

La torre Ghirlandina cronaca del restauro e studi recenti

a cura di Rossella Cadignani

INDICE

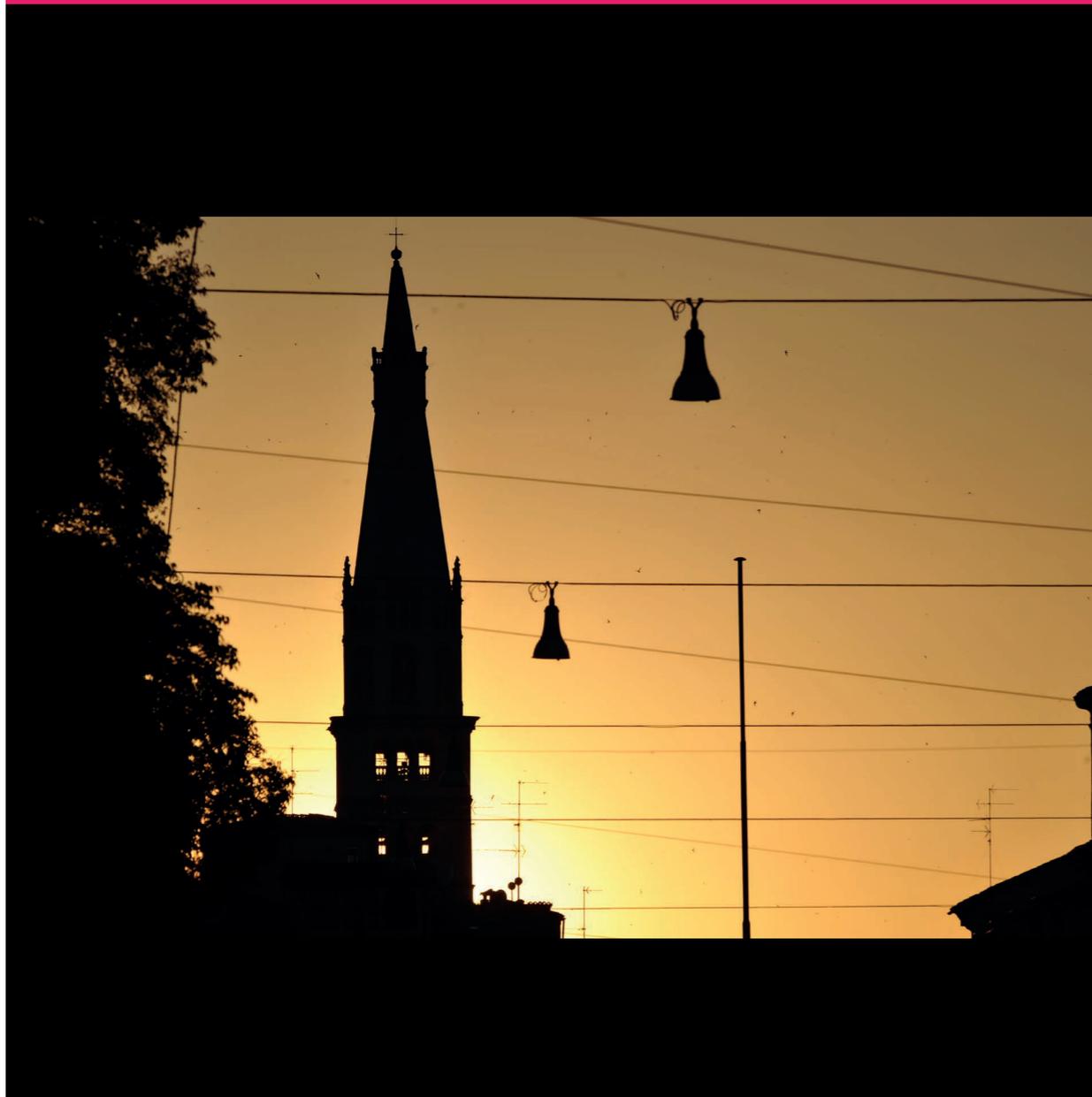
Vista della I cornice, lato est.



Comitato scientifico	<u>1</u>	Il ruolo del monitoraggio e dell'identificazione dinamica del costruito storico	<u>34</u>
Piano dell'opera	<u>2</u>	<i>Takayoshi Aoki, Renato Lancellotta, Donato Sabia</i>	
Indirizzi di saluto	<u>3</u>	Cronaca del restauro	<u>37</u>
<i>Andrea Landi</i>	<u>4</u>	<i>Rossella Cadignani, Franco Valli</i>	
<i>Gian Carlo Muzzarelli</i>	<u>5</u>	Dal progetto alla manutenzione	<u>50</u>
Prefazione		<i>Guido Biscontin, Guido Driussi, Zeno Matteo Morabito</i>	
<i>Rossella Cadignani</i>	<u>6</u>	Buche puntaie selettive per favorire i rondoni ed escludere i colombi dalla Ghirlandina	<u>54</u>
La Ghirlandina: fasi di costruzione e varianti		<i>M. Ferri, M. Ferraresi, A. Gelati, R. Cadignani, G. Rossi, U. Tigges</i>	
<i>Francesca Piccinini, Tomas Fiorini</i>	<u>10</u>	Bibliografia	<u>59</u>
Il cantiere: lapicidi e scultori nella vicenda edilizia della Torre		Gli autori	<u>60</u>
<i>Saverio Lomartire</i>	<u>18</u>	Referenze fotografiche	<u>62</u>
Rilievo metrico e fotogrammetrico		Le ditte	<u>63</u>
<i>Paolo Giandebiaggi, Andrea Zerbi</i>	<u>21</u>	I professionisti	<u>63</u>
Rilievi metrici 3D laser scanning: la Torre e le sculture		Convenzioni stipulate con le università	<u>64</u>
<i>Eleonora Bertacchini, Alessandro Capra, Cristina Castagnetti, Riccardo Rivola, Isabella Toschi</i>	<u>24</u>	Ringraziamenti	<u>64</u>
Le pietre, le malte e il degrado della Torre Ghirlandina			
<i>Stefano Lugli, Cesare Andrea Papazzoni</i>	<u>27</u>		
La struttura			
<i>Carlo Blasi, Eva Coisson</i>	<u>30</u>		
Torre Ghirlandina: caratterizzazione delle murature, indagini statiche e dinamiche			
<i>Angelo Di Tommaso, Camilla Colla</i>			

COMITATO SCIENTIFICO

Vista della torre da Largo Garibaldi al tramonto.



Comune di Modena

Gabriele Giacobazzi
*Assessore Lavori pubblici,
Patrimonio, Infrastrutture e reti,
Mobilità, sicurezza del territorio*

Fabrizio Lugli
*Dirigente del Settore Lavori
pubblici*

Rossella Cadignani
*Dirigente dell'Edilizia storica e
coordinatrice del Comitato*

Francesca Piccinini
*Direttrice del Museo Civico
e coordinatrice del Comitato
pilotaggio del sito Unesco*

Altri enti

Massimo Giusti
*Segretario generale della
Fondazione Cassa di Risparmio
di Modena*

Paola Grifoni
*Soprintendente ai Beni Archi-
tetonici e Paesaggistici per le
province di Bologna, Modena e
Reggio Emilia*

Graziella Polidori
*Soprintendenza per i Beni
architettonici e paesaggistici per
le province di Bologna, Modena
e Reggio Emilia*

Donato Labate
*Soprintendenza per i Beni
Archeologici Regione
Emilia-Romagna*

Pier Paolo Bonacini
*Deputazione di Storia patria per
le antiche Province Modenesi*

Esperti

Guido Biscontin
*Dipartimento di Scienze
ambientali dell'Università
Ca' Foscari di Venezia*

Carlo Blasi
*Dipartimento di Ingegneria
civile, dell'ambiente,
del territorio e architettura
dell'Università di Parma*

Renato Lancellotta
*Dipartimento di Ingegneria
strutturale e geotecnica
del Politecnico di Torino*

Stefano Lugli
*Dipartimento di Scienze della
terra dell'Università di Modena
e Reggio Emilia*

Angelo di Tommaso
*Dipartimento di Costruzione
dell'architettura dell'Università
IUAV di Venezia*

Altri collaboratori

Alessandro Capra
*Dipartimento di Ingegneria
meccanica e civile
dell'Università di Modena
e Reggio Emilia*

Cristina Dieghi
ricercatrice

PIANO DELL'OPERA

Particolare di uno dei capitelli esterni al piano dei Torresani dopo il restauro, lato est.



Con questo e-book, finanziato come i due volumi a stampa che l'hanno preceduto dalla Fondazione Cassa di Risparmio di Modena, si conclude per ora il ciclo di studi che ha permesso di conoscere tanti nuovi aspetti del monumento simbolo della nostra città.

L'augurio è che si possa presto riprendere questa attività, nella certezza che la conoscenza e la cura siano l'unica possibilità che abbiamo per conservare e tramandare il "patrimonio dell'umanità" che abbiamo avuto il privilegio di conoscere da vicino.

INDIRIZZI DI SALUTO

Andrea Landi

Presidente della Fondazione
Cassa di Risparmio di Modena

Suonatore di corno, III cornice marcapiano.



Con la rimozione degli ultimi ponteggi, nel novembre scorso, si è concluso un lungo ciclo di restauri che ha interessato, a partire dal 2006, il complesso del Duomo e della Ghirlandina.

La Fondazione Cassa di Risparmio di Modena ha svolto sin dall'inizio un ruolo attivo nella valorizzazione dei due monumenti partecipando ai principali interventi avviati per la loro tutela: il rifacimento della copertura della cattedrale, l'attivazione di un sistema di monitoraggio strumentale degli edifici, il restauro del Museo Lapidario, il restauro della Ghirlandina e della facciata del Duomo. Da ultimo la messa in sicurezza del Duomo, resa necessaria dal terremoto del 2012, e gli interventi di conservazione sugli absidi.

L'e-book che qui presentiamo – *La Torre Ghirlandina: cronaca del restauro e studi recenti* – documenta l'ultima fase dell'intervento sulla Torre e fa seguito ai due ponderosi volumi pubblicati rispettivamente nel 2009 e nel 2010 per i tipi dell'editore Sossella. È uno strumento agile e di facile consultazione che, per le sue caratteristiche, promuove la conoscenza di questo "monumento-simbolo" della comunità presso un pubblico più vasto rispetto a quello degli addetti ai lavori e dei cultori di storia dell'arte.

Rappresenta anche la testimonianza di un importante lavoro di recupero e conservazione del nostro patrimonio artistico reso possibile dall'impegno comune di istituzioni ed enti privati: l'Amministrazione Comunale, il Capitolo Metropolitano di Modena, la Fondazione Cassa di Risparmio di Modena, il Ministero dei Beni e delle attività culturali e del turismo e, in tempi più recenti, Unicredit.

I temi del restauro e della valorizzazione dei beni artistici costituiscono una delle priorità della Fondazione Cassa di Risparmio di Modena, accanto al sostegno della ricerca scientifica e delle attività di rilevante valore sociale. Ciò deriva dalla convinzione che la cultura, nelle sue molteplici forme, sia elemento costitutivo dell'identità di un territorio e, in quanto tale, vada preservata come strumento di conoscenza e di progresso civile.

INDIRIZZI DI SALUTO

Gian Carlo Muzzarelli
Sindaco di Modena

Capitello delle bifore IV livello.



Scrivo con piacere la prefazione a questo e-book, di straordinario interesse.

La Ghirlandina è uno dei simboli di Modena, forse il più noto e certamente il più visibile. Quando un modenese torna in città, magari dopo una lunga assenza, alza istintivamente lo sguardo per vedere se la “pioppa”, come viene simpaticamente chiamata in dialetto la Torre campanaria, è ancora al suo posto.

E vedere che è ancora lì, bella, alta e slanciata, è il più bel bentornato che un modenese possa ricevere, e il più affettuoso benvenuto per un turista che viene in città.

La Ghirlandina, insieme al Duomo e a Piazza Grande, costituisce un sito di una bellezza unica, patrimonio mondiale dell’Unesco, cuore della vita civile e religiosa della città.

Dopo i lavori di consolidamento e restauro, conclusi negli anni precedenti, siamo ora impegnati a rendere la Torre sempre più bella, fruibile e visitabile, con aperture più frequenti, anche nel periodo invernale.

Modena è splendida, vista dall’alto è ancora più bella. Sono certo che tutti coloro che leggono questo volume, trovando tanti dettagli, approfondimenti scientifici, artistici e architettonici, non mancheranno di visitarla di persona.

Buona lettura.

PREFAZIONE

Rossella Cadignani

Pannello di età romana di reimpiego, Il piano, lato est, dopo il restauro eseguito con tecnica laser.



La piccola Comunità modenese si è impegnata per oltre due secoli, dal 1099 al 1319, a realizzare uno dei complessi monumentali più importanti dell'architettura romanica: la Cattedrale e la torre Ghirlandina.

Ci ha così lasciato uno straordinario esempio di fusione dei valori religiosi e civici, accorpati in un contesto urbano medievale.

Grazie al lavoro congiunto di due straordinari artisti, l'architetto Lanfranco e lo scultore Wiligelmo, sono stati concepiti un nuovo progetto architettonico e un nuovo linguaggio figurativo, destinati ad avere una grande influenza sullo sviluppo dell'arte romanica nella pianura padana.

Fino all'Ottocento la gestione del complesso era affidata alla "Fabbrica", nella quale erano rappresentate sia la società civile, che quella religiosa. Poi la proprietà della Ghirlandina è stata assegnata al Comune e la Cattedrale al Capitolo Metropolitano. Per questo motivo i cantieri di restauro che hanno interessato per diversi anni i due monumenti sono stati gestiti separatamente, ma unico è stato l'intento conservativo, grazie anche al contributo del Comitato scientifico di esperti che ha sovrinteso i lavori e al finanziamento della Fondazione Cassa di Risparmio di Modena.

Nel testo vengono ripercorse le attività svolte sulla torre Ghirlandina nel periodo compreso tra 2007 e il 2014: dai primi studi, al restauro e ai controlli successivi. Un susseguirsi di interventi che daranno al lettore conto delle esigenze di cura continua del monumento, unica modalità possibile per mantenere in efficienza la materia e per trasmetterne compiutamente la storia.

Qui viene pubblicata una sintesi del lavoro e gli aggiornamenti degli ultimi 3 anni.

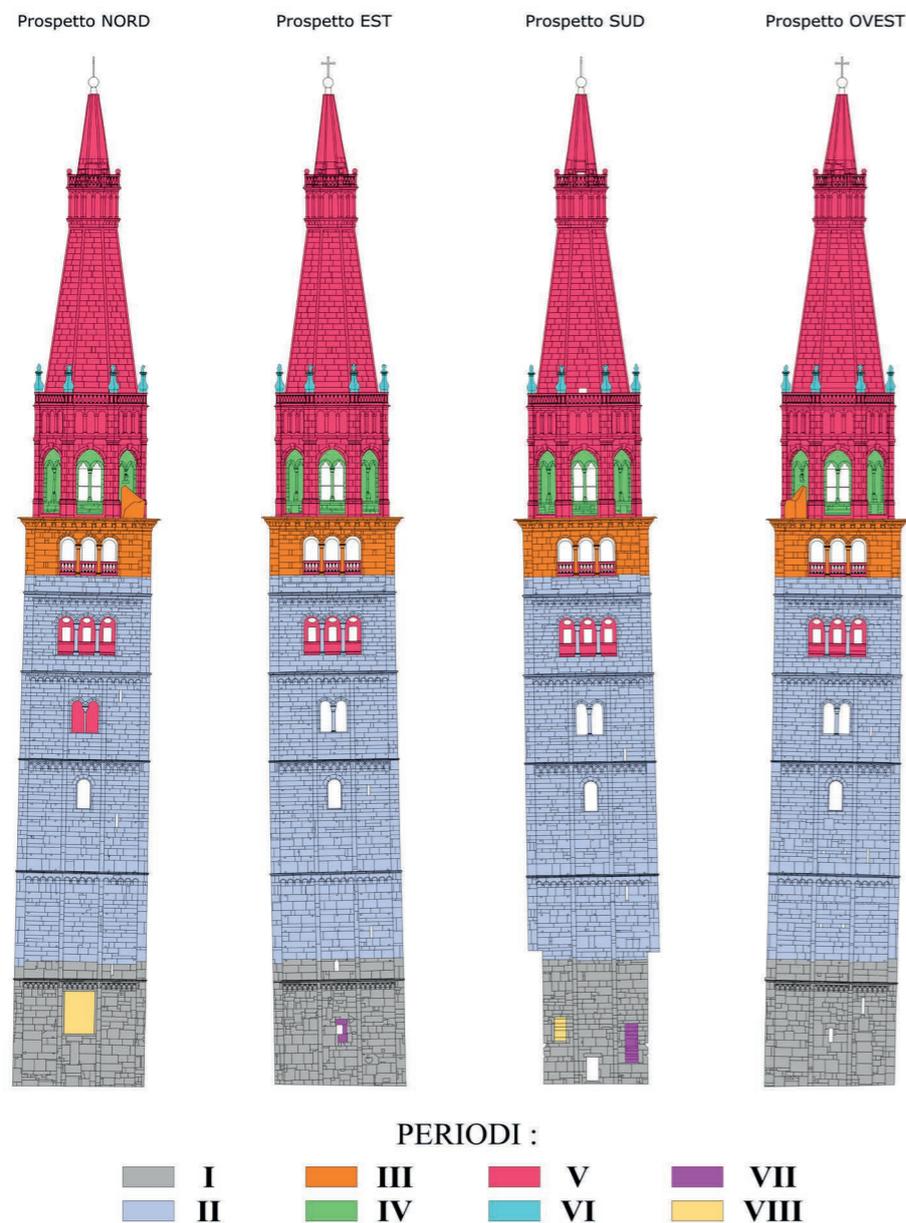
Tutto il materiale conoscitivo, elaborato durante il restauro, è stato raccolto nei due volumi* pubblicati dallo stesso editore nel 2009 e nel 2010, ai quali si rimanda per gli approfondimenti.

