono necessari nuovi interventi che si occupino del problema della stabilità dell'edificio. I lavori vengono affidati a Silvio Canevazzi, professore nella Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Bologna, per la parte statica, e a Francesco Cavani, professore di Geometria Pratica presso l'Università di Bologna, per la misurazione della pendenza. Serchia, 1984, p. 171. Si eseguono accertamenti per valutare la stabilità e l'inclinazione della torre e si avvia uno scavo ai piedi dell'edificio verso sud, sotto al voltone di congiunzione con il duomo, trovando l'antica porta d'ingresso, il cui architrave era ormai a livello del piano stradale. Tommaso Sandonni nella sua *Cronaca dei restauri* documenta tutte le fasi dei lavori al duomo e alla torre. I dati da lui rilevati indicano che la soglia della porta era a m 1,80 circa di profondità e poggiava sul *banchettone*, cioè il basamento che gira tutto intorno alla torre; la porta era larga m 1,20 e alta m 1,80. La base d'appoggio della torre sporgeva dal muro della torre di m 0,50 e aveva l'orlo arrotondato. Per prevenire ulteriori alterazioni statiche gli scavi vengono spostati nella parte settentrionale della torre, sul lato meno compromesso dal cedimento del terreno causato dalla presenza di materiali limosi, su cui la Ghirlandina poggiava il suo enorme peso, e dalla falda acquifera nel sottosuolo. Nello scavo si è resa manifesta la presenza prima di tutto dello zoccolo sporgente, poi di un muro in cotto che, scendendo in profondità per oltre tre metri, diventa irregolare e prende l'aspetto di vere e proprie fondamenta. La parte regolare prosegue appena inclinata e ha una risega dopo la quale la parte irregolare prosegue a scarpa. Continuando a scavare si scopre il selciato romano della via Emilia, alla profondità di m 4,90; a cm 60-70 sotto il piano romano si trova il limite delle fondamenta della torre, poggianti sopra un terreno limaccioso ormai induritosi per la compressione data dal peso dell'edificio. Lo scavo mette in luce l'assenza sotto le fondamenta della torre di una piattaforma e il fatto che il muro scendesse in profondità per soli m 6 e quasi perpendicolare al terreno. Il selciato romano risulta essere in pendenza in direzione della torre, indicando proprio lo sprofondamento dell'edificio. Raccolti tutti i dati lo scavo venne velocemente ricoperto. Sandonni, 1983, pp. 21-23; Serchia, 1984, pp. 171-175; Pezzini, 1984, p. 844.

1899, 5 novembre Il quotidiano locale "Il Panaro" riporta che, effettuato lo scavo, si voleva procedere a mettere a nudo lo zoccolo che correva tutto intorno alla torre per poterlo così studiare. Una volta compiuto questo intervento si aveva intenzione di scavare un fossato, analogo a quello realizzato intorno alla cripta del duomo, col doppio intento di mettere meglio in rilievo la sagoma della Ghirlandina e di risanarne la parte inferiore agevolando lo scolo delle acque piovane, che allora stagnando nel sottosuolo, arrecavano danno alla buona conservazione dell'edificio. "Il Panaro", 5 novembre 1899.

1900, 13 gennaio Sulle pagine dello stesso quotidiano si ha notizia dell'apertura di via Lanfranco accanto al duomo avvenuta il 13 gennaio del 1900. Aperta la via, l'ingegnere Giovanni Tosi, che si occupava dei lavori di restauro, avrebbe voluto eliminare anche le due volte tra torre e duomo, dal momento che le testate dei muri erano ormai staccate dalle pareti dei due edifici e, anzi, si erano create grandi fessure. Il progetto generale di intervento prevedeva in realtà il restauro degli archi, ma si decise di mettere in discussione la questione facendo preventivamente eseguire indagini specifiche per determinare peso e pendenza della torre, lo stato dei muri tra i due edifici e le condizioni del sottosuolo. Si concluse quindi che, se per la condizione della torre in effetti i muri laterali avevano una importanza relativa, per quanto riguardava il duomo la situazione era opposta e le volte assicuravano il muro della cattedrale, pertanto si stabilì di conservarle. "Il Panaro", 13 gennaio 1900. Sandonni, 1983, pp. 24-28; Serchia, 1984, pp. 126-134 e 145-152.