* *La torre Ghirlandina, un progetto per la conservazione*, volume 1, Luca Sossella editore, 2009 e *La torre Ghirlandina, storia e restauro*, volume 2, luca sossella editore, 2010.

LA GHIRLANDINA: FASI DI COSTRUZIONE E VARIANTI

Francesca Piccinini, Tomas Fiorini

1. Le fasi costruttive della Ghirlandina. Periodi: I (inizio del XII sec.); II (1167-1184); III (1261); IV (1319); V (II metà del XVI sec.); VI (inizio XVII sec.); VII (II metà del XVIII sec.); VIII (fine XIX-inizio XX sec.)



Le fasi di costruzione della torre Ghirlandina e della sua ornamentazione sono state indagate nel secondo volume dedicato ai restauri, negli articoli firmati da Donato Labate, Adriano Peroni e Francesca Piccinini, di cui qui si fornisce una sintesi.

La completa realizzazione della torre Ghirlandina, così come la conosciamo oggi, ha comportato diverse fasi costruttive che si sono protratte, tra tappe di rapido avanzamento e lunghi momenti di stasi, per un periodo che va dai primi anni del XII secolo, in parallelo con la fondazione del duomo e l'edificazione delle absidi, fino al pieno XVI secolo, quando la torre assume pressappoco l'aspetto con cui la conosciamo noi oggi. L'alternarsi di maestranze differenti nel corso del tempo, il mutare delle esigenze e dei responsabili della cura dell'edificio ha portato a importanti cambiamenti di progetto, a risistemazioni funzionali e a restauri, talvolta molto invasivi, che si sono protratti fin entro il XX secolo. Le analisi compiute in occasione della recente campagna di restauri hanno portato a una conoscenza rinnovata dell'opera e alla migliore comprensione di queste fasi di edificazione e rifacimento.

Il primo periodo, che corrisponde all'avvio del cantiere, richiede un'analisi più articolata in virtù dei rapporti che, in questo momento, si stabiliscono con l'adiacente fabbrica del duomo e per gli evidenti segni di un cambiamento progettuale in corso d'opera, cambiamento che ha poi condizionato lo sviluppo dei livelli superiori. A questi anni vanno riferiti con sicurezza lo scavo delle fondamenta, la realizzazione dello zoccolo in trachite su cui poggiano i muri perimetrali e l'avvio dell'alzato, fino a circa 13 metri sull'attuale piano di calpestio. L'evidente sprofondamento della torre in direzione sud, verso la cattedrale, e in direzione ovest, verso le canoniche, ha sempre fatto pensare a fondazioni insufficienti e mal concepite. Recenti carotaggi hanno messo in luce fondamenta in laterizi di reimpiego per una profondità di circa 3,6 m e con una dilatazione a scarpa non superiore ai 70 cm, disposte secondo una tessitura regolare e accurata, intesa a dare stabilità a un edificio che non doveva probabilmente superare, secondo il progetto originario, l'attuale quinto piano, corrispondente alla Stanza dei Torresani. Nonostante tale accorgimento, già in avvio di cantiere, si verificarono i primi cedimenti del terreno sul lato sud, uno sprofondamento che inizialmente dovette essere di circa 20 cm per giungere gradualmente fino agli attuali 2,3 m. Lo sprofondamento ha determinato il quasi totale interrimento del primo livello originario della torre, nel quale si apriva la porta di ingresso all'edificio, rintracciata a fine Ottocento da scavi eseguiti sotto l'attuale accesso. Internamente, questo primo livello è accessibile tramite una scala seicentesca che dalla sala d'ingresso scende in un vano dalla planimetria all'incirca cruciforme. Il vano fu parzialmente riempito, per un'altezza che si

2. Sezione trasversale dello stato attuale del I e II livello con ricostruzione (in rosso) dei rilievi delle fondazioni tratte dai sondaggi di R. Faccioli (1899).

3. Confronto tra lo stato attuale del I e II livello e l'ipotesi ricostruttiva.

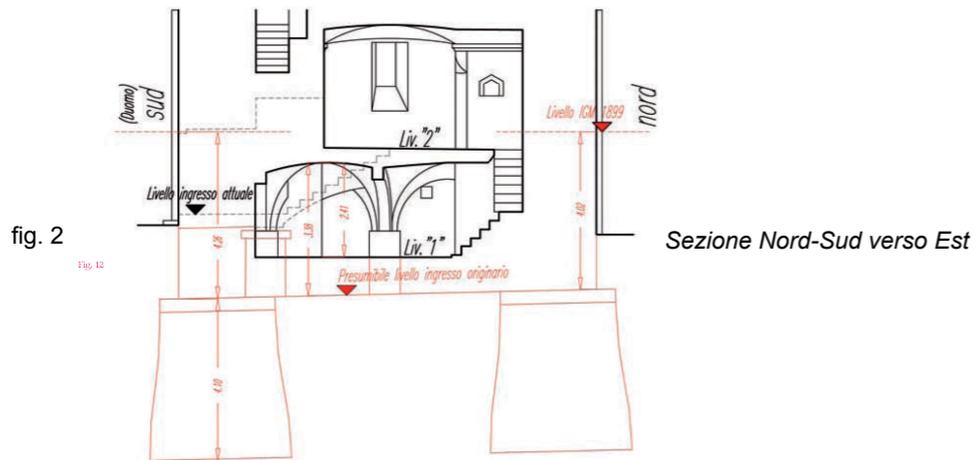


fig. 2

Ipotesi ricostruttiva Piano interrato

Piano rialzato

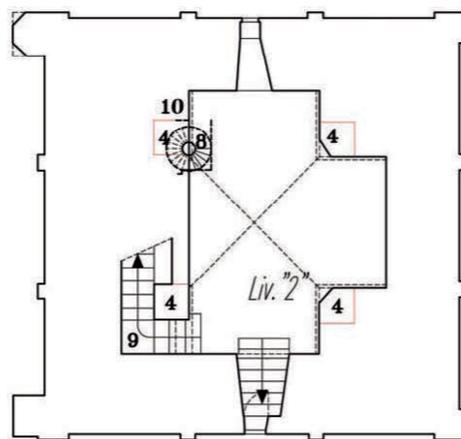
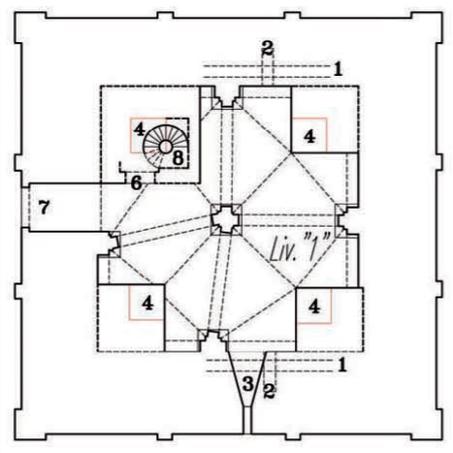
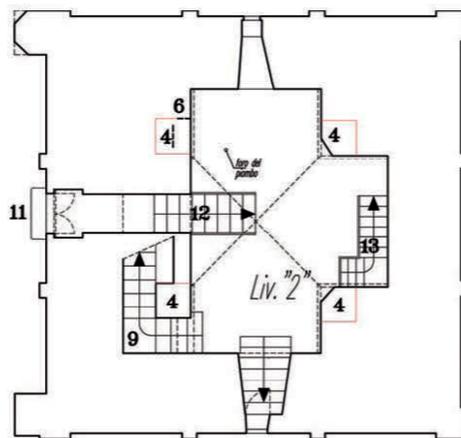
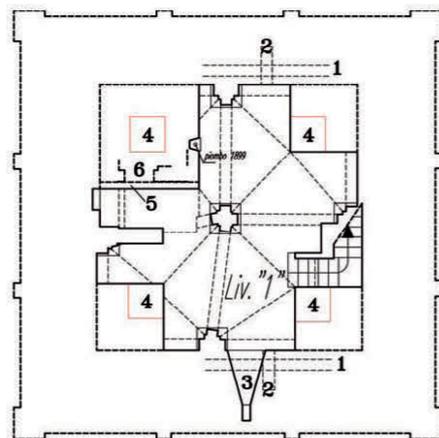


fig. 3 Stato attuale Piano interrato

Piano rialzato



Legenda

1. Traccia dei dormienti
2. Infissioni catene in legno
3. Monofora interrata
4. Proiezione del pilastro di sostegno della scala della torre
5. Muro di foderatura della porta di accesso alla "scaletta"
6. Porta di accesso alla "scaletta"
7. Ingresso originale
8. Modello della scala a chiocciola corrispondente a quella incompiuta della facciata del Duomo
9. Scala di salita alla Torre
10. Traccia di sutura verticale del muro
11. Ingresso attuale alla Torre
12. Scala di accesso all'ingresso dei visitatori
13. Scala di accesso al piano interrato

stima tra 1,2 e 1,5 m, durante lavori di sistemazione seicenteschi guidati dall'architetto comunale Raffaele Rinaldi detto il Menia, al fine di evitare pericolose infiltrazioni d'acqua. Questo intervento permette oggi di osservare da posizione privilegiata il singolare sistema di copertura della sala. Da un pilastro centrale, a sezione quadrata, totalmente realizzato con laterizi di reimpiego, si dipartono quattro archi a sostegno di irregolari volte nervate, ricadenti su semipilastri laterizi addossati ai muri perimetrali. Da questi semipilastri salgono anche gli archi addossati lungo il perimetro. A uno sguardo attento si evidenziano immediatamente alcune anomalie: la più evidente riguarda gli archi diretti ai muri est e sud che risultano nettamente disassati a causa della presenza di un feritoia, a est, e dell'antica porta di ingresso, a sud; l'altra anomalia riguarda il pilastro posto nell'angolo sudovest, ben più spesso dei pilastri che occupano gli altri tre angoli interni della struttura; recenti saggi hanno confermato che l'ispessimento del pilone è dovuto alla presenza all'interno di esso di una scala per l'accesso al piano superiore. Contestuali al muro perimetrale, spesso 2 m, sono la menzionata feritoia est e l'ingresso originario, mentre gli spessi piloni quadrati angolari sembrano edificati successivamente. Non vi è infatti corrispondenza fra le buche puntaie approntate per la realizzazione delle murature perimetrali e quelle rintracciabili sui piloni angolari; a questo si aggiunga poi che il sistema di piloni trova la sua piena funzione solo a partire dal piano superiore, quello attualmente destinato all'accesso alla torre. È solo da questo punto infatti che il sistema di rampe scalari e di coperture voltate trova perfetta rispondenza nei piloni, sui quali si appoggia, distinguendosi così dal piano interrato con la scala a chiocciola, oggi murata, e la volta su archi laterizi.

Alcuni elementi comuni ai due edifici, la torre e la cattedrale, come il ricorso a un paramento lapideo esterno e a una struttura laterizia all'interno, rendono possibile ipotizzare che Lanfranco abbia progettato entrambi. Il trattamento delle superfici esterne, tuttavia, anche quando il materiale è comune, appare diverso, sia per quanto riguarda i risalti angolari e le lesene, sia per la forma che assume la prima cornice. Per questo si ritiene attualmente che l'avvio della prima fase della torre sia da posticipare di qualche anno rispetto alla costruzione delle absidi, forse dopo la data di consacrazione del corpo orientale del Duomo, nel 1106.

Al secondo periodo va ricondotta la ripresa del cantiere da parte di maestranze campionesi dopo una lunga interruzione dei lavori, dovuta verosimilmente a problemi di assestamento del terreno. Questa fase prosegue fino alla Stanza dei Torresani, sormontata da 4 torrette ancora conservate in situ, inglobate nel paramento murario dell'attuale cella campanaria. A cominciare dal fusto i piloni angolari sono ammortati alla muratura perimetrale e l'unica buca puntaia conservata dei piloni è ubicata alla stessa altezza delle altre presenti nella muratura perimetrale. Nella Stanza dei Torresani la presenza di mensole sulle architravi

suggerisce come in origine l'ambiente fosse suddiviso in due piani da un impalcato ligneo. Una delle quattro edicole angolari contiene la scala a chiocciola per salire al piano superiore e all'impalcato scomparso. A questo periodo sono riferibili le aperture, la copertura a vela del fusto e parte del pavimento che si conserva nella Stanza dei Torresani. All'interno sono impiegati sia materiali primari, ossia appositamente estratti per la costruzione, come il Rosso ammonitico, utilizzato per i gradini delle scale e per parte del pavimento originario, sia laterizi recuperati da monumenti dell'Antichità. Sono invece tutti materiali di reimpiego i conci di pietra del rivestimento esterno: Pietra di Aurisina e, in misura minore, trachite e Pietra di Vicenza, tranne gli ultimi corsi sopra la quinta cornice che sono nuovamente in Rosso ammonitico. Tra il secondo e il terzo ripiano esterni si nota una consistente modifica dell'inclinazione del muro perimetrale, segno di un primo tentativo di

porre rimedio allo sprofondamento. La seconda fase dei lavori può essere datata dal 1167, quando i documenti registrano la concessione al Massaro della cattedrale, cioè a colui che si occupava dell'amministrazione del cantiere, di recuperare materiali dai monumenti antichi sepolti, fino al 1184, data della consacrazione del Duomo per mano di Papa Lucio III. A questa fase sono altresì da ricondurre lavori di risistemazione parziale della Stanza della Secchia, destinata ben presto a ospitare gli archivi della Comunità.

Al terzo periodo appartiene la sopraelevazione di un piano con la costruzione dell'attuale cella campanaria. Le torrette precedenti sono inglobate nelle murature, mentre altre quattro nuove coronano il nuovo culmine (oggi ne resta solo una che accoglie le scale per il piano superiore). L'esterno è tutto in materiale primario, in Rosso ammonitico, mentre all'interno la presenza di uno spesso strato di intonaco rende impossibile stabilire se i mattoni siano di riutilizzo o meno. A questo periodo risale anche la prima intonacatura della Stanza della Secchia. Riscontri documentari permettono di datare la sopraelevazione al 1261. All'inizio del XIV secolo, più precisamente al 1319, si deve invece datare la quarta fase di edificazione della torre, nella quale viene realizzato l'ottagono sormontato dall'elevata cuspide. Se all'esterno continua a essere privilegiato il Rosso ammonitico primario, all'interno i laterizi di reimpiego lasciano il posto per la prima volta al massiccio ricorso a mattoni di modulo medioevale. Modifiche consistenti interessano la Stanza dei Torresani il cui pavimento viene in parte sopraelevato e vengono costruiti setti murari per ricavare le stanze di abitazione dei custodi della torre. Ulteriori lavori riguardano l'interno della Stanza della Secchia che, in questa fase, vede la completa ridipintura delle pareti. Il decoro originario, impossibile da ricostruire per la quasi totale assenza di frammenti in vista, venne sostituito da motivi sovrapposti a finto drappaggio. Le pareti risultano così interamente rivestite da finte tappezzerie intervallate da fregi vegetali: nella parte alta l'eleganza e il carattere laico dell'ambiente sono sottolineati dal motivo della pelle di vaio, materiale particolarmente ricercato, mentre nella parte sottostante la pittura imita un tessuto a righe dai colori vivaci: giallo, rosso, verde e arancio. Le lunette sono invece riempite da elaborati tralci che traggono origine da motivi a mascherone e da vasi posti al centro dello spazio.

Nella fase successiva, la quinta, ampi lavori di restauro interessano l'ottagono e la guglia, che in quell'occasione viene sopraelevata di quattordici braccia, giungendo così alla sua massima altezza. Il restauro, databile tra la prima metà del XVI secolo e il 1588, consiste nel completo rivestimento esterno dell'ottagono con pilastrate che sorreggono archi a tutto sesto e che racchiudono le precedenti finestre gotiche, nel rifacimento di guglia, ghirlanda e balaustra e in alcuni lavori che interessano l'interno della Stanza dei Torresani. Dopo la parziale ostruzione delle trifore, all'interno di questa sala vengono inseriti due sedili lapidei e rifatto l'intonaco, sul quale ancor oggi campeggia lo stemma del Comune di

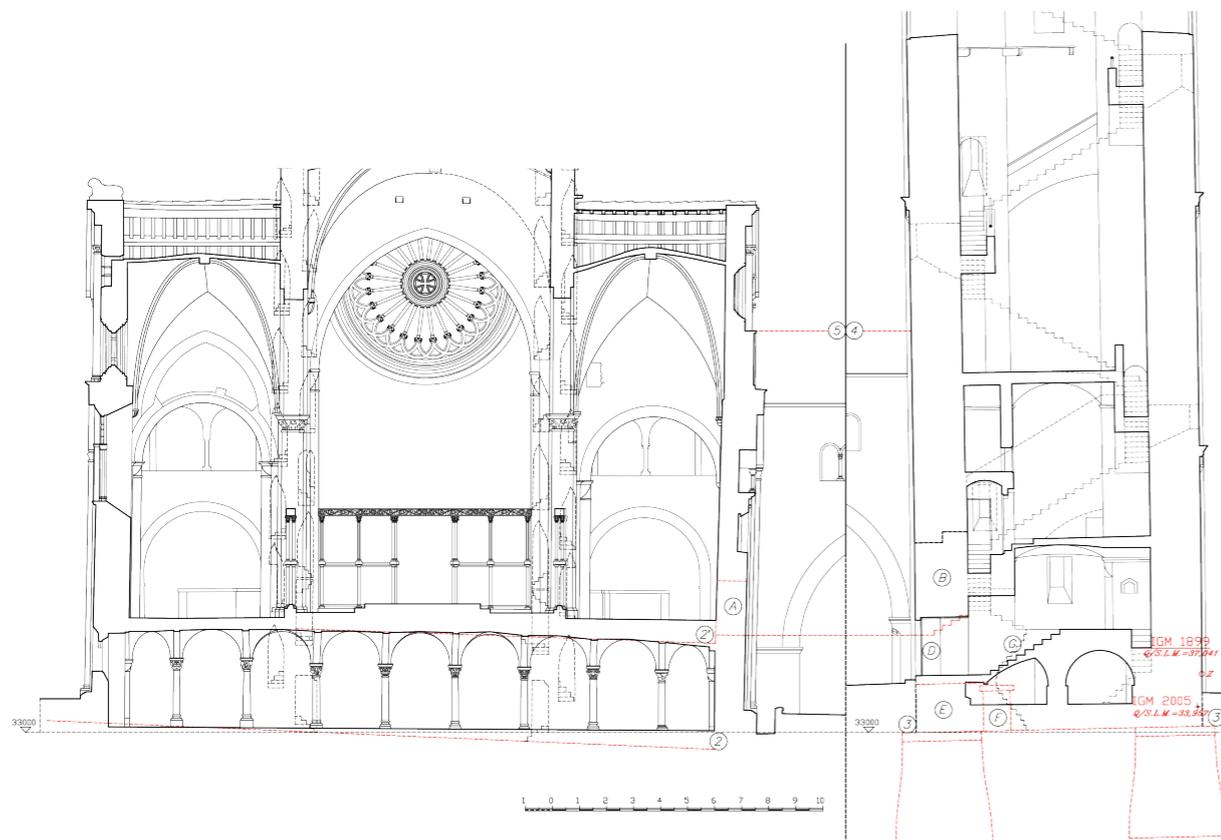


fig. 4. Ricostruzione del passaggio dal presbiterio del Duomo alla Ghirlandina nella fase lanfranchiana (disegno di G. Palazzi). Si noti: 1. sul lato sud della torre, la mancanza della prima cornice; 2. il segno speculare, su questo stesso lato, degli spioventi che nel Duomo condizionarono la sopraelevazione operata dai Campionesi.

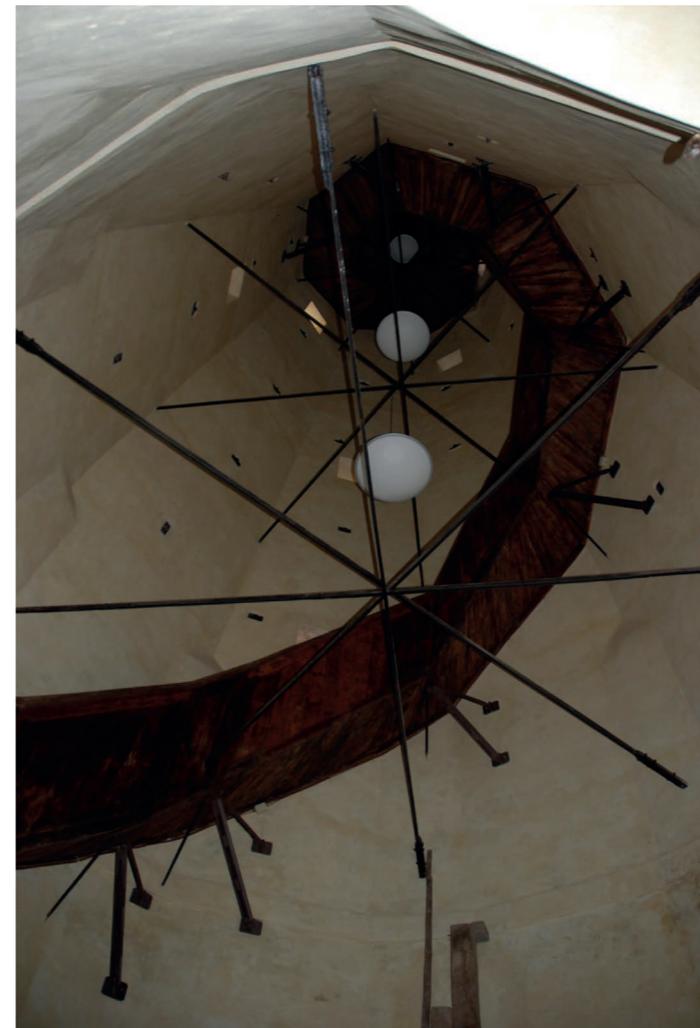
5. Sala della Secchia: la Secchia (copia dell'originale) e la decorazione dipinta.



La Ghirlandina: fasi di costruzione e varianti

Modena. Se il materiale utilizzato nelle murature interne resta celato dall'intonaco antico, all'esterno si riscontra la perdurante fortuna del Rosso ammonitico, già utilizzato nella due fasi costruttive precedenti.

Il XVII secolo vede ulteriori interventi con la costruzione dell'attuale scala lignea all'interno della guglia e con l'aggiunta, sulla balaustra esterna, dei tripodi con globo fiammeggiante. In questi anni, come ricordato precedentemente, avviene anche il parziale interrimento interno del primo piano originario e la chiusura della porta d'accesso sopraelevata in uso da qualche secolo. Ulteriori interventi di modifica degli accessi, con tamponamenti e aperture di nuove porte, avvengono nel 1767 e infine nel 1901, con l'imponente campagna di restauro e l'apertura dell'attuale porta d'ingresso.



6. Interno della guglia: la scala elicoidale (XVII sec.)

IL CANTIERE: LAPICIDI E SCULTORI NELLA VICENDA EDILIZIA DELLA TORRE

Saverio Lomartire

1. Ghirlandina, esterno, lato sud: rilievo con figura di danzatori.



Il problema delle fonti più antiche

A differenza del Duomo, mancano per la torre Ghirlandina elementi documentari o epigrafici che ricordino le coordinate e le circostanze della sua prima edificazione.

Si potrebbe desumere, come in passato è già stato fatto, l'appartenenza "organica" del campanile al cantiere lanfranchiano, così da ricomprendere la torre nel progetto complessivo per la nuova cattedrale iniziata nel 1099.

L'unica e più antica attendibile memoria diretta, ancorché più tarda rispetto alle fasi del duomo romanico, è costituita da una iscrizione graffita nella parte inferiore di una lastra a rilievo in pietra di Vicenza databile al I secolo a.C., collocata assieme ad altre due subito al di sotto della seconda cornice marcapiano sulla fronte orientale della torre, a circa 15 metri dal suolo. Si tratta di tre lastre a racemi, immurate quali elementi di reimpiego, che riportano la stessa ornamentazione vegetale, mostrando di provenire da un unico contesto originario.

In considerazione di una cospicua serie di studi circa l'interpretazione del testo (*M.C.S. VIII / q(...) III dom(us) / istit(us) turris + / + fuit facta. Arbor*) si è sviluppata una nutrita serie di interventi già dalla prima metà del XIX secolo, appare oggi probabile che la indicazione cronologica riportata dal graffito vada riportata al 1169 e che l'indicazione "domus" si riferisca a uno dei ripiani esterni della torre. Di conseguenza, si può dedurre che a quella data i lavori fossero giunti da qualche tempo alla sommità del secondo ripiano esterno della torre che in quella data si avviasse la costruzione del terzo ripiano, forse iniziando con l'allestimento della cornice ad archetti del ripiano inferiore.

Altre fonti, principalmente cronachistiche, ci forniscono informazioni indirette sullo stato e sull'uso della torre. Nel 1214 una campana presa all'assedio del castello di Ponte Duca risulta collocata sulla torre; nel 1217 un fulmine colpisce un *turricellum* alla sommità; nel 1261 la struttura viene innalzata a partire dal quinto piano; nel 1279 viene rifiuta una campana; nel 1319 si compie, a opera di Enrico da Campione, il coronamento della struttura e al culmine della guglia è posta una sfera in rame dorato; nel 1327 gli statuti cittadini dispongono che in vani interni alla torre venga custodito l'archivio del Comune; nel 1338 risultano costruite strutture di collegamento tra la Ghirlandina e il Duomo.

Di notevole importanza risulta infine un estratto degli statuti del Comune di Modena, contenuto nel codice capitolare O.II.11 (lo stesso che conserva copia della celebre *Relatio* che narra le vicende della fondazione del Duomo) riguarda l'utilizzo degli introiti gestiti dal massaro di San Geminiano e ricorda come "a longis retro temporibus" le due imprese costruttive del Duomo e della torre ("*fabrica ecclesie et turris*") fossero tra loro collegate.

2. Ghirlandina, esterno, lato sud: capitello con aquile.



Il cantiere: lapicidi e scultori nella vicenda edilizia della torre

In tale documento appare poi come sia la “*Massaria*”, cioè l’amministrazione della “*fabrica operis*”, sia il Comune abbiano un ruolo paritario nella raccolta e nella gestione “strategica” delle risorse. Non va infine trascurato l’accenno alla “*domus in qua lapides inciduntur*”, cioè alla loggia nella quale si confezionavano le pietre del paramento e gli elementi dell’arredo scultoreo, né il fatto che tale “*domus*” e il “*porticus*” che a essa in qualche modo si connetteva, fossero situati presso la torre e il Duomo.

Murature e partitura architettonica

Premesso che resta probabile una certa contemporaneità, almeno a livello di progetto iniziale del complesso, tra Duomo e torre, la realizzazione di quest’ultima dovette in un certo senso avere corso a sé: l’esistenza di due cantieri paralleli, sebbene in contatto tra loro, potrebbe persino essere suggerita dal perdurare per lungo tempo della disputa circa la proprietà della torre da parte del Capitolo della cattedrale o del Comune; una situazione, questa, che non si verificò per la cattedrale.

Per gli aspetti architettonici, non esistono però richiami formali tra la partitura esterna del Duomo e della torre: per quest’ultima viene infatti ripresa, quasi di necessità, l’articolazione largamente diffusa nelle torri campanarie “*lombarde*” tra XI e XII secolo, con la scansione pseudo-modulare in ripiani sovrapposti. Ai modelli lombardi riconduce anche il progressivo alleggerimento della canna via via che si procede verso l’alto, con l’ampliarsi delle aperture.

Nonostante ciò, non sono mancate ipotesi circa un mutamento di progetto che sarebbe intervenuto a livello del terzo, quarto e quinto ripiano, in ragione del progressivo ridursi in altezza dei ripiani stessi e di talune incongruenze nella quota delle finestre.

Nonostante tale percettibile differenziazione formale della partitura architettonica della Ghirlandina rispetto a quella del Duomo, si osserva nei due edifici l’impiego degli stessi materiali costruttivi, la pietra di Aurisina e la pietra di Vicenza; nelle più tarde fasi campionesi a primeggiare sarà invece il calcare ammonitico veronese.

Nella Ghirlandina si possono però registrare, nella sequenza dal basso verso l’alto, ben diverse modalità di allestimento delle apparecchiature murarie; nelle parti inferiori i paramenti lapidei appaiono ordinati in corsi piuttosto irregolari di conci di pezzature e forme molto diverse, tra cui molti pezzi romani di spoglio, alcuni dei quali in seguito rimossi. Nel primo ripiano, inoltre, il sistema delle buche pontae appare diverso da quello seguito nei piani superiori. In corrispondenza della cornice marcapiano del primo ripiano si deve dunque individuare, con ogni verosimiglianza, la conclusione di una prima campagna costruttiva, che si interrompe poco sopra la prima cornice stessa.



Le cornici ad archetti e l'apparato scultoreo della torre nei primi due ripiani

Vari elementi strutturali e del dettaglio costruttivo sembrano collocare la prima fase costruttiva della torre in un momento in cui i lavori al Duomo erano piuttosto avanzati, o quantomeno, indicano che, subito dopo la creazione delle fondazioni e l'innalzamento di parte della struttura i lavori subirono una stasi, la cui durata non è, allo stato delle nostre conoscenze, determinabile.

Indizio di datazione alquanto tarda è dato dalla conformazione della cornice che conclude il primo ripiano, che è assente sul solo lato sud. Essa è del tipo ad archetti intrecciati, che nel Duomo non trova riscontri e che invece si può accostare a diversi esempi, non precedenti in genere agli anni Venti e Trenta del XII secolo.

Questa cornice rivela l'azione di maestranze di grande perizia, che predispongono con accuratezza i blocchi lapidei. Elementi di spicco nel sistema sono innanzitutto le mensole, che qui sono presenti in numero fisso di sei per ogni specchiatura: in totale vi sono diciotto mensole per ognuno dei tre lati (est, nord, ovest). Della serie di cinquantaquattro mensole previste in origine, ne rimangono oggi solo ventisei, in gran parte in pietra di Vicenza, perché le rimanenti sono state sostituite in varie riprese da peducci modanati a gola dritta e listello o a ovolo.

Permangono tuttavia testimonianze sufficienti, nonostante la assai scarsa leggibilità di alcuni pezzi, per ricondurre questa prima decorazione scultorea a un gruppo di lapicidi e scultori variamente dotato, con gradi di diversa perizia e diversi livelli qualitativi. Per il tipo di mensola qui adottato, a protome umana o animale, il riferimento più diretto va ricercato in primo luogo nelle compagini murarie esterne del Duomo: si può ammettere il diverso valore compositivo delle mensole scolpite nella Cattedrale, ma non vi può essere dubbio che la scelta di una simile soluzione per la torre sia un riflesso degli indirizzi progettuali predisposti per l'edificio lanfranchiano.

A fronte delle analogie tipologiche, vanno però qui rilevati, rispetto agli esempi del Duomo, caratteri di corsività e semplificazione.

In questa zona, i rilievi angolari in linea con il profilo superiore della cornice ad archetti, scolpiti su grossi blocchi di pietra di Aurisina mostrano un indirizzo formale per certi versi analogo a quello delle mensole. Vi sono rappresentati un centauro con un arco in atto di scagliare una freccia, Sansone che smascella il leone, mentre sull'unico blocco scolpito su due lati (spigolo nord-est), intenzionalmente disposto per una visione angolare sono presenti su una faccia una sirena bicaudata e sull'altra un cane con coda di pesce. Tutte queste figure presentano identici caratteri formali, che permettono di ricondurli all'opera di un unico scultore qualitativamente dotato, che emerge al di sopra del livello qualitativo percepibile per le mensole e che non ritroviamo nella scultura del Duomo.

Caso a parte è costituito dalla scultura collocata in corrispondenza dello spigolo nord-ovest, una figura allungata un felino dalle fauci aperte ricavata da un pilastro di età romana in marmo proconnesio che può essere confrontata con alcune raffigurazioni di felini di ambito wiligelmico. In questo unico caso si potrebbe ipotizzare il riutilizzo di un elemento decorativo rimasto giacente nel cantiere lanfranchiano-wiligelmico.

Al di sopra di questa prima cornice si nota un cambiamento nell'allestimento dell'apparecchiatura muraria, che coinvolge anche il sistema delle buche pontae e sembra corrispondere a un uso estensivo della pietra di Aurisina. Poco al di sotto della cornice del secondo livello si trovano, collocati sul lato orientale in ognuna delle specchiature, i tre rilievi antichi, dei quali quello centrale riporta la data del 1169: l'apposizione della scritta

4. Ghirlandina, esterno, lato est: mensola con protome animale.



Il cantiere: lapicidi e scultori nella vicenda edilizia della torre

sul frammento potrebbe essere avvenuta qualche tempo dopo la collocazione del pezzo, tuttavia si può pensare che a quell'altezza vada individuata una stasi piuttosto lunga dei lavori di costruzione. È inoltre probabile che proprio a lavori alla torre possa riferirsi la concessione del 1167 da parte del Comune al massaro del Duomo e ai suoi successori del "diritto e potere di scavare pietre per strade e piazze della città, purché ciò non rechi incomodo agli abitanti". Considerata dunque l'alta probabilità che la scritta si riferisca alla costruzione del ripiano soprastante, è plausibile che essa sia stata incisa a memoria della ripresa dei lavori.

La cornice sommitale del secondo ripiano presenta questa volta archetti pensili non reciprocamente intersecati e provvisti invece di doppia ghiera e allestiti con particolare cura del dettaglio nella lavorazione dei blocchi. Su ogni lato sono disposte con dodici, e non più diciotto, mensole per ogni lato. Della serie originaria restano solo sei esemplari di dimensioni maggiori rispetto alle mensole della prima cornice, con protomi umane e animali le quali presentano spesso caratteri di maggiore corsività rispetto alle precedenti e un'esecuzione quasi grafica dei dettagli, a indicare l'attività di un gruppo di scultori diversi da quelli già attivi nella prima cornice.