1901 Raffaele Faccioli ripercorre in una relazione tecnica i lavori effettuati alla torre. Dello scavo riporta i dati sulle fondamenta: il paramento lapideo prosegue sotto il piano stradale per m 1,36; quindi è presente una banchina *marmorea* sporgente dal muro di m 0,48, simile a quella esaminata vicino alla soglia; ancora più in basso si osserva una muratura laterizia abbastanza accurata che presenta due riseghe. La muratura laterizia prosegue poi inclinata a *scarpa*, ma non è più altrettanto curata, anzi, è formata da laterizi di diverse dimensioni e scende a una profondità di m 5,45 dal piano stradale. Al di sotto il terreno si presenta limoso e fortemente compresso dall'enorme peso, non consolidato da palificazione. La Commissione tecnica deduce quindi che il piano di fondazione si allarga pochissimo (solo cm 70) fuori dal paramento murario. Inoltre attorno alla torre, in corrispondenza della soglia dell'antica porta, gira una banchina *marmorea* a spigolo vivo con il suo piano inclinato verso sud-ovest, come le altre cornici superiori, a causa della pendenza di tutta la torre. Infine il terreno limaccioso e non consolidato si è avvallato tanto da far sprofondare l'intera torre. Secondo Canevazzi il costipamento del materiale limoso del sottosuolo, la mancanza di pali di sottofondazione e l'enorme peso dell'edificio, concentrato su un'esigua superficie d'appoggio, hanno causato certamente lo

sprofondamento di tutta la struttura, ma non essendo tale sprofondamento uniforme sul basamento, si è verificato anche lo sbandamento dall'asse verticale, in particolare della parete nord verso il duomo.

Dalle indagini con il filo a piombo si verificano pendenza e movimento dell'edificio: le oscillazioni costanti della Ghirlandina non escono dai limiti delle oscillazioni a cui sono soggette tutte le torri. Le cause di tali movimenti sono da attribuire alla temperatura, oltre che alla salita e discesa delle acque sottostanti.

Lo studio delle inclinazioni dimostra definitivamente che i vari piani della torre non pendono allo stesso modo: quello superiore pende meno rispetto agli inferiori, confermando così come sia avvenuta la stratificazione nelle fasi costruttive. Faccioli, 1901, pp. 48-63.

1903 Lo studio di Francesco Cavani analizza i fattori di pendenza, stabilità e movimento delle torri. Egli sostiene che l'elemento che influisce maggiormente sulla stabilità della Ghirlandina, oltre a vizi costruttivi e cattive condizioni di manutenzione, è l'inclinazione dalla sua verticale, ovvero la pendenza, che fa aumentare la pressione su un lato della torre e su una porzione del terreno che la sostiene e che in questo modo tende a cedere. Le torri italiane sono state costruite senza allargare sensibilmente la base di fondazione, producendo in tal modo fortissime pressioni sul terreno sottostante, che, non essendo uniforme, sui vari lati, comporta la pendenza. Le fondamenta della Ghirlandina si allargano alla base di appena cm 70.

Studi e rilevamenti sulla pendenza della Ghirlandina erano già stati fatti nel 1841 dall'ingegnere Camillo Pagliani, che determinò la misura dell'inclinazione dello spigolo di un pilastro interno. Inoltre nel 1898 l'ingegnere Eugenio Marchi, dell'Ufficio Tecnico del Comune di Modena, determinò la pendenza nella parte interna mentre si stava restaurando la parte piramidale della torre. Cavani aveva effettuato ulteriori rilevamenti in collaborazione con l'ingegnere Alberto Fava che, nello specifico, si occupava di eseguire rilevamenti sul terreno. Vari sono i metodi tecnici per la rilevazione della pendenza, che viene misurata solo nella parte inferiore quadrata, con grande difficoltà esternamente per la presenza di edifici sottostanti. I risultati ottenuti dimostrano che l'inclinazione della torre è verso sud-ovest di 7° 5' e l'asse dell'edificio è inclinato rispetto alla verticale di 1° 14' 16" con pendenza del 2,16 per cento. I quattro spigoli hanno pendenze diverse a causa della rastremazione nella parte quadrata e, di questi quattro, lo spigolo più pendente è quello di nord-est (2,88 per cento), quindi seguono quello di sud-est, quello di nord-ovest e infine quello di sud-ovest.