Forme semplificate e un po' rigide, accompagnate da una cura quasi calligrafica del dettaglio, si osservano anche nei rilievi collocati sui risvolti angolari nei quali sono rappresentate raffigurazioni animali: alcuni hanno sofferto di erosioni e perdite di parti consistenti del modellato; nei rilievi sono rappresentati esclusivamente figure animali: un'aquila, un elefante, cani, un vitello, e infine leoni, a rappresentare complessivamente il tema della caccia rappresentato in questa sequenza di sculture angolari, che costituiscono dunque una chiara reinterpretazione di modelli dell'Antichità. Tutti i rilievi e quello che resta delle mensole sono accomunati da una stessa caratterizzazione formale, da una condotta molto controllata del modellato e dall'uso quasi calligrafico della linea di contorno; elementi che permettono di ricondurre l'insieme all'attività di una bottega forse meno eterogenea rispetto a quella attiva nel primo ripiano. Tutto conduce a individuare per l'esecuzione della cornice del secondo ripiano una maestranza a sé, che non è più quella della prima fase edilizia della torre e non ancora quella che condurrà le parti superiori della struttura. Per questo motivo si può sostenere che la realizzazione di questa cornice costituisca formalmente la conclusione della fase più antica della torre, ma al tempo stesso che essa segni il riavvio della costruzione. In questi termini è plausibile l'ipotesi che la datazione al 1169 riportata nella citata iscrizione graffita possa riferirsi in primo luogo alla realizzazione della cornice e delle sculture di questa zona.

Sopra la cornice superiore si colgono invece più chiare novità linguistiche che costituiscono il segnale più evidente di una nuova, decisiva, fase edilizia della torre: tuttavia, tali novità

5. Ghirlandina, esterno, lato ovest: doppio capitello e mensola con protome umana.



Il cantiere: lapidici e scultori nella vicenda edilizia della torre

si attuano nell'alveo delle direttive progettuali imposte fin dai piani inferiori, mostrando nello stesso tempo la forza del progetto iniziale e la sagacia con cui seppero realizzarlo le diverse generazioni di costruttori che si avvicendarono nel cantiere.

I magistri lapidum Campionesi e le fasi edilizie più recenti della torre

Nella lunga vicenda storiografica del Duomo e della Ghirlandina l'apporto dei costruttori e scultori Campionesi ha costituito il dato caratterizzante e più discusso della fase avanzata e conclusiva dei due cantieri. Il famoso contratto del 1244, già pubblicato nel XVIII secolo da Girolamo Tiraboschi, relativo all'impegno di alcuni *magistri lapidum* guidati da Enrico *de Campilione episcopatus Cumani* e Ubaldino, massaro di San Geminiano, richiama un precedente contratto stipulato dal nonno di Enrico, Anselmo *de Campilione*, con Alberto Aygi, massaro tra il 1190 e il 1208. Questo documento tuttavia, non chiarisce quali fossero le opere per le quali furono reclutati e se vada riferito solo a lavori al Duomo o anche alla Ghirlandina.

Sulla base delle osservazioni condotte per i ripiani inferiori della torre, è probabile che ad Anselmo vada ricondotta la campagna edilizia della parte alta della torre a partire dalla porzione superiore del terzo ripiano. Qui infatti, e soprattutto negli otto grandi rilievi angolari della terza cornice, sono concordemente state riconosciute le più strette analogie con altre opere riferibili a maestranze campionesi nel complesso del Duomo, in primo luogo con i pannelli con scene della Passione di Cristo e gli altri rilievi a essi associabili nel pontile all'interno del Duomo, datato concordemente nella periodo che corrisponde in qualche modo alla consacrazione della cattedrale nel 1184. Si deve anche ammettere che, mentre il rapporto cronologico e stilistico tra il pontile e le sculture del terzo ripiano della Ghirlandina segnala per la prima volta il convergere di indiscutibili elementi di contiguità o persino di contemporaneità tra i lavori del Duomo e sulla torre, esso non chiarisce tuttavia una paternità dei due gruppi scultorei che possa dirsi in sé "campionesi". Comunque, sulla base dei documenti a nostra disposizione, parrebbe di non poter assegnare gli interventi campionesi sulla Ghirlandina a molto tempo prima dell'ultimo decennio del XII secolo.

Negli otto rilievi sui risvolti angolari della terza cornice i personaggi, quasi tutti rappresentati singolarmente (in un solo caso è rappresentata una coppia), sono in formato maggiore rispetto ai rilievi dei ripiani inferiori; a differenza di quelli poggiano su corte e sottili cornici modanate che hanno lo scopo di ribadire la corporeità dei personaggi rappresentati piuttosto che fornire un reale sostegno ai rilievi. Qui, come accadeva peraltro nella cornice del secondo ripiano, le figure appaiono prevalentemente collegate tematicamente dal fatto di trovarsi scolpite su due lati di uno stesso blocco di pietra.

6. Ghirlandina, esterno, spigolo sud-est: rilievo con Davide e una figura danzante.



Tra tutti spicca il personaggio facilmente riconoscibile, sul rilievo di sinistra del lato est, come il re Davide che suona l'arpa. Sul lato adiacente, verso sud, è collocata una che solleva la corta veste nell'atto di condurre una danza sfrenata. Procedendo verso sinistra, si trovano due figure danzanti sull'angolo di sinistra del lato sud e poi, in successione sul lato ovest adiacente, una figura femminile isolata che tiene nella mano destra un fiore e con la sinistra solleva un poco la parte anteriore della gonna, mostrandosi anch'essa in atto di danzare. Sull'angolo opposto sta una figura maschile barbata, in atto di sgozzare un capro. Sul lato settentrionale adiacente, troviamo due personaggi maschili: il primo, imberbe, tiene in mano uno strumento non identificabile (forse originariamente una mazza?) e sul rilievo corrispondente di sinistra un altro personaggio maschile suona; sul contiguo lato est infine, in posizione opposta a quella del rilievo già citato con re Davide, sta una figura con spada appoggiata sulla spalla destra e lungo scudo a mandorla, ma per il resto priva di elmo e di altri elementi riconducibili a un'armatura.

La lettura iconografica di questo gruppo di raffigurazioni è stata oggetto di una lunga e

Il cantiere: lapicidi e scultori nella vicenda edilizia della torre

ampia discussione, ma presenta ancora punti controversi, soprattutto per la difficoltà di interpretare la funzione di alcuni personaggi effigiati. Tuttavia, forse non è necessario pensare a un programma iconografico unitario e stringente.

Certamente dominante nel complesso è il tema della danza connesso a Davide e riferibili forse in modo non generico alla danza del re di fronte all'Arca dell'Alleanza contenuto nel secondo libro di Samuele.

Il tema della musica e della danza costituisce l'elemento caratterizzante di un'altra scultura della Ghirlandina, cioè il famoso capitello montato all'interno del quinto ripiano, nella cosiddetta stanza dei Torregiani, che, sebbene giudicato nel tempo precedente, o ovvero come derivato da quei rilievi, o anche come copia come derivato da essi, viene ormai concordemente ascritto alla stessa bottega scultorea che operò sui rilievi angolari della terza cornice, di cui riproduce in formato ridotto alcuni dei più significativi rilievi.

Nell'insieme risulta suggestivo un richiamo alla lunetta interna del portale occidentale del Battistero di Parma, con il re Davide e figure di suonatori e danzatori, scolpita da Benedetto Antelami probabilmente verso la fine del primo decennio del Duecento, in cui un'iscrizione ricorda quale sia il tema rappresentato: la lode del Signore attraverso il canto, al quale sono indissolubilmente uniti la musica e la danza. Le coordinate cronologiche delle sculture modenesi, indicano che con ogni probabilità Benedetto Antelami dovette aver frequentato il cantiere e i ponteggi della Ghirlandina e del Duomo.

Risulta inoltre chiaro il riferimento, sotto gli aspetti stilistici, dei rilievi citati della Ghirlandina con quelli, un po' trasfigurati, delle sculture del cosiddetto "pontile" campionesi del Duomo, con confronti anche diretti soprattutto nei tratti facciali dei personaggi.

Elementi simili si ritroveranno in alcune delle protomi scolpite sulle mensole della cornice ad archetti intrecciati di questo ripiano, in varia misura riconducibili all'autore dei rilievi angolari e ai suoi collaboratori, tra i quali alcuni di notevole abilità. Nella serie di ventotto mensole conservate rispetto alle quarantotto originarie, con figurazioni raggruppabili tipologicamente tra protomi umane e animali, ma anche, per la prima volta, con elementi vegetali e ornamentali, sono distinguibili diverse personalità, ma è possibile cogliere la presenza del maestro principale dei rilievi maggiori in alcune teste maschili e in generale su tutta la serie del lato sud. Nei pezzi che riportano invece rilievi zoomorfi, si assiste all'introduzione del tipo con animali affiancati, che rivela la suggestione dei grandi capitelli wiligelmicici delle arcate esterne del Duomo, ma tratta le figure con una cura del dettaglio quasi miniaturistica e con l'uso abbondante del trapano. Infine si osserva l'introduzione di un altro elemento tematicamente nuovo ovvero di un tipo di mensola conformata come una voluta che richiama il rocchetto dei capitelli ionici e che poggia su una foglia di acanto, la quale rivela una spiccata inclinazione classicista che si farà strada negli anni a

venire e darà i suoi migliori risultati in un certo numero di capitelli delle polifore superiori della Ghirlandina e nella Porta Regia.

La cornice del quarto ripiano riprende il sistema ad archetti pensili in serie semplice, ma meno elaborato. A differenza di quanto accade nelle cornici inferiori, qui è introdotta una fascia a denti di sega subito al di sopra degli archetti, che ha fatto pensare a una prima conclusione della struttura della torre a questa quota, ma che è elemento comune in altri campanili nel nord Italia tra il XII e il XIII secolo. Vengono meno le sculture angolari che caratterizzavano i livelli inferiori, così che la decorazione figurata è in questa zona affidata alle sole mensole scolpite. I ventisette pezzi originari conservati ripropongono sostanzialmente, con alcune varianti, il repertorio messo a punto nella cornice sottostante. Tra le protomi animali si rileva il venir meno della mensola con coppie, sostituita da animali rappresentati con il busto o per intero, mentre tra quelle umane prevalgono i mascheroni con tratti molto marcati, tra cui il tipo diabolico e il tipo dell'uomo-vegetale. Mancano, tra le teste umane non mostruose, i tipi più raffinati che si osservano nella cornice sottostante: indice del mutare delle maestranze nel cantiere in conseguenza dello stacco cronologico nella realizzazione dei due ripiani. Tuttavia si rilevano anche chiaramente anche elementi di diretta continuità, come i solchi incisi tra i capelli e la fronte.

La vicinanza tipologica e stilistica nel complesso si può ricondurre almeno in parte a un'efficiente organizzazione del cantiere, nel quale vengono predisposti dei modelli normativi che saranno seguiti fedelmente. È anche assai probabile che il gruppo di scultori che lavorava nella loggia ai piedi della torre, preparasse i pezzi non in parallelo con la realizzazione della struttura, ma in maniera autonoma e necessariamente in anticipo; mentre l'assortimento, pure esso in genere predeterminato, era suscettibile di ridistribuzioni al momento della posa in opera.

Nel quarto ripiano della torre una novità è costituita dall'introduzione delle grandi bifore rette da coppie di colonne sulle quali sono montati grandi capitelli, che non hanno confronti nella Ghirlandina e sono stati in genere trascurati dalla critica: quasi tutti i pezzi presentano sontuose riproposizioni del capitello corinzio antico, riprodotto con grandissima perizia in continue varianti e persino con la sostituzione delle volute angolari in un caso con teste di arieti che brucano la sommità delle foglie del giro inferiore. Un solo esemplare è figurato e presenta sulle facce quattro magnifiche aquile ad ali spiegate, aggrappate con gli artigli al collarino del capitello e con il becco rivolto verso l'alto. Tutti questi esemplari si mostrano frutto di una équipe, non numerosa, di artefici specializzati dotati di una notevole cultura, derivante certo dallo studio degli esemplari antichi, e di una grandissima perizia tecnica. I confronti per questi pezzi all'interno del cantiere modenese non possono che essere i

capitelli della Porta Regia, chiaramente portatori degli stessi connotati formali, oppure anche quelli posti sotto il pontile e quelli fogliacei dell'altare campionesse. I contatti rilevabili con questa fase più tarda del cantiere del Duomo, illustrano il permanere, a una generazione di distanza, di una contiguità operativa tra la cattedrale e la torre che testimonia l'attività di un cantiere unico.

La situazione del quinto ripiano non è molto diversa, se si tiene beninteso nel conto un ulteriore necessario scalamento cronologico. Nella cornice ad archetti semplici con fascia a denti di sega, si ritrova lo stesso assortimento tipologico che si è osservato in particolare nel quarto ripiano. Si assiste qui a un'ulteriore semplificazione dei volumi, in genere privati degli elementi di dettaglio che ancora si osservano negli esempi più in basso: i tipi facciali, ridotti quasi sempre a maschere inespressive, sono privi delle pupille e spesso manca il contorno degli occhi, mentre solo in un caso sul lato sud, si può cogliere ancora la linea di contorno che segna sulla fronte l'attacco della capigliatura.

I sedici capitelli delle trifore che si aprono su questo piano, due coppie per ogni lato, sui quali compaiono peducci che riportano figurazioni assai simili a quelle delle mensole, richiamano gli esempi collocati nelle bifore del piano inferiore: negli otto esemplari collocati verso l'esterno prevalgono i tipi derivanti dal corinzio antico. Si resta però qui incerti, se considerare questi pezzi come effettivamente più tardi rispetto ai capitelli delle bifore sottostanti, anche perché alcuni elementi portano invece a crederli eseguiti quanto meno insieme agli altri, o forse persino un po' prima.

La serie di otto capitelli posta all'interno della cosiddetta stanza dei Torregiani si collega, apparentemente con tre eccezioni, ai tipi visti all'esterno. Se si escludono i tre capitelli cubici posti negli angoli a sorreggere mensole su cui doveva poggiare un tempo un soffitto ligneo, la serie consta di cinque capitelli ispirati come gli esterni al modello corinzio e di tre capitelli figurati. La maggiore ricchezza decorativa dei capitelli fogliacei potrebbe aver indotto a collocare questi pezzi in una posizione che ne permetteva un migliore godimento, pur sempre da un pubblico assai ridotto.

Di gran lunga più isolati sono i due capitelli che portano figure umane rappresentate per intero e riunite in gruppo con intenzione narrativa. Al capitello con Davide, i musicisti e i danzatori, già citato in rapporto ai rilievi esterni del terzo ripiano opera del cosiddetto "Maestro di Davide", fa da *pendant*, per così dire, un capitello che è stato ricondotto a un secondo artista, detto "Maestro dei Giudici", proprio in ragione del tema qui rappresentato, ovvero quello della buona e cattiva Giustizia e dei suoi effetti: il senso allegorico e didascalico delle scene è reso sufficientemente chiaro dalla presenza di iscrizioni. In



realtà, su questo pezzo si possono individuare almeno due mani: una responsabile dei personaggi angolari e l'altra che eseguì alcune delle figure sulle facce, la quale è vicina ad alcuni rilievi del parapetto del pontile.

Non è possibile sapere se la Ghirlandina fosse la destinazione originaria della coppia di capitelli figurati, ma si può comunque dire che la coppia di tema contemporaneamente religioso e civile sembra rispecchiare il doppio valore della torre, come simbolo dell'autorità religiosa e al tempo stesso dell'identità civica. Piuttosto è lecito domandarsi come mai i due capitelli siano stati collocati in questa zona, dal momento che paiono datarsi ben prima dell'inizio del Duecento, che rappresenta il termine cronologico più affidabile per il completamento del quinto ripiano. Il quesito resta per ora senza soluzione: è possibile che essi siano rimasti per un certo lasso di tempo in cantiere, in attesa di essere posti in opera.

La fase conclusiva e gli ultimi interventi campionesi

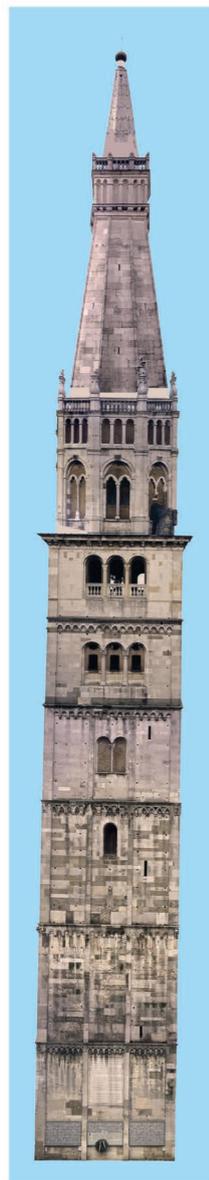
Il sopralzo della torre avviato nel 1261 e terminato nel 1319 costituì una palese addizione, persino sproporzionata, alla struttura che fino a quel tempo dovette probabilmente essere considerata compiuta. Tra la fase campionesa conclusa entro il 1217 circa e l'avvio del sopralzo avevano certo avuto luogo i grandi lavori edilizi al Duomo, che avevano probabilmente assorbito totalmente le finanze dell'amministrazione delle *fabbrica*. Solo dopo la conclusione di questa lunga e impegnativa campagna di rinnovamento, si poté pensare a un aggiornamento della torre per mezzo dell'aggiunta di un coronamento nel senso proprio del termine: a questa data i lavori dovettero probabilmente essere intrapresi dalle maestranze guidate da Enrico da Campione.

Le scelte decorative operate nella fase finale della Ghirlandina portarono all'abbandono degli articolati complementi scultorei che si erano adottati nei ripiani inferiori: l'arredo scultoreo della "ghirlandina" costituito da edicolette con pinnacoli, testimoniato da alcuni dipinti e affreschi, scomparve durante i rifacimenti del secolo XVI.