La rastremazione della parte quadrata fa sì che anche le fronti abbiano pendenze diverse, inoltre l'inclinazione non è uniforme in altezza. I lati di ogni sezione hanno inclinazioni differenti e la massima rotazione si ha nel lato nord sotto il cornicione. La maggiore inclinazione è tra la seconda e la terza cornice, la minore è nel tronco

quadrato più alto, il piano delle campane. Tali variazioni sono dovute alle diverse epoche in cui sono state costruite le varie parti e alle sistemazioni avvenute nel tempo al rivestimento esterno. L'ultimo tronco quadrato pende meno perché è stato aggiunto successivamente.

La torre ha esercitato ed esercita tuttora una pressione molto forte sul terreno, che è acquitrinoso e molto comprimibile. Il limitato ingrossamento della base non ha aiutato nella stabilità e così il cedimento è stato generale e tutto l'edificio è sprofondato compattando il terreno di fondazione. Nelle successive aggiunte la pendenza è stata corretta e prima dell'aggiunta dell'ultimo piano quadrato la torre ha avuto modo di assestarsi comprimendo fino al limite possibile il terreno sottostante. Infatti nell'ultima parte quadrata e anche nelle parti ottagonali e prismatiche l'inclinazione è minore e, soprattutto, diversa, perciò si può sostenere che sia intercorso molto tempo tra la costruzione della ultima parte quadrata e le parti ottagonali.

Le torri subiscono movimenti periodici dovuti al concatenarsi di svariate cause, tra cui i passaggi da sole a ombra, che provocano sbalzi di temperatura, e quindi dilatazioni e restringimenti, l'azione del vento, il movimento del terreno, innalzamenti e abbassamenti dovuti alle falde acquifere del sottosuolo, al suono delle campane e ai terremoti. Cavani verifica che le oscillazioni massime della Ghirlandina sono diurne e nella parte mediana, in particolare dovute alle acque sottostanti, ma le misurazioni non escono dai limiti a cui sono soggette tutte le torri.

Cavani, 1903; Borghi, 1854, nota c pp. 155-158.

In occasione dello scavo alla base della torre Vincenzo Maestri analizza il materiale utilizzato per la struttura dell'edificio. Per la costruzione della struttura interna erano stati utilizzati mattoni cementati insieme con malta di calce e sabbia. L'analisi delle parti scoperte della muratura mostrano come siano stati utilizzati in piccola parte mattoni manubriati di provenienza romana. Esternamente la torre venne rivestita di *marmi* di cui si riconosce l'origine romana. Nel primo quarto del XIX secolo alcuni di questi *marmi* vennero sostituiti con altri che presentavano epigrafi e rilievi di epoca romana presi dal Museo Lapidario, che allora si stava formando. Le volte dei piani e dei rampanti delle scale con gradini in marmo sono in mattoni. I muri interni sono stati negli ultimi restauri poco opportunamente stuccati nelle fessure. ASCMo, Maestri, XX sec., schede n. 338-412. Giordani, Paolozzi Strozzi, 2005; Gavioli, Tesi di Laurea, a.a. 2005-2006.

1968-1974 Il Comune elabora un progetto di restauro dettato dall'urgenza di attuare un intervento globale di carattere puramente conservativo: la torre, sottoposta agli agenti atmosferici e ai gas corrosivi degli scarichi e dei camini, è aggredita nel rivestimento esterno, in particolare nelle modanature e nelle sculture; il degrado provoca distacchi di grosse porzioni *marmoree* che costituiscono un grave pericolo per la pubblica incolumità.