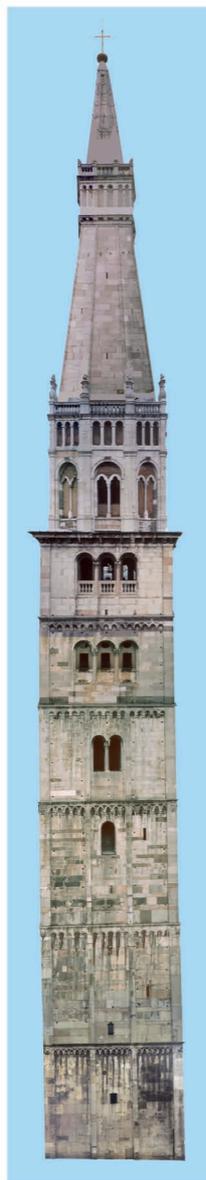
RILIEVO METRICO E FOTOGRAMMETRICO

Paolo Giandebiaggi, Andrea Zerbi

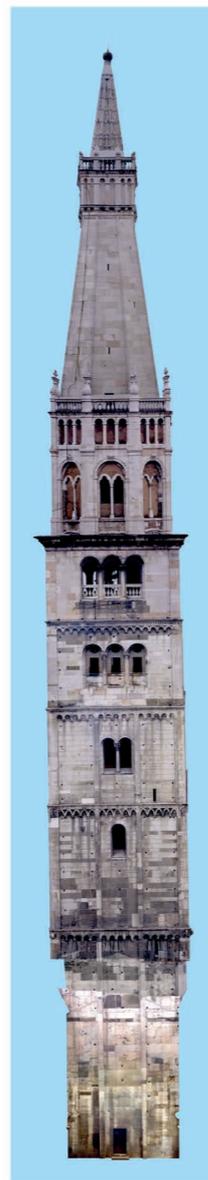
Ripresa fotografica dei prospetti eseguita prima del restauro.



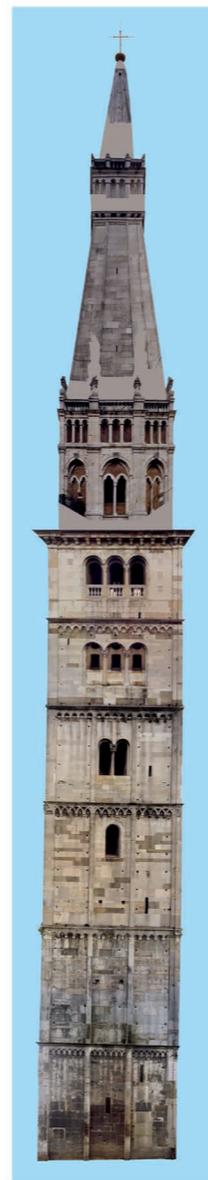
Prospetto NORD



Prospetto EST



Prospetto SUD



Prospetto OVEST

Parte prima

Quale operazione preliminare allo svolgimento dell'importante campagna di restauri che negli ultimi anni ha interessato la torre Ghirlandina è stato necessario dotarsi di una valida base conoscitiva. In questo senso il rilievo si configura come uno strumento indispensabile, senza il quale non sarebbe possibile giustificare le scelte progettuali adottate.

Nel caso specifico esso doveva presentare una duplice finalità: da un lato definire con precisione l'esatta morfologia del manufatto per poi svolgere analisi di carattere statico e strutturale, dall'altro definire il supporto su cui basare la catalogazione dell'intero apparato lapideo di rivestimento.

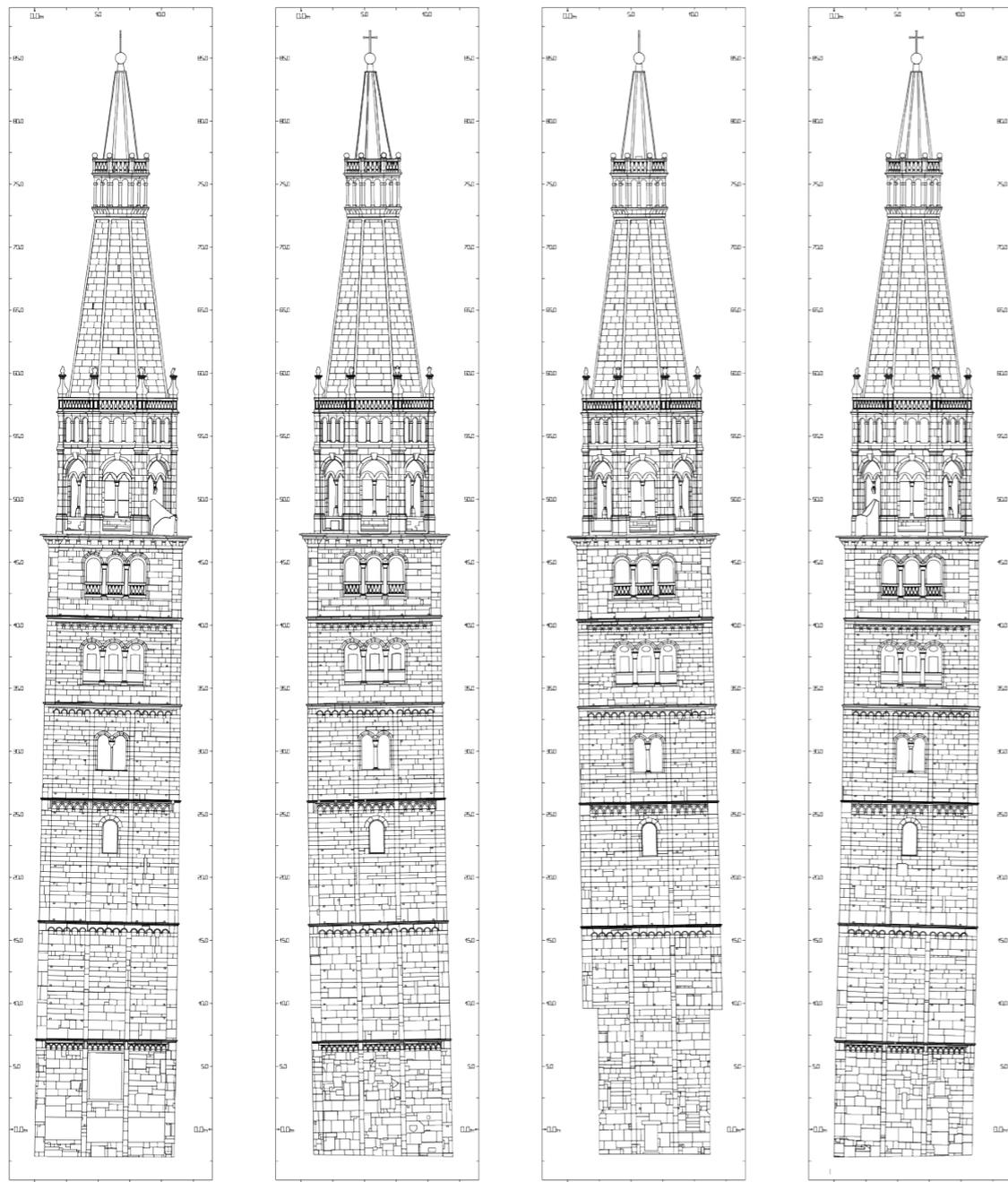
Per poter ottemperare a queste richieste il rilievo della torre è stato basato sull'utilizzo di diverse metodologie strettamente integrate fra loro. Data la complessità del manufatto, caratterizzato da una spiccata elevazione in verticale che non consentiva di raggiungere direttamente la maggior parte delle strutture, per il rilievo degli esterni si è stabilito di utilizzare prevalentemente metodi indiretti, mentre per gli interni si è optato per l'utilizzo dei tradizionali metodi di rilevamento diretto.

Al fine di legare fra di loro dati ricavati attraverso l'utilizzo di diverse metodologie si è innanzitutto provveduto a svolgere un rilievo topografico di inquadramento che ha portato alla realizzazione di una poligonale principale chiusa in grado di garantire grande precisione all'intera operazione. 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 realizzare fotogrammi a quote elevate, limitando al minimo le zone d'ombra intrinsecamente legate a questa metodologia. La fotogrammetria inoltre ha garantito un'ottima definizione dell'apparato lapideo di rivestimento, permettendo di individuare con una certa precisione ogni singolo concio e di conseguenza effettuare una esaustiva mappatura dei materiali.

Il rilievo fotogrammetrico ha permesso di realizzare, per ciascun lato, tre coppie stereoscopiche orizzontali alle quote di 2, 24 e 44 metri 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. La restituzione del rilievo fotogrammetrico ha inoltre 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.

Rilievo grafico dei prospetti su fotogrammetria



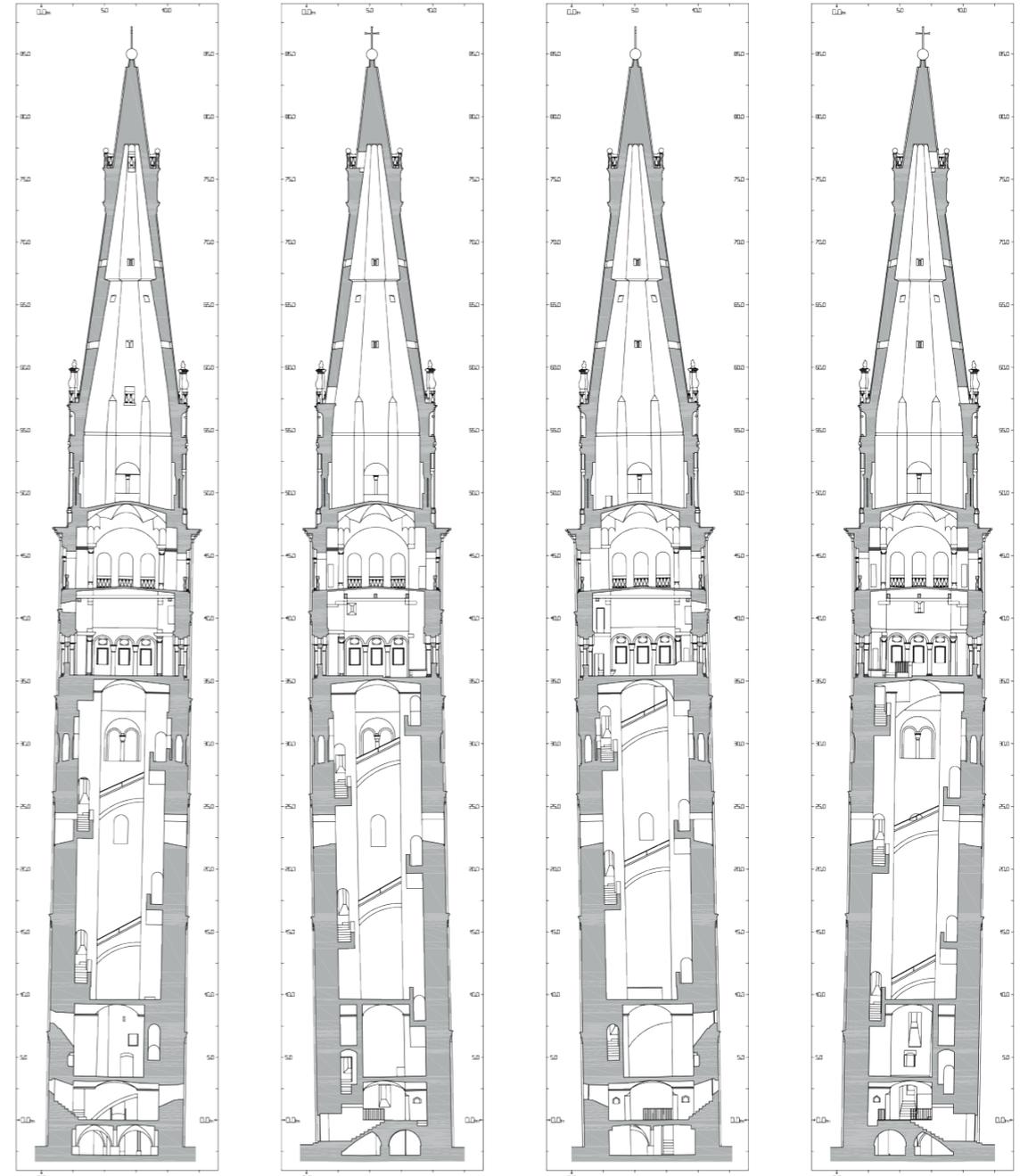
Prospetto NORD

Prospetto EST

Prospetto SUD

Prospetto OVEST

Sezioni verticali



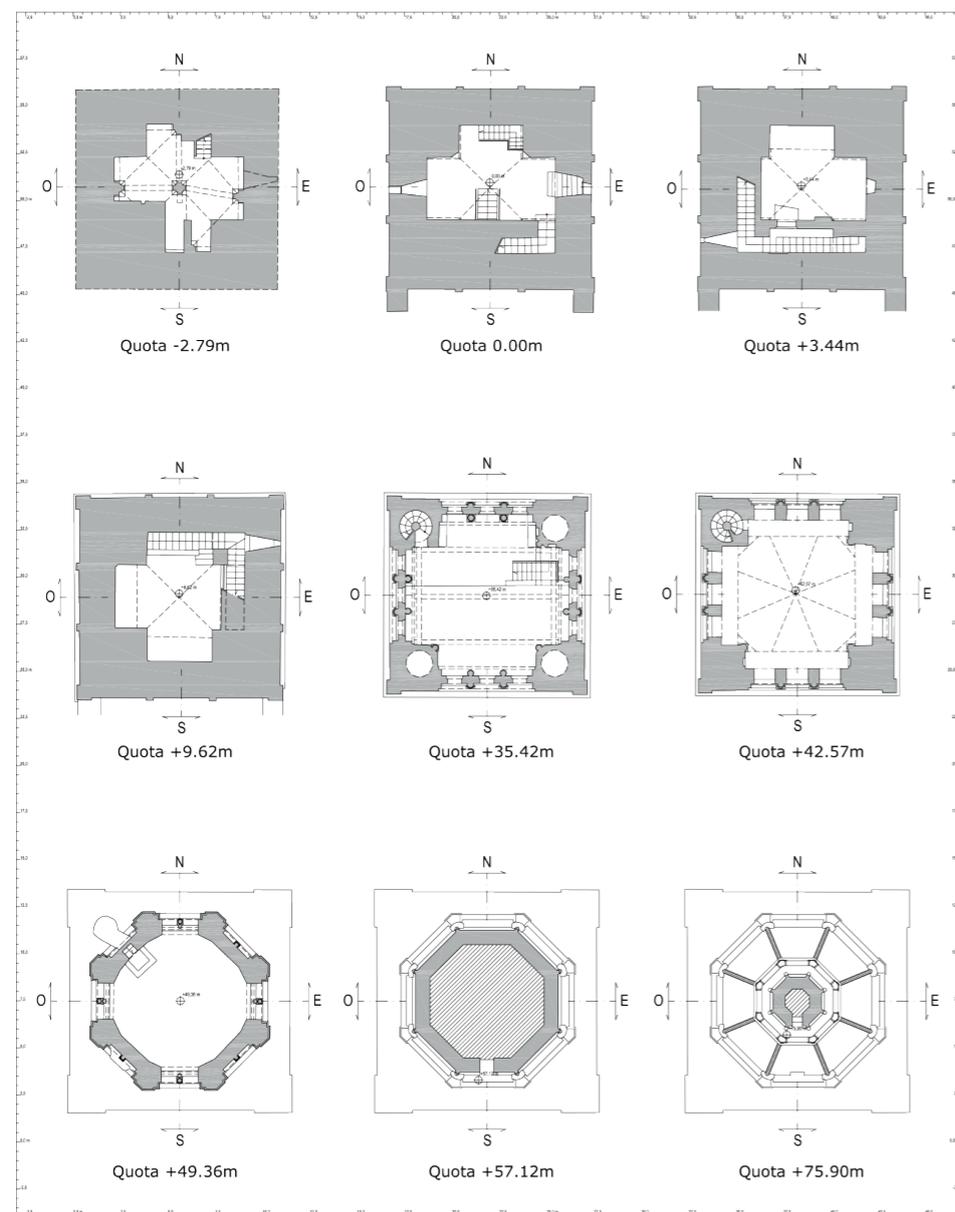
E / O Verso Sud

N / S Verso Ovest

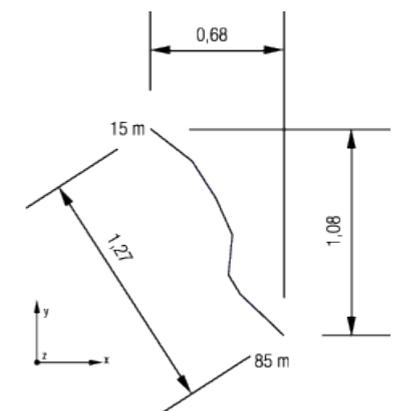
E / O Verso Nord

N / S Verso Est

Sezioni orizzontali



Altezza complessiva della torre riportata sul prospetto ovest, valore in metri dal piano di campagna.



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 metri.

RILIEVI METRICI 3D LASER SCANNING: LA TORRE E LE SCULTURE

Eleonora Bertacchini, Alessandro Capra, Cristina Castagnetti,
Riccardo Rivola, Isabella Toschi

1. Conferimento dell'aspetto fotorealistico ad un elemento angolare della Torre. La colorazione aiuta l'interpretazione dello stato di conservazione del bene al momento dell'esecuzione del rilievo.



Introduzione

L'utilizzo delle tecniche di rilievo messe a disposizione dalle discipline geomatiche si dimostra sempre più un prezioso supporto per gli interventi di valorizzazione, restauro e conservazione dell'immenso patrimonio culturale da cui è caratterizzato il nostro Paese.

Rilievo della struttura per analisi geometriche

La tecnica di rilevamento laser scanning rappresenta un efficiente metodo per la digitalizzazione e la modellazione tridimensionale di oggetti complessi, in particolar modo nell'ambito dei beni culturali per il quale rappresenta una metodologia di base per effettuare analisi geometrico – strutturali con accuratezza centimetrica, relative sia alla struttura considerata nel suo complesso, sia al comportamento di sue specifiche parti (Bertacchini *et al.*, 2011; Capra *et al.*, 2011; Castagnetti *et al.*, 2011). Il rilievo metrico strutturale della Torre Ghirlandina è stato condotto nel 2008 con una strumentazione laser scanner a tempo di volo in grado di acquisire fino a 300 m di distanza garantendo una risoluzione e un'accuratezza delle misure centimetrica. La disponibilità del modello tridimensionale della struttura ha permesso di indagare e descrivere in modo accurato le sue principali caratteristiche geometriche, consentendo anche l'analisi di particolari difficilmente rilevabili con tecniche tradizionali. In particolare, per la Torre Ghirlandina è stato possibile ricavare l'altezza della struttura (88.82 m), l'inclinazione media dell'asse baricentrico (1.04°) e il fuori piombo totale (1.54 m in direzione Sud-Ovest). Le caratteristiche geometriche dedotte hanno costituito un fondamentale supporto per le analisi condotte durante gli anni di restauro, relativamente sia all'aspetto geometrico che a quello afferente la storia costruttiva della Ghirlandina. Partendo da questi importanti presupposti, gli interventi futuri prevedono il rilievo degli ambienti interni della Torre per la realizzazione di un modello tridimensionale completo che permetterà innanzitutto di affinare la ricostruzione della curvatura dell'asse baricentrico, tenendo conto anche dello spessore dei muri e dei solai.

Rilievo dell'apparato scultoreo per musealizzazione

Contestualmente alle fasi finali degli interventi di consolidamento e valorizzazione della Torre Ghirlandina, è stato poi eseguito il rilievo metrico tridimensionale degli elementi scultorei decorativi restaurati con un sistema a scansione laser basato sul principio della triangolazione (Boehler *et al.*, 2001). Questo tipo di strumentazione consente di ottenere precisioni molto elevate (sub-millimetriche) a scapito di portate limitate (generalmente inferiori al metro) e tempi di acquisizione mediamente elevati, risultando quindi particolarmente idoneo al rilievo di soli oggetti di piccole dimensioni per i quali i dettagli sono di fondamentale importanza. Il rilievo ad altissima risoluzione ha interessato quattro diverse



2. Fase di acquisizione di un elemento dell'apparato scultoreo-decorativo della Torre con lo strumento di misura ad altissima risoluzione.



3. Elaborazione dei dati tridimensionali ad altissima risoluzione acquisiti: dalla "nuvola di punti" di partenza al modello a superfici finale.

tipologie scultoree dell'interessante e raffinato apparato decorativo esterno della Torre (Cadignani, 2009 e 2010), per un totale di 130 elementi suddivisi tra: sculture angolari (prima, seconda e terza cornice), mensole (dalla prima alla quinta cornice), bassorilievi romani (primo ordine architettonico) e capitelli di bifore e trifore (quarto e quinto ordine architettonico). La possibilità di usufruire dell'impalcatura metallica del ponteggio che "abbracciava" la Torre per i lavori di restauro ha permesso di raggiungere facilmente le altezze necessarie per il rilievo di ogni elemento scultoreo. Tuttavia, il contemporaneo svolgimento di differenti attività ha richiesto un'adeguata collaborazione tra i professionisti coinvolti e un'attenta programmazione dei lavori principalmente finalizzata alla riduzione delle vibrazioni dovute a diversi fattori, tra cui movimenti del montacarichi, spostamenti di operatori sull'impalcatura e presenza di vento. Allo scopo di ridurre il più possibile tali vibrazioni durante le attività di rilievo è stato necessario osservare alcune precauzioni al fine di consentire di raggiungere una risoluzione di restituzione finale degli elementi idonea allo scopo del lavoro (dell'ordine di grandezza di 0.1 mm).

Il risultato della fase di acquisizione di ciascun elemento scultoreo è un insieme di nuvole di punti, di numero variabile in funzione della complessità dell'oggetto da rilevare. Al termine di una prima fase di elaborazione, per ogni elemento scultoreo è stata ottenuta un'unica nuvola di punti costituita dai 400 mila agli oltre 11 milioni di punti, in funzione della complessità e dimensione dell'elemento. Allo scopo di rappresentare geometricamente ciascun elemento acquisito è stato necessario generare, a partire dalla nuvola di punti, il modello tridimensionale a superfici tramite la descrizione della superficie dell'oggetto mediante un congruo numero di superfici piane triangolari. Dopo una laboriosa e attenta fase di eliminazione delle difettologie residue, tra cui in particolare le zone d'ombra per le quali non era stato possibile acquisire il dato metrico, sono stati ottenuti gli elementi sotto forma di file numerici in un formato adatto (.stl) per essere letto dalle macchine a controllo numerico per la prototipazione rapida. Infine, per conferire un aspetto fotorealistico ad alcuni dei modelli tridimensionali generati e completare così gli stessi con informazioni di tipo radiometrico (RGB) ad integrazione di quelle geometriche, è stato applicato un tessuto (texture) prelevato da immagini fotografiche ad alta risoluzione acquisite contestualmente al rilievo.

Grazie al rilievo 3D ad altissima risoluzione è stato creato un importante archivio metrico digitale dell'apparato scultoreo decorativo della Torre, facilmente fruibile, che pone le basi per interessanti studi ed utilizzi futuri a scopo di musealizzazione, ricerca e didattica. Oltre alla riproduzione materica non invasiva, i dati metrici raccolti potranno essere utilizzati per lo studio approfondito degli elementi acquisiti (analisi del degrado, delle tecniche

costruttive, delle caratteristiche materiche, radiometriche e geometriche ecc.), oltre alla ricostruzione virtuale delle loro parti mancanti e/o rovinate.

L'archivio metrico digitale è stato recentemente sfruttato per quantificare il danneggiamento subito dalla scultura della prima cornice marcapiano, a nove metri da terra, sul lato Ovest e raffigurante "Sansone che smascella il leone". La scultura si è spezzata in diagonale a causa degli eventi sismici che hanno colpito la pianura emiliana nel maggio 2012. Il movimento di slittamento dovuto al terremoto ha fatto battere le staffe metalliche che fermano la scultura sul contrafforte di collegamento tra Ghirlandina e Duomo. Sebbene dalle prime verifiche effettuate il danneggiamento apparisse limitato alla parte piana del blocco sulla quale è scolpita la scultura, la frattura ha coinvolto successivamente anche la parte plastica in rilievo. Per l'aggravarsi delle condizioni di conservazione della scultura è stato deciso di ripetere il rilievo tridimensionale ad altissima risoluzione a maggio 2014. La ripetizione del rilievo a distanza di oltre due anni dal precedente (settembre 2011) ha permesso il confronto metrico tra i due modelli digitali della scultura, garantendo la quantificazione con precisione sub-millimetrica dell'entità del danneggiamento subito dalla scultura a causa del sisma.

In vista della generazione futura di un ambiente virtuale tridimensionale e fotorealistico dell'intero complesso monumentale del sito UNESCO di Modena, i modelli degli elementi scultorei sono stati georeferiti nel sistema di riferimento globale in cui è inquadrato l'intero rilievo della Torre Ghirlandina. Con questo obiettivo è stata recentemente eseguita la medesima tipologia di rilievo ad alta risoluzione del ricco apparato scultoreo del Duomo, del quale è stato precedentemente acquisito il modello tridimensionale complessivo.



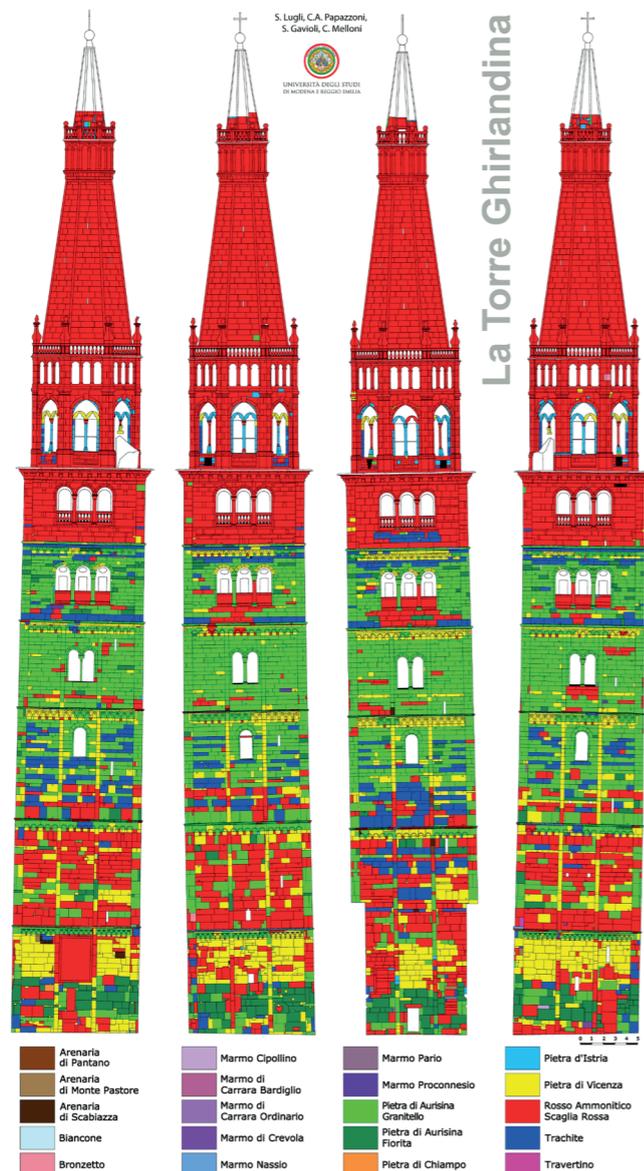
4. Modello tridimensionale della Torre Ghirlandina utilizzato per l'analisi e lo studio delle principali caratteristiche geometriche della struttura. Sul modello geometrico della struttura sono state riproiettate immagini fotografiche bidimensionali per conferirne un aspetto fotorealistico.

LE PIETRE, LE MALTE E IL DEGRADO DELLA TORRE GHIRLANDINA

Stefano Lugli, Cesare Andrea Papazzoni

Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia

1. Mappa delle diverse varietà di pietre ornamentali identificate sul paramento della Ghirlandina.



Introduzione

La Torre è rivestita da ben ventuno varietà di pietre diverse, alcune provenienti da paesi lontani, persino dalla Turchia (figg. 1 e 2).

Attraverso lo studio degli scavi archeologici sappiamo che la maggior parte di queste pietre furono utilizzate soltanto nell'antichità dai Romani e furono trasportate per centinaia e migliaia di chilometri per abbellire i monumenti di Mutina (Modena). Durante il medioevo molti monumenti romani, ormai quasi completamente sepolti dai sedimenti fluviali della pianura, furono demoliti per recuperare le pietre e rivestire il nucleo in laterizi della torre e del Duomo.

Soltanto nelle fasi finali della costruzione della torre si smise di scavare alla ricerca delle pietre antiche e si cominciò a importare pietre di nuova cavatura dal veronese.

Anche le tecniche di preparazione delle malte usate per legare tra di loro mattoni e pietre sono cambiate nel tempo e, insieme alla disposizione delle pietre nel rivestimento, ci rivelano l'affascinante storia delle fasi costruttive della Torre che si protrasse per oltre 200 anni, dal 1099 al 1319.

LE ROCCE

I circa 10.000 elementi (conci) del paramento lapideo della Torre sono costituiti da ventuno tipi di rocce diverse, rappresentate da numerose varietà. In ordine di abbondanza: Rosso Ammonitico e Scaglia rossa dal veronese, pietra di Aurisina dal triestino (Aurisina fiorita e granitello), pietra di Vicenza dai Colli Berici (provincia di Vicenza), trachite dai Colli Euganei (Padova) e, in quantità nettamente inferiore, pietra d'Istria (dalla Croazia), marmi (proconnesio dall'isola di Marmara in Turchia, cipollino, pario e nassio dalla Grecia e Crevola dalle Alpi), arenaria appenninica (di Pantano, di Scabiazza e di Monte Pastore) e, posti in opera durante i restauri del secolo scorso marmo bardiglio e ordinario di Carrara, bronzetto dal veronese, pietra di Chiampo dal vicentino, biancone dal veronese e travertino laziale (Fig. 2). Descriviamo brevemente le varietà più comuni e quelle che presentano fossili riconoscibili osservando le lastre ai piedi della torre.

Rosso Ammonitico

Il Rosso Ammonitico è una roccia calcarea nodulare a grana fine di colore bianco-giallastro, rosa o rosso cupo, proveniente dal veronese e risalente al Giurassico medio-superiore (174-145 milioni di anni fa). I fossili caratteristici sono le ammoniti, molluschi cefalopodi, estinti alla fine del Cretaceo (66 milioni di anni fa), imparentati con l'attuale

Nautilus. La conchiglia delle ammoniti aveva una forma a spirale, evidente sui numerosi esemplari, di dimensioni anche decimetriche, esposti sul paramento della torre.

Pietra di Aurisina

La pietra di Aurisina è un calcare (Cretaceo superiore, 100-66 milioni di anni fa) proveniente dai dintorni di Trieste. La caratteristica principale di questa pietra ornamentale è il contenuto in fossili di rudiste, un particolare tipo di bivalvi estinti alla fine del Cretaceo (66 milioni di anni fa) che aveva sviluppato una valva conica, più o meno allungata, mentre l'altra fungeva da "coperchio" per proteggere il mollusco. La varietà che contiene i gusci interi di rudiste è chiamata "fiorita" e nella torre le sezioni di questi gusci sono di forma circolare o a V a seconda dell'orientazione del taglio della lastra.

Pietra di Vicenza

La pietra di Vicenza è una roccia calcarea dell'Eocene inferiore – Oligocene inferiore (56-28

milioni di anni fa) provenienti dai Colli Berici nel vicentino di colore bianco o giallo chiaro. I fossili più caratteristici sono i nummuliti, organismi unicellulari, oggi estinti, con guscio calcareo di forma simile a una lenticchia di alcuni millimetri (fino ad alcuni centimetri) di dimensione. Sono frequenti anche noduli algali centimetrici di colore bianco, gusci di bivalvi (come le ostree), frammenti di ricci di mare, coralli e colonie di briozoi ramificati.

Trachite

La trachite è l'unica roccia vulcanica presente nella torre. Proviene dai colli Euganei in provincia di Padova, ha età oligocenica (32 milioni di anni fa) e si riconosce per il colore grigio scuro.

La roccia presenta una struttura porfirica costituita da cristalli visibili a occhio nudo di anortoclasio, plagioclasio (di colore bianco), biotite (di colore nero).

LE MALTE

L'analisi composizionale delle malte e degli intonaci permette di ottenere informazioni sulle tecniche di preparazione e sulla loro evoluzione nel tempo, consentendo la datazione indiretta delle fasi costruttive. Attraverso le analisi è stato possibile individuare le fonti di approvvigionamento delle materie prime (pietra da calce e sabbia) fornendo indicazioni indispensabili per la preparazione di malte e intonaci impiegati per i restauri.

L'approvvigionamento della pietra da calce che veniva cotta nelle fornaci per produrre la calce era assicurato dalla raccolta di ciottoli calcarei dei corsi d'acqua modenesi.

Le analisi petrografiche hanno dimostrato che la sabbia che veniva miscelata alla calce per produrre le malte fu prelevata da corsi d'acqua diversi nel corso dei secoli. Nelle fasi costruttive più antiche furono utilizzate prevalentemente sabbie dei corsi d'acqua minori, come i torrenti Cerca e Grizzaga, e successivamente anche sabbie dei fiumi Secchia e Panaro.