Il 15 marzo del 1968 l'ingegnere capo del Servizio di Edilizia Pubblica del Comune di Modena redige una relazione tecnica in cui si evince che i *marmi* utilizzati nella torre sono di diverse qualità e, accostati, conferiscono alla costruzione una particolare colorazione. Progetto di restauro. I lavori preventivati consistono, per l'esterno, nella sistemazione degli elementi in pietra pericolanti ovvero rimozione, riparazione dei pezzi staccati, ricollocazione in opera e sostituzione di quelli particolarmente manomessi. Quindi i *marmi* devono essere ricollocati mediante grappe ed è sottolineata la necessità di utilizzare materiale della stessa natura di quello eventualmente sostituito. Queste operazioni riguardano i cornicioni, le finestre, le fasce marcapiano con i relativi archetti, i motivi ornamentali e le lesene. Occorrono, poi, rinforzi anche per le parti apparentemente sane. Devono essere collocate protezioni in piombo, in fogli o fuso, e zanche, ovvero barre metalliche inserite in parte nella struttura muraria, e occorre sigillare con cemento tutte le fessure. Infine si deve procedere con la pulizia, il diserbamento, la disinfestazione, i trattamenti idrorepellenti e la protezione elettrostatica. Si intende anche demolire la muratura di tamponamento nelle trifore del quinto piano. Per quanto riguarda l'interno si decide il rifacimento dell'intonaco e la tinteggiatura, il controllo di tutte le parti lignee, compresa la scala, e il trattamento completo delle finestre. Inoltre è necessario affrontare il problema delle infiltrazioni, soprattutto nella parte ottagonale. Il progetto di restauro viene inviato alla Soprintendenza di Bologna, che concede il nulla osta indicando la necessità di limitare all'indispensabile le sostituzioni o integrazioni di elementi. ASCMo, *LL PP 1975*, f. 57. Incaricato dall'Amministrazione Comunale il Gruppo Speleologico Emiliano effettua nei giorni 23 e 24 novembre del 1968 una ricognizione sulla parete esterna della torre con la finalità di verificare lo stato di conservazione e il fissaggio dei materiali di rivestimento e dell'apparato scultoreo, oltre che il processo di penetrazione dei vegetali. Si raccoglie la foto-documentazione del sopralluogo e si prelevano frammenti di pietre per effettuare analisi di laboratorio. I materiali identificati nella parete esterna della torre sono i seguenti:

- *Calcarea ammonitico di Verona*, detto *marmo di Verona*, nella varietà rossa, ma anche in altre varietà (Nembro, Mandorlato, Bianco, ...). Predomina nella parte quadrata in particolare nell'ultimo piano e presenta molte alterazioni dovute alla prolungata esposizione alle intemperie.
- *Calcarea tenero di Vicenza e Verona* ("Pietra gallina" nelle mensole scolpite, negli archetti, nel fregio sotto l'ultimo cornicione, "Pietra di Costozza", "Pietra di Nanto", "Pietra mattona" nel rivestimento dei piani bassi) è soggetto a corrosione con caduta di granelli minuti.
- *Calcarea compatto eocenico* (periodo del Paleogene) probabilmente dei Monti Lessini (non ancora accertata l'esatta provenienza) presente soprattutto nei piani intermedi, subisce poche alterazioni e sfaldature, ma si smussa negli angoli e nelle fenditure.

- *Pietra d'Istria*, calcare compatto a rudiste (mollusco fossile), diffuso soprattutto nella parte inferiore della torre e abbastanza resistente.
- *Trachite degli Euganei*, presente su tutti i lati, in tutti i piani, forma tutto il fregio sotto l'ultimo cornicione; tende a sfaldarsi.
- *Arenaria appenninica*, poche lastre presenti nel rivestimento, negli spigoli e nelle lesene, subisce erosione superficiale.
- *Marmo cristallino bianco* (probabilmente *marmo greco*), nella parte bassa dell'edificio.

È presente anche una piccola parte di laterizio, su cornicioni e davanzali.

Il processo della corrosione colpisce quasi tutto l'apparato scultoreo - fregi, sculture, altorilievi e capitelli - che è per la maggior parte di calcare tenero. Una certa protezione è data solo dalla patina nera continua, ma se questa cade il processo corrosivo opera velocemente. La corrosione, massima nei piani inferiori, perde d'intensità man mano che si procede dal basso verso l'alto, probabilmente anche a causa delle diverse epoche di realizzazione della decorazione. Alimenta il processo corrosivo il fenomeno della solfatazione, mentre la vegetazione esistente sulla torre, in particolare la parietaria, determina l'aumento delle sconnessioni.

1969 Il Comitato Scientifico Malavolti del C.A.I. effettua un'importante diserbamento, irrorando le facciate della parte quadrata e la zona sotto agli archetti della parte ottagonale con un diserbante ad azione chimica e ormonica. Bertolani e Rossi, 1971, pp. 93-101.

1971 Si richiede la consulenza dell'architetto Piero Roselli dell'Istituto di restauro dell'Università di Firenze, che in una relazione chiarisce quali tipi di materiale sarebbe più idoneo utilizzare sia per gli interventi statici che per quelli conservativi. Per il restauro statico, ovvero per fessure, piccole crepe, vuoti lasciati dall'estirpamento di radici, si può utilizzare il mastice di pietra impastato con polvere di roccia dello stesso tipo di quella da trattare; se viene ben realizzato infatti è resistente e invisibile. Per il restauro conservativo sarebbe idoneo il trattamento chimico a base di silicati, così infatti si potrebbe prolungare la vita delle sculture senza creare quella patina impermeabilizzante che si forma con i silicani. L'antidoto chimico deve poter penetrare ma lasciar respirare la pietra. L'inconveniente è dato dal fatto che tale materiale altera la durezza della pietra, con la formazione di una zona limite, a dilatazione diversa, lungo la quale, con il tempo, si evidenzia la frattura; per questo motivo si dovrebbero eseguire rigorose analisi di laboratorio per ogni tipo di pietra, trovando caso per caso il composto più opportuno.

1972, 13 ottobre Il Centro per la conservazione delle sculture all'aperto di Bologna conferma al Comune la necessità di constatare gli effetti delle sostanze sulle pietre prima di utilizzarle largamente. Nella documentazione si discute riguardo all'utilizzo di prodotti

Sinmast che l'Ufficio Tecnico del Comune vorrebbe usare in quanto ne ha già sperimentato l'impiego sulle pietre di rivestimento della torre. In realtà è assolutamente necessario fare delle prove sul resto del materiale prima di utilizzare largamente questo prodotto e bisogna inoltre valutarne gli effetti nel corso del tempo, per esempio l'alterazione dovuta alla luce, agli agenti atmosferici, all'alterazione delle resine. Le indagini proseguono a Roma all'Istituto Centrale del Restauro, anche se nel frattempo continuano i trattamenti in atto con i prodotti della Ditta Sinmast CP5007 (resina vinacrilica) e CP415 (resina epossidica).

25 novembre Consegna degli esiti delle analisi di laboratorio eseguite dalla Sezione di Petrografia applicata alla ceramica dell'Università di Modena.

I materiali analizzati sono il biancone, il *marmo di Verona* (calcare ammonitico), la pietra tenera di Vicenza, la pietra d'Istria e la trachite. Ogni campione è stato diviso in più parti in modo da essere trattato con diversi sistemi protettivi mentre alcune parti sono state esaminate al naturale. Le prove effettuate riguardano l'assorbimento dell'acqua, la resistenza al gelo e all'abrasione, l'attacco chimico e infine la solfatazione.

Per lo studio della resistenza al gelo dei materiali della torre è stata predisposta una metodologia aderente alle norme DIN 52104 modificate in rapporto alla presenza di resine sintetiche. I campioni impermeabilizzati presentano un assorbimento d'acqua sensibilmente minore rispetto a quelli naturali. La perdita di peso, sia per i campioni trattati che per quelli non trattati, è risultata notevolmente bassa. Complessivamente i campioni impermeabilizzati dimostrano quindi di reggere bene al gelo e aumentano leggermente la resistenza rispetto a quelli naturali. Vengono effettuate anche prove di invecchiamento accelerato su campioni di "Pietra Gallina". Un ulteriore problema da non sottovalutare è dato dagli escrementi dei piccioni che contengono acidi.

1972-1973 Si effettuano i lavori. Il tipo di intervento, le modalità di esecuzione e il materiale da utilizzare, sulla base del progetto e delle analisi, vengono stabiliti man mano che si procede.

Il Comune di Modena compila una relazione di verifica il 15 novembre del 1973 mettendo in evidenza le osservazioni seguite alla visita di controllo alla torre e le operazioni compiute:

- nelle facce della parte quadrata sono state rimosse le murature sotto le bifore, sono state effettuate scrostature del paramento esterno, il restauro nella parte alta e la collocazione di conci di *marmo* con la suggellatura con resine, la scarificazione delle fessure fra l'ultimo e il penultimo cornicione e la sostituzione di *marmi*.
- nella parte ottagonale è avvenuta la sostituzione dei *marmi* e i trattamenti a base di resine liquide, i rappezzati e le sostituzioni di lastre di piombo, la sistemazione dei finestrini sotto l'ultimo cornicione, la rimozione di lastre di rivestimento nei lati nord-ovest e sud-est.