IL DEGRADO

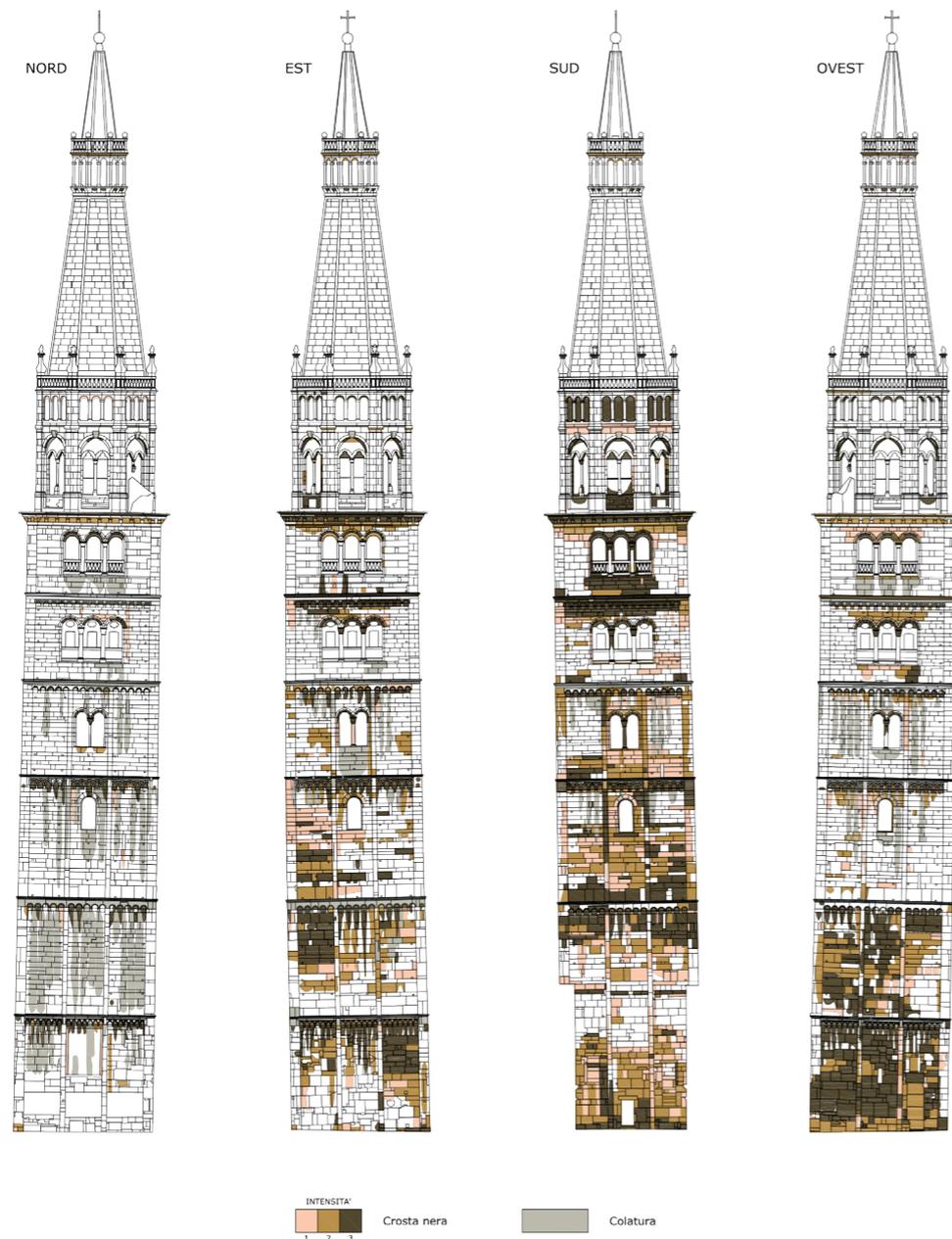
I lavori di mappatura avevano evidenziato il forte stato di compromissione di numerosi conci, e la vastità delle aree interessate dai fenomeni di degrado. Alcuni dei fenomeni sono legati all'inquinamento atmosferico, altri alle caratteristiche naturali delle pietre e dal fatto che molte di esse erano rimaste sepolte sotto il livello di falda per secoli. La presenza di ventuno varietà di pietre diverse sistemate in modo non omogeneo nel paramento della torre, ciascuna con le proprie problematiche di alterazione, ha determinato uno sviluppo complesso delle tipologie di degrado. I fenomeni di degrado più importanti sui quali si è intervenuti con il restauro sono:

colatura (depositi di eiezioni di volatili e da altri detriti di consistenza terrosa colati lungo le



2. Aree geografiche di provenienza dei diversi litotipi utilizzati per il paramento della Torre Ghirlandina. Le frecce tratteggiate mostrano le provenienze dei litotipi da luoghi al di fuori della carta. Le pietre ornamentali indicate in corsivo sottolineato sono state poste in opera durante i restauri del XX secolo e non erano presenti in origine sulla torre.

3. Mappa che illustra l'estensione e l'intensità relativa (minimo 1 e massimo 3) della croste nere e le colature sul paramento della torre prima del restauro.

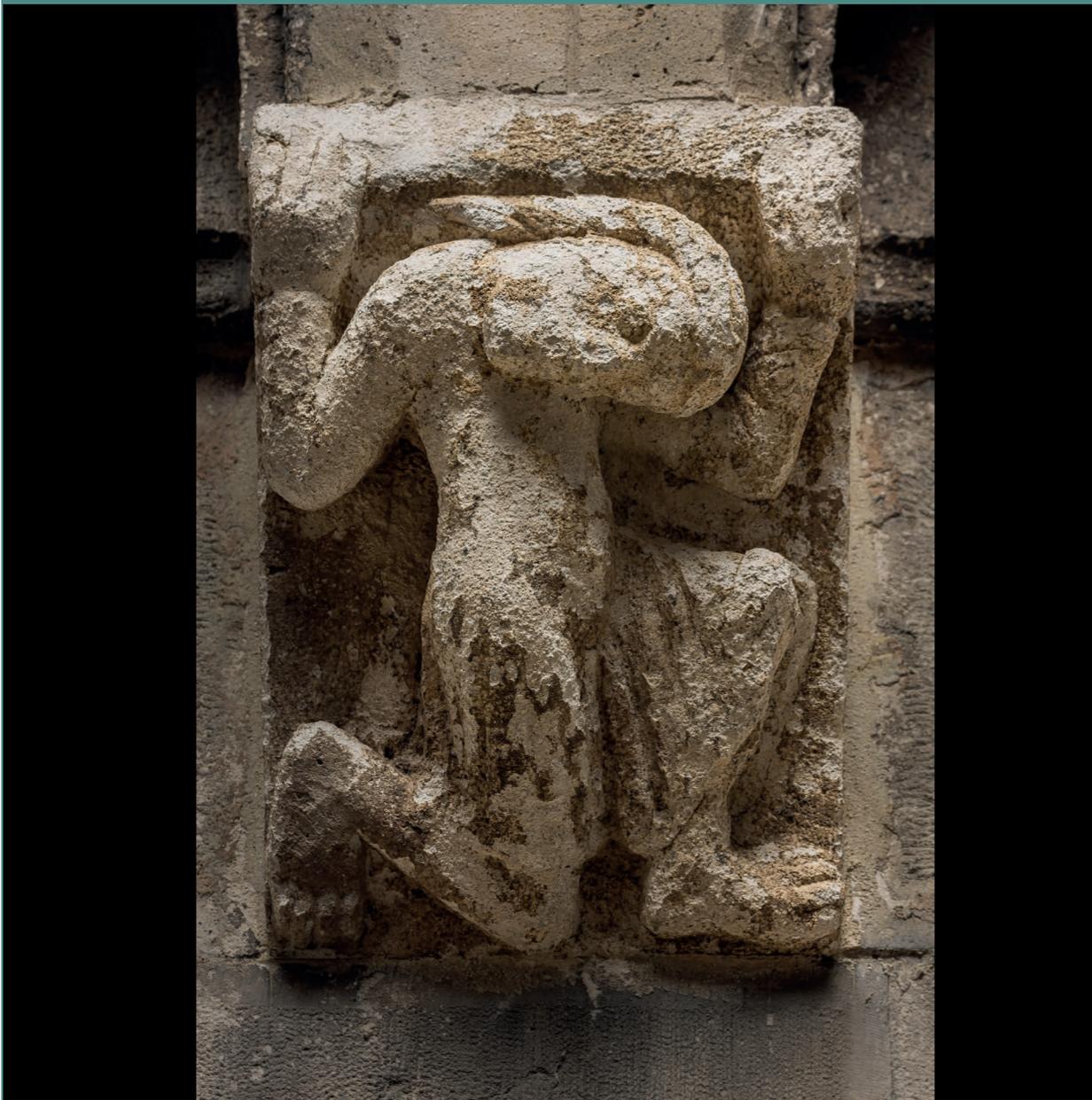


pareti verticali a opera delle acque meteoriche), colonizzazione biologica (alghe, funghi, licheni, muschi, piante superiori che erano presenti prevalentemente sul lato nord della torre), crosta nera (strato superficiale di alterazione costituito da particelle sia antropiche di natura carboniosa, sia naturali presenti nell'atmosfera, intrappolate dalla crescita di cristalli di gesso nelle zone protette dal dilavamento delle acque meteoriche), degradazione differenziale (fenomeno tipico dei calcari nodulari, come il Rosso Ammonitico e la Scaglia rossa che per dilavamento provoca il distacco di noduli di pietra), disgregazione (perdita di coesione delle rocce granulari come le arenarie e la pietra di Vicenza), esfoliazione (distacco e caduta di uno o più strati superficiali paralleli alla superficie dei conci tipico di trachite, pietra di Vicenza e arenarie), fratturazione (lesioni legate alla pendenza della Torre e fenomeni locali di schiacciamento tra blocchi sovrapposti), macchia (prodotta dalla alterazione di elementi metallici), mancanza (lacune legate a distacco di frammenti), patina biologica (strato superficiale costituito da microrganismi), scagliatura (fessure naturali delle rocce), stuccature in resina e sostituzioni (interventi dei restauri del 1973).

LA STRUTTURA

Carlo Blasi, Eva Coisson

Mensola raffigurante un telamone dopo il restauro con tecnica laser, lato nord.



La costruzione della Ghirlandina è avvenuta nell'arco di vari secoli, secondo una cronologia non completamente chiarita e che lo studio delle strutture può contribuire a comprendere.

A ognuna delle fasi costruttive, infatti, corrisponde una forma che si differenzia in modo evidente dalle altre e che deriva in parte dalle scelte operate in fase costruttiva, in parte dalle deformazioni subite nel corso del tempo.

Dal punto di vista della stabilità strutturale della torre, un elemento di particolare importanza sono le fondazioni. Quelle della Ghirlandina, sorprendentemente, non sono molto profonde: oggi arrivano solo a una profondità di circa cinque metri, ma considerato che due sono di sprofondamento, la torre aveva una fondazione interrata di poco più di tre metri, posta a un livello poco superiore a quello della via Emilia romana: poggiava quindi su un terreno già alterato dall'uomo, anche se ricoperto da successive alluvioni. Ciò che desta particolare sorpresa, per una torre di tale dimensioni in zona alluvionale, è che non sia stata nemmeno realizzata sopra una palificata di sottofondazione, cioè su una serie di pali di legno infissi nel terreno per aumentarne la resistenza, come si era fatto invece in molte torri simili di epoca romana e bizantina su terreni di modesta consistenza. Le fondazioni si allargano anche poco rispetto alle dimensioni di base della torre, per cui oggi possiamo facilmente constatare che lo sforzo cui è sottoposto il terreno è decisamente superiore a quello sopportabile e non ci si può meravigliare dei problemi che hanno interessato la torre fino dalla costruzione dei primi piani; eppure le murature della parte bassa sono possenti e fanno pensare alla volontà, fin dall'inizio, di realizzare una costruzione molto alta.

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. I due successivi segmenti, del XII e del XIII secolo, 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, a pianta ottagonale e interamente vuota all'interno, tenuta insieme da una serie di barre metalliche a raggiera, completata all'inizio del XIV secolo. La torre termina con l'ulteriore sopraelevazione della guglia della fine del XVI secolo.

La struttura è internamente in muratura di mattoni, di buona qualità, uniforme e ben realizzata, rivestita all'esterno con lastre in pietra di vario spessore e di varia tipologia: in

alcune zone le lastre sono completamente staccate dal supporto, con intercapedini anche di qualche centimetro, in altre, come nella guglia, sono ancorate con staffe metalliche.

Il quadro fessurativo principale è caratterizzato da lesioni a prevalente andamento verticale soprattutto tra i 30 e i 50 m di quota: si tratta di una tipologia di danno ricorrente nelle torri 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.

Le lesioni però non sono certo il dissesto più evidente che interessa la Ghirlandina: anche lo sguardo meno esperto può notare la sua deformazione, accompagnata da una marcata inclinazione. Per comprendere meglio lo stato della torre e quantificare le sue deformazioni è necessario partire da un rilievo preciso. Le informazioni che si possono cogliere da un'attenta analisi del rilievo geometrico della torre sono infatti molte, 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 proceduto, a ogni ripresa dei lavori, talvolta dopo secoli, a costruire le nuove opere in verticale, anche se la base si era nel frattempo inclinata. Il risultato è la presenza di torri con andamento che volgarmente potremo chiamare "a banana": un vero gioco d'equilibrio.

La complessa storia della costruzione della torre si rispecchia pertanto nelle sue inclinazioni, 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 FOART (cfr. capitolo sui rilievi). Il primo interessante aspetto che si coglie analizzando queste misure è il diverso andamento dell'inclinazione della torre nelle due direzioni principali di pendenza, ovvero il sud (verso il Duomo) e l'ovest (verso la sacrestia). Se si esclude la parte della piramide ottagonale, che è stata costruita in epoca molto successiva e ha subito numerosi interventi di rimaneggiamento, 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.

Cosa può aver influenzato la modifica dell'orientamento del dissesto della torre? Perché a un certo punto ha iniziato a inclinarsi verso ovest? Per dare risposta a queste domande è necessario ripercorrere non solo la storia della torre in sé, ma anche di tutti gli edifici che la circondano.

Inizialmente, sul lato meridionale, la costruzione della Cattedrale può avere innescato le prime rotazioni verso sud della torre e a sua volta lo sprofondamento della torre ha trascinato e dissestato la Cattedrale, creando l'evidente convergenza degli strapiombi tra i due edifici. Successivamente, dalla costruzione degli arconi nel 1338, il fenomeno in direzione sud si è sensibilmente ridotto e le condizioni al contorno non hanno più subito modifiche. Sul lato occidentale, invece, proprio da allora vi sono stati maggiori mutamenti: la prima piccola sacrestia già esistente nel 1338, fu ampliata e sopraelevata nel 1476, in aderenza al lato settentrionale della cattedrale, creando certamente nuovi assestamenti del terreno su questo lato. Alla fine dell'ottocento, poi, la parete nord del Duomo fu liberata, con parziale demolizione 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.

Da questo rapido quadro riassuntivo si può capire quanto sia sensibile la torre a ogni alterazione del contesto, a causa della congenita debolezza delle fondazioni.

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 tra la fine del XIX e l'inizio del XX secolo, dati molto utili per il confronto con la situazione attuale.

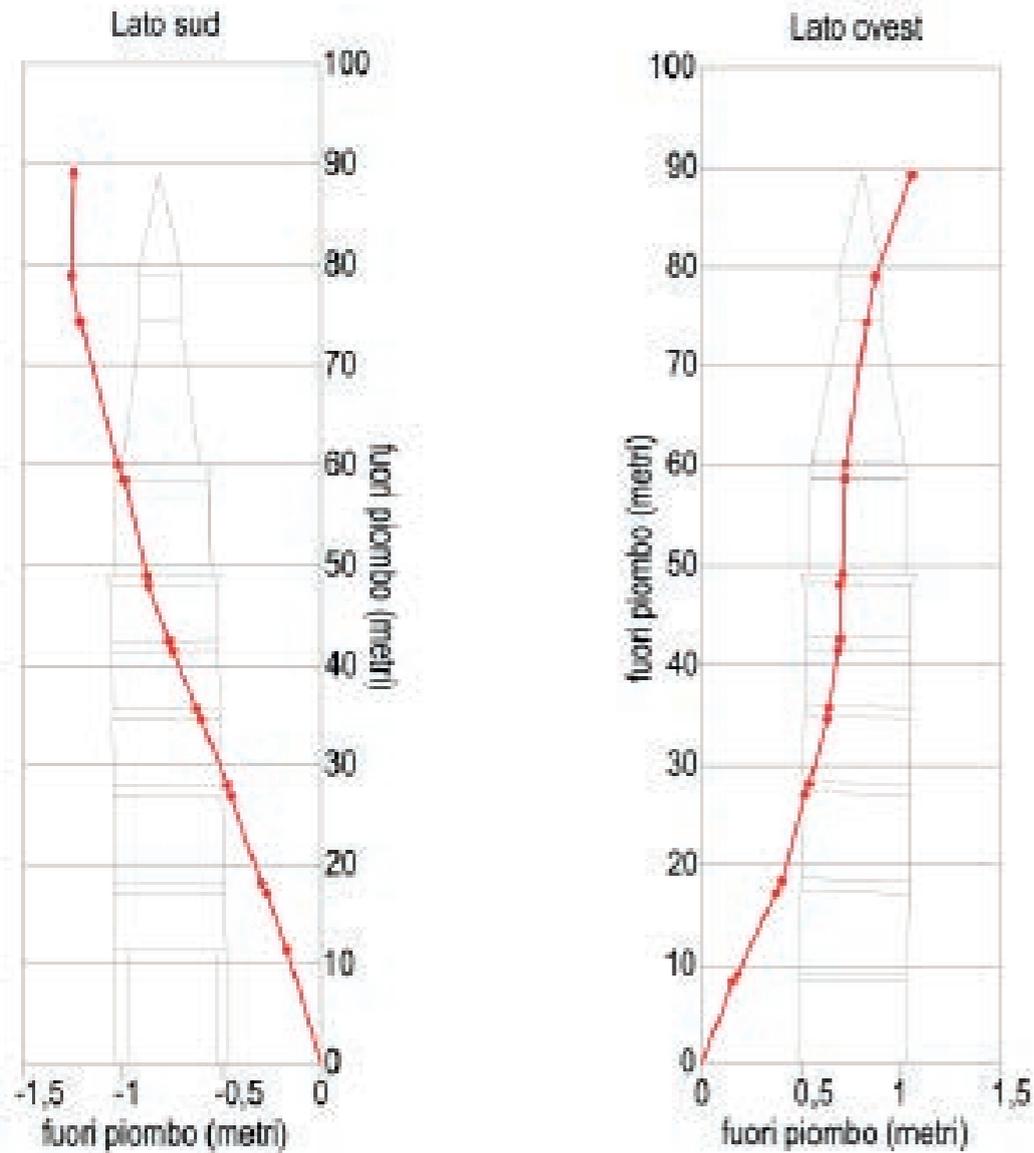
Il rilievo del dissesto fu affrontato per la prima volta in modo scientifico nel 1898 dall'ingegner Eugenio Marchi dell'Ufficio Tecnico Comunale: calando un filo a piombo dal centro della base interna della guglia, misurò la posizione del centro degli ambienti interni ai vari livelli.