- nel rivestimento delle pareti e dei cornicioni fra l'ultimo e il penultimo cornicione sono stati rimosse e sostituite le parti corrose. Un'analoga operazione è stata compiuta fra il terzo e il quarto cornicione con rimozione della terza cornice, tra il terzo e il secondo con rimozione e rifacimento di cornici e lesene al secondo e di cornici e lastre di rivestimento tra secondo e primo.

- stuccatura generale e verniciatura con resine liquide.

I lavori vengono documentati nel dettaglio, settimana per settimana, nei *Libretti delle Misure*, dove sono indicati anche i prodotti e materiali utilizzati nei vari interventi effettuati nei mesi da maggio a ottobre del 1972:

- 2 maggio: richiesta di cemento, sabbia, resina grigia, resina bianca, resina CP 5007, resina Sintar nera, resina scura, resina P 103, resina Sincor, resina CP 415, diluente mexil, resina 5/4;

- 22-28 maggio: sistemazione tavolate del ponteggio. Inizio lavori alla parte quadrata e alla base dell'ottagono con rimozione di muratura esistente sotto le bifore, di concii di marmo aventi la funzione di bancale e di lastre di rivestimento;

- 29 maggio-4 giugno: scrostatura dell'intonaco e pulizia del paramento esterno nella parte alta;

- 5-11 giugno: nella parte alta messa in opera di concii in marmo con funzione di bancale o di rivestimento e rifacimento di parte della muratura con successiva stuccatura; chiusura delle fessure con malta di cemento in profondità e di resine impastate con polvere di marmo di adeguato colore in superficie;

- 12-18 giugno: nella parte alta prove con materiale a base di resine. Trattamento superficiale con resine nella parte preventivamente restaurata;

- 19-25 giugno: rimozione dei grossi concii di marmo di rivestimento;

- 3-9 luglio: richiesta di cemento, polvere di marmo e resine. Trattamento superficiale con resine liquide;

- 10-16 luglio: lavori alla parte alta ottagonale;

- 17-22 luglio: lavori alla parte alta ottagonale;

- 24-30 luglio: lavori al penultimo cornicione della parte quadrata con scarnificazione di fessure e fori, trattamenti superficiali con resine liquide, sostituzione di lastre di marmo;

- 31 luglio-6 agosto: continuazione dei lavori della settimana precedente;

- 21-27 agosto: copertura tra parte ottagonale e parte quadrata con rappezzi e sostituzioni di lastre in piombo;

- 28 agosto-3 settembre: stuccature con resine varie;

- 23-29 ottobre: sostituzione e ripristino di lastre da rivestimento nelle facciate tra il quarto e il quinto cornicione. Successivamente stesso lavoro anche per i cornicioni tra quarto e terzo, tra terzo e secondo e tra secondo e primo.

ASCMo, *Libretti delle Misure*.

Il Comune dichiara infine che i lavori sono stati effettuati secondo le previsioni del progetto generale e che l'intervento ha lasciato l'edificio in buono stato di conservazione e manutenzione.

ASCMo, *LL PP 1975*, f. 57.

1973,21-22 aprile Sulla *Gazzetta di Modena* si commentano i restauri alla torre e l'utilizzo di resine epossidiche e copolimeri vinil-acrilici. Si riporta inoltre che i concii, oltre alle sostituzioni, alle reintegrazioni e alle aggiunte di parti nuove, hanno subito il trattamento di plastificazione con resine sintetiche.

"Gazzetta di Modena", 21 e 22 aprile 1973.

1974 Sempre sulla *Gazzetta* nel giorno 6 febbraio del 1974 si legge che è stato completato l'intervento sull'esterno. Particolare cura e attenzione è stata data agli interventi su bifore, trifore e cornicioni. I lavori, cominciati ormai da tre anni, stanno per concludersi e si vorrebbe allestire una mostra fotografica sulla storia e sulla funzione sociale della piazza.

"Gazzetta di Modena", 6 febbraio 1974.

La campagna fotografica viene affidata dal Comune di Modena allo Studio Orlandini; i negativi si conservano oggi presso le Raccolte Fotografiche Modenesi Giuseppe Panini.

1974,marzo Relazione tecnica finale dell'ingegnere Capo del Servizio di Edilizia Pubblica: si mette in luce come gli ultimi lavori abbiano interessato in particolar modo le facciate esterne ricche di cornici, fregi e sculture. La rimozione delle parti più deteriorate e il ricollocamento delle parti pericolanti ha interessato anche porzioni di fregi, delle cornici e delle sculture, per le quali si è proceduto con la sostituzione con concii schematici ottenuti da blocchi di pietra della stessa natura e provenienza. ASCMo, *LL PP 1975*, f. 57.

1988 Vengono eseguite opere di manutenzione per gli impianti elettrici della torre. Si affida a una ditta di restauri il consolidamento di tutte le parti lignee, compreso il solaio sopra la cella delle campane, che contemporaneamente vengono rinnovate.

ASCMo, *1992 PUT*, f. 67.

ABBREVIAZIONI

ACMo = Archivio Capitolare di Modena

ASCMo = Archivio Storico Comunale di Modena

ASMo = Archivio di Stato di Modena

FONTI E BIBLIOGRAFIA

FONTI INEDITE

Maestri, XX sec.

Maestri, Vincenzo, Schede manoscritte n. 338-412, realizzate per la stesura dell'opera mai pubblicata *L'architettura del Duomo di Modena e della Torre Ghirlandina*, aggiuntovi in appendice *il Tesoro dei Duomo*, ms. XX sec., Modena 1905-1907.

RMC = *Rerum Mutinensium Collectanea*

FONTI EDITE

Annali Todesco, 1979

Todesco, Andrea, *Annali della città di Modena (1501-1547)*, a cura di Bussi, Rolando e Montagnani, Roberto, in *Materiali per la storia di Modena medievale e moderna*, II, Panini, Modena 1979.

Cronaca Jacopino

Jacopino De' Bianchi detto De' Lancillotti, *Cronaca modenese (1496-1502)*, in *Monumenti di Storia Patria delle Province Modenesi, Serie delle cronache*, I, Fiaccadori, Parma 1861.

Cronaca Lionello

Bussi, Rolando, *La Cronaca di Modena (1465-1547) di Lionello mercante*, in *Tracce dei luoghi, tracce della storia. L'Editore che inseguiva la Bellezza. Scritti in onore di Franco Cosimo Panini*, Donzelli Editore, Roma 2008, pp. 5-76.

Cronache modenesi

Tassoni, Alessandro, Bazzano, Giovanni e Morano, Bonifazio, *Cronache Modenesi*, a cura di Luigi Vischi, Tommaso Sandonnini, e Odoardo Raselli, Soliani, Modena 1888.

Cronaca Spaccini, 1999

Spaccini, Giovan Battista, *Cronaca di Modena. Anni 1603-1611*, a cura di Biondi, Albano, Bussi, Rolando e Giovannini, Carlo, Panini, Modena 1999.

Cronaca Tommasino

Tommasino De' Bianchi detto De' Lancillotti, *Cronaca Modenese (1506-1554)*, in *Monumenti di Storia Patria delle Province Modenesi, Serie delle cronache*, Fiaccadori, Parma 1862-84, voll. 12.

Memorie Palmieri, 1854

Palmieri, Antonio, *Memorie dall'anno 1738 al 1796 per servire alla storia delle fabbriche, restauri, abbellimenti ed ornato di Modena*, Fiaccadori, Parma 1854 (rist. anast. Modena 1980).

STUDI

Baracchi 1982

Baracchi, Orianna, *Il Duomo di Modena nel '700*, in *Aspetti e problemi del Settecento modenese*, II, Aedes Muratoriana, Modena 1982, pp. 41-60.

Baracchi, 1988

Baracchi, Orianna, *Rinnovamenti e restauri architettonici nel Duomo, nelle sagrestie e nella torre*, in Baracchi, Orianna e Giovannini, Carlo, *Il Duomo e la Torre di Modena. Nuovi documenti e ricerche*, Aedes Muratoriana, Modena 1988, pp. 143-206.

Bertolani, Rossi, 1971

Bertolani, Mario e Rossi, Antonio, *Osservazioni sul rivestimento lapideo della torre Ghirlandina a Modena*, in "Atti e Memorie della Deputazione di Storia Patria per le Antiche Provincie Modenesi", 1971, s. X, VI, pp. 93-101.

Borghì, 1854

Borghì, Carlo, *Il Duomo ossia cenni storici e descrittivi della Cattedrale di Modena*, Cappelli, Modena 1854.

Cavani, 1903

Cavani, Francesco, *Pendenza, stabilità e movimento delle torri. La Garisenda di Bologna e la Ghirlandina di Modena*, Tip. Gamberini e Parmeggiani, Bologna 1903.

Dondi, 1986

Dondi, Antonio, *Notizie storiche ed artistiche del Duomo di Modena*, Tip. Dell'Immacolata concezione, Modena 1896.

Faccioli, 1898

Faccioli, Raffaele, *Relazione dei lavori compiuti dall'Ufficio Regionale per la conservazione dei monumenti dell'Emilia dall'anno 1892 al 1897*, Zanichelli, Bologna 1898.

Faccioli, 1901

Faccioli, Raffaele, *Relazione dei lavori compiuti dall'Ufficio Regionale per la conservazione dei monumenti dell'Emilia dall'anno 1898 al 1901*, Zanichelli, Bologna 1901.

Gavioli, 2005-2006

Gavioli, Silvia, *Il reimpiego delle pietre da taglio di Mutina: dalla città romana alla torre Ghirlandina* (Tesi di laurea discussa presso la Facoltà di scienze matematiche, fisiche e naturali dell'Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, a.a. 2005-06, relatore Stefano Lugli).

Giordani, Paolozzi Strozzi 2005

Giordani, Nicoletta e Paolozzi, Strozzi, Giovanna (a cura di), *Il Museo Lapidario Estense. Catalogo generale*, Marsilio, Venezia 2005.

Giovannini, 1988

Giovannini, Carlo, *L'attività dei Maestri Campionesi sulla Ghirlandina agli inizi del Trecento: documenti inediti*, in Baracchi, Orianna e Giovannini, Carlo, *Il Duomo e la Torre di Modena. Nuovi documenti e ricerche*, Aedes Muratoriana, Modena 1988, pp. 19-28.

Giovannini, Carlo, *Vicende e restauri della Ghirlandina nei primi anni dell'800*, in Baracchi, Orianna e Giovannini, Carlo, *Il Duomo e la Torre di Modena. Nuovi documenti e ricerche*, Aedes Muratoriana, Modena 1988, pp. 253-263.

Pezzini, 1984

Pezzini, Graziana, *Osservazioni sulla torre di Lanfranco a Modena*, in *Lanfranco e Wiligermo. Il Duomo di Modena*, Panini, Modena 1984, pp. 835-845.

Rossi, 1736

Rossi, Pellegrino, *Vita di San Geminiano vescovo e protettore di Modena scritta dal Dottor Pellegrino Rossi modenese all'altissima serenissima di Rinaldo I duca di Modena, Reggio, Mirandola ecc.*, Francesco Torri, Modena 1736.

Sandonnini, 1892

Sandonnini, Tommaso, *Studi sui libri delle Entrate-spese della Fabbrica*, in "Atti e Memorie della Deputazione di Storia Patria per le Antiche Provincie Modenesi", 1892, s. IV, IV, p. XXIV.

Sandonnini, 1983

Sandonnini, Tommaso, *Cronaca dei restauri del Duomo di Modena (1897-1925)*, a cura di Orianna Baracchi, Aedes Muratoriana, Modena 1983.

Serchia, 1984

Serchia, Luciano, *L'isolamento*, in Acidini Luchinat, Cristina, Serchia, Luciano e Piconi, Sergio, *I restauri del Duomo, 1875-1984*, Panini, Modena 1984, pp. 118-167.

Serchia, Luciano, *Studi e interventi sulla Ghirlandina*, in Acidini Luchinat, Cristina, Serchia, Luciano e Piconi, Sergio, *I restauri del Duomo, 1875-1984*, Panini, Modena 1984, pp. 171-186.

Sossaj 1841

Sossaj, Francesco, *Modena descritta da Francesco Sossaj*, Tip. Camerale, Modena 1841².

Torlaj, 1906

Torlaj, Ubaldo, *La Ghirlandina. Appunti Storici*, Tip. del Giornale "La Provincia di Modena", Modena 1906.

Valdrighi 1876

Valdrighi, Francesco, *La Torre Maggiore di Modena. Lettere due*, Tip. Sociale, Modena 1876.

Valdrighi, 1880

Valdrighi, Francesco, *Dizionario storico-etimologico delle contrade e spazi pubblici di Modena*, Andrea Rossi, Modena 1880².

Vercellono, 1906

Vercellono, Giuseppe, *S. Geminiano, il Duomo e la Ghirlandina*, Tip. S. Giuseppe degli Artigianelli, Torino 1906.