Nel 1901 il rilievo si estese al paramento esterno (solo fino al sesto piano) e i lavori furono commissionati all'ing. Francesco Cavani, professore di geometria pratica all'Università di Bologna. I rilievi topografici stabilirono che l'asse era inclinato in direzione sud-ovest con una pendenza pari al 2,16%, e uno strapiombo di m 1,05 su un'altezza di m 48,80.

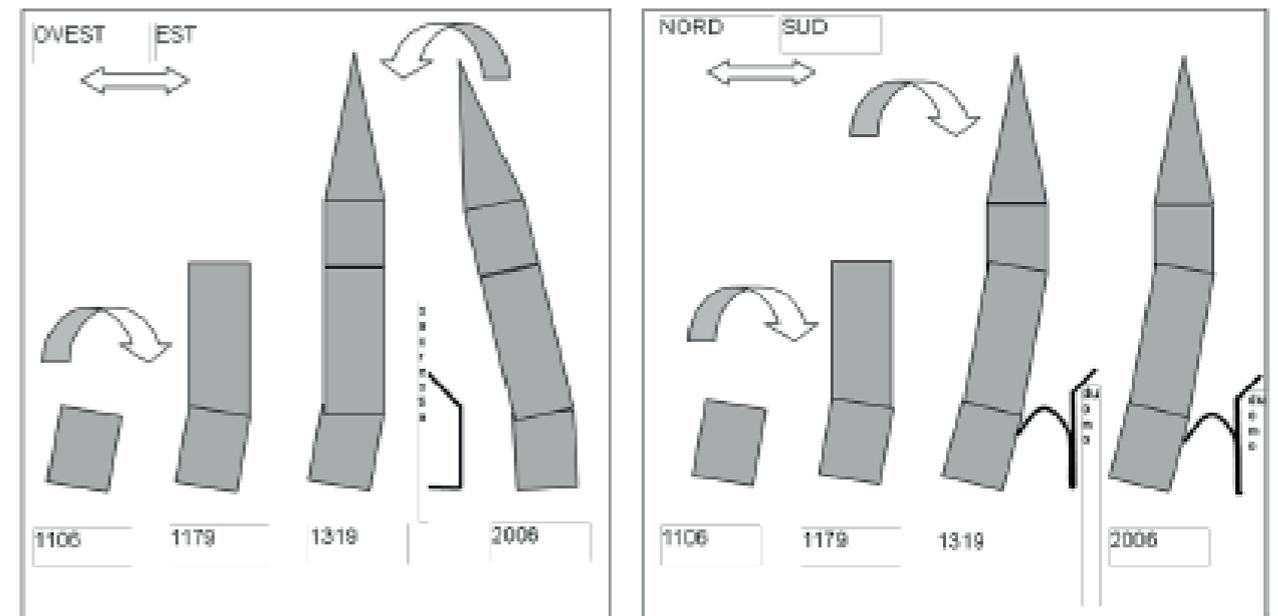
Il confronto con i dati attuali mostra come lo strapiombo dell'asse al sesto piano sia aumentato in un secolo di 13 cm, dato di poco superiore all'incremento medio al secolo

dalla data di costruzione a oggi; in realtà bisogna tenere conto che i cedimenti del terreno in questo caso non sembra avvenire. Il sistema di monitoraggio automatico costituisce pertanto un elemento fondamentale di conoscenza e controllo per i prossimi anni.

Mappa che illustra l'estensione e l'intensità relativa (minimo 1 e massimo 3) della croste nere e le colature sul paramento della torre prima del restauro.



Ipotesi dell'evoluzione dei dissesti in funzione delle fasi di costruzione.

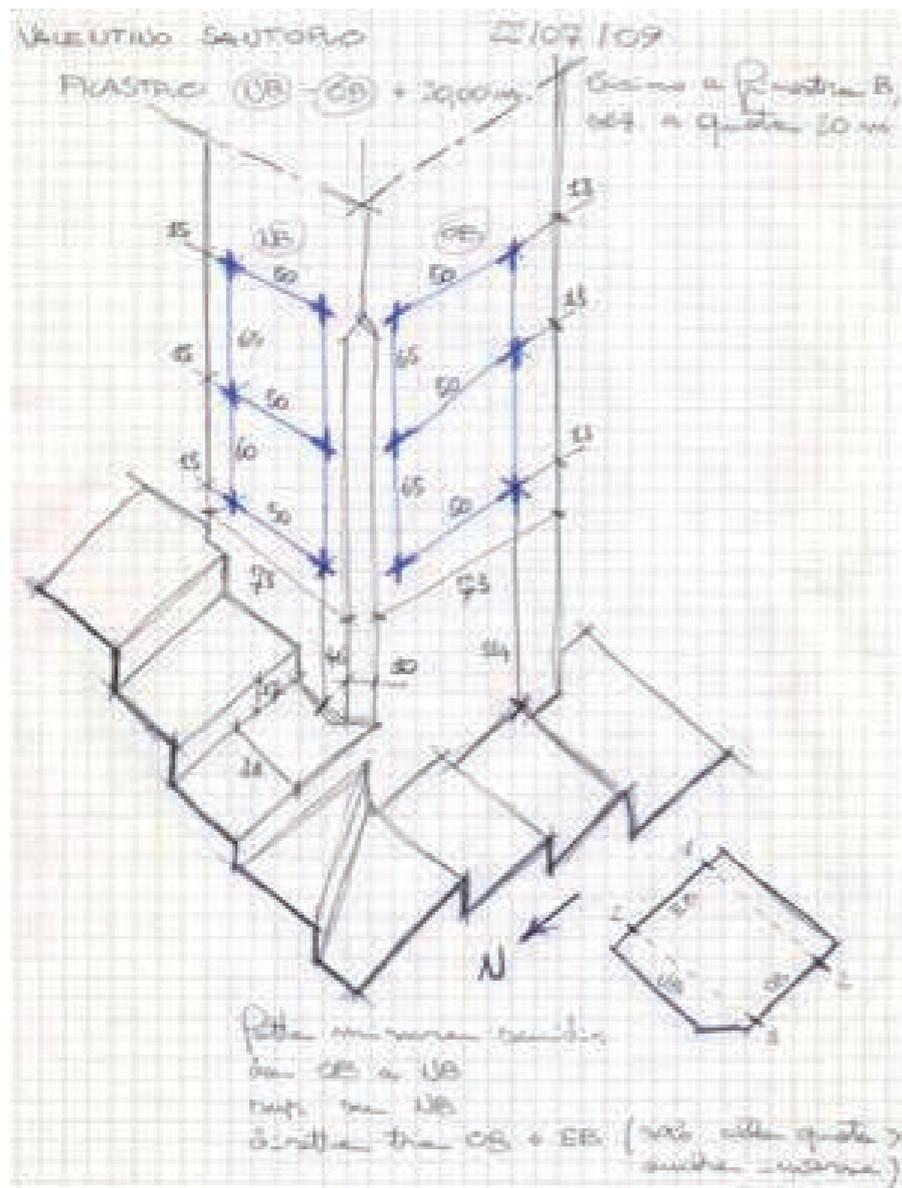


TORRE GHIRLANDINA: CARATTERIZZAZIONE DELLE MURATURE, INDAGINI STATICHE E DINAMICHE

Angelo Di Tommaso, Camilla Colla

Dipartimento DICAM, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna
con Chiara Ciantelli, Andrea Crinelli, Francesco Ercolani, Francesco Focacci, Elena Gabrielli,
Ana Juez Fernandez, Federica Romaro, Valentino Santoro

1. Schizzo di un pilastro con griglia di misura in preparazione alle acquisizioni di dati sonici.



L'analisi del comportamento statico della torre ha valutato l'omogeneità delle sue murature (laterizio e paramento lapideo esterno) e stimato la resistenza dei materiali attraverso indagini non distruttive e micro-distruttive in sito e prove meccaniche su campioni.

La campagna sperimentale del DICAM dell'Università di Bologna, tra giugno 2009 e marzo 2010, ha previsto estese prove soniche non distruttive sulla muratura a varie quote e limitati carotaggi prelevando campioni di laterizio e di malta per prove in laboratorio. Nelle indagini soniche una porzione di muratura è sollecitata da un martello strumentato che genera onde elastiche (segnali sonici) che si propagano nel materiale e sono rilevate da un ricevitore (accelerometro) che ne registra le vibrazioni in superficie (fig. 5). Per ogni percorso di misura è registrata una coppia di forme d'onda: il segnale generato dal martello e quello ricevuto dopo la propagazione nel materiale. L'analisi dei dati consiste nel calcolo della velocità di propagazione dell'onda, misurando il tempo impiegato dall'impulso per coprire la distanza fra le stazioni di emissione e di ricezione del segnale. A seconda della posizione relativa tra martello e ricevitore sulla superficie della muratura, le indagini soniche si distinguono in diverse modalità: trasmissione diretta (i punti di emissione e di ricezione del segnale sono direttamente contrapposti su superfici opposte del muro), superficiale (martello e ricevitore sono posti sulla stessa superficie) o semidiretta (punti appartenenti a facce adiacenti o opposte, figg. 3 e 4). La valutazione delle strutture murarie così compiuta consente di qualificare la muratura dal confronto tra i risultati conseguiti e la morfologia della sezione studiata e di individuare possibili vuoti, difetti, fessure e degradi. Sono così identificati, conoscendo le fasi costruttive della torre e i materiali impiegati, lotti omogenei di muratura in cui valutare le caratteristiche meccaniche. Le posizioni di prova sono individuate a seguito di ispezioni visuali in funzione dell'accessibilità, della presenza di intonaco o affreschi, di buche puntaie e feritoie utili al passaggio dei cavi degli strumenti. Per ciascun ambiente della torre, stabilite le pareti di prova, la distribuzione delle stazioni di misura, l'ingombro e il passo delle griglie dei punti di lettura, sono segnati i punti sulla superficie dei muri (fig. 1). Sono state eseguite prove lungo l'altezza della torre, fino alla quota di circa 76 m dal piano campagna, acquisendo oltre 1500 singole misure, distribuite in circa 160 posizioni, documentando in disegni tecnici, schizzi di dettaglio, fotografie. I risultati, raccolti in tabelle e grafici, suddivisi per tipo di prova e per quota (fig. 11), sono stati poi visualizzati come valori medi sui prospetti e sezioni della torre con colori diversi (fig. 10). Per la caratterizzazione meccanica dei materiali, in base ai valori misurati di velocità dei segnali sonici sono state scelte posizioni di prelievo di campioni di materiale, a tre quote della torre - 30 m, 10 m e piano interrato - estraendo microcarote di diametro 45 mm

(figg. 6 e 7). In laboratorio, dalle carote sono stati ricavati provini cilindrici di laterizio e lastre di malta (figg. 8 e 9). Dai valori medi della resistenza a compressione dei materiali costituenti (f_b : laterizio, f_m : malta), Tabella 1, è stata stimata dalle Norme Tecniche per le Costruzioni per murature di nuova costruzione la resistenza a compressione della muratura, adottando poi la correlazione di Ekblad per murature con giunti in malta di calce. Il valore medio calcolato di 3,02 N/mm² è in linea con quelli di riferimento (Allegato 11D dell'Ordinanza 3431, 2005). L'informazione ottenuta è utile per una caratterizzazione del materiale ai fini delle verifiche strutturali.

Tabella 1. Valori della resistenza a compressione ricavati per i singoli materiali murari.

Posizione	f_b [N/mm ²]	f_m [N/mm ²]
Quota 30 m	9,36	4,39
Quota 10 m	13,04	4,54
Interrato, parete SB	11,02	4,49
Interrato, parete OA	7,98	4,88
Media nell'interrato	9,51	4,68
Media complessiva	10,18	4,60

Le indagini statiche che sono state eseguite si fondano su analisi FEM (Finite Element Method /metodo agli elementi finiti) con cui si ottiene la distribuzione delle tensioni lungo il fusto della torre. Come dati di input sono stati utilizzati quelli desunti dalla campagna sperimentale di prove non distruttive e micro-distruttive precedentemente descritte ed eseguite ad hoc con le quali si sono valutate grandezze medie riferibili al materiale del modello omogeneizzato. Inoltre, si è tenuto conto dell'inclinazione della torre che induce un incremento di sforzo sul lato sotto pendenza. La verifica delle pressioni di contatto con il terreno ha rappresentato un importante elemento di giudizio per la statica della torre. Alcuni provvedimenti locali di rinforzo poi hanno permesso di ridurre alcune vulnerabilità e migliorare il comportamento globale della struttura sotto azioni sismiche.

Le prove dinamiche condotte sono dette "ambientali" nel senso che rilevano le oscillazioni prodotte dall'ambiente circostante in cui vive la torre: il traffico e il vento producono input dinamici che generano oscillazioni che vengono registrate attraverso strumentazioni installate nel fusto della torre. La vibrazione da traffico è stata accresciuta con il passaggio predisposto di autocarri su asperità (risalti) artificiali. La strumentazione è consistita

in accelerometri i quali registrano l'accelerazione, funzione del tempo, che si verifica nel punto di installazione e in tre direzioni spaziali. Le finalità erano quelle di avere dei valori di riferimento del comportamento dinamico per la calibrazione del modello "meccanico" in cui erano stati assunti parametri locali di deformabilità.

Quindi la catena logica delle procedure è consistita nel raccogliere una serie di parametri meccanici locali attraverso prove non distruttive, valutare le loro distribuzioni lungo la struttura, costruire un modello numerico della struttura con i dati di input desunti dalle prove, confrontare poi modello numerico con i dati del modello fisico reale in fase dinamica.

Le esperienze conseguite con l'osservazione del collasso e del semplice danno delle torri isolate per i sismi recenti (Friuli 1976, Irpinia 1980, Emilia 1996, Emilia 2012) fanno ritenere che un metodo efficace di simulazione e quindi verifica sia quello che opera per macro-elementi, sottoporzioni della struttura, e loro tipici meccanismi di collasso. Ossia pensando al macro-elemento come un'unità architettonico strutturale costituente la torre e ai suoi ricorrenti e peculiari meccanismi di collasso sotto sisma, si valutano le accelerazioni in grado di attivare questi meccanismi (esse diconsi "capacità") e si confrontano con le accelerazioni attese nel sito (denominate "domanda").

Il meccanismo più pericoloso individuato prima dei lavori di restauro era quello di spacco pseudo verticale del macroelemento cuspidale. Allo scopo di contrastare questo meccanismo è stata posta in opera una "cinturazione" metallica nella parte di base della cuspidale: questo dispositivo annulla la vulnerabilità menzionata.

Un secondo meccanismo con elementi di rischio riguarda il prisma sotto la cuspidale: esso si potrebbe contrastare dando resistenza a trazione nei maschi murari con tecniche leggere utilizzando fasce di composito all'interno e/o con una "ristilatura" armata dei giunti di malta di allettamento dei mattoni, tutto sotto intonaco.

Per quanto riguarda il fusto, cioè fino a una quota di 60 m circa, la capacità resistente, valutata sul modello, non risulta inferiore a quella della domanda. Considerato però che nel modello non figurano incluse alcune debolezze locali dovute a fessurazioni pseudo verticali si è deciso di intervenire con due tecniche ad hoc. Una di queste è consistita in una cinturazione esterna con acciaio inossidabile ad alto limite elastico a livello ove le fessure erano più marcate. La seconda è una tecnica innovativa e foriera di grandi sviluppi applicativi per le murature storiche a faccia vista: essa consiste in una "ristilatura armata" dei giunti orizzontali con malte speciali e piattine di materiale composito (fibra di carbonio e matrice epossidica). Una fase della tecnica è riportata in fig. 2 ove si possono vedere i giunti alterni con l'inserimento della piattina e la malta epossidica di intasamento all'estremità, il completamento a farsi sarà con malte di calce.

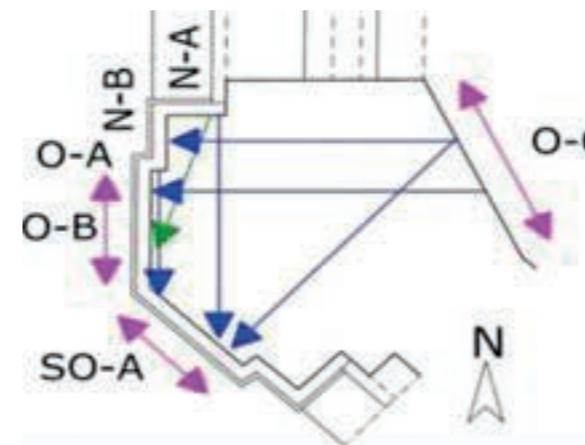


2. "Ristilatura armata" di giunti di malta alterni con materiale composito.

Resta nel fusto una vulnerabilità a livello del soffitto della cella campanaria ove le catene perimetrali non sono collegate fra loro negli angoli in corrispondenza dei bolzoni. Questi potrebbero essere collegati a coppie fra loro da elemento metallico.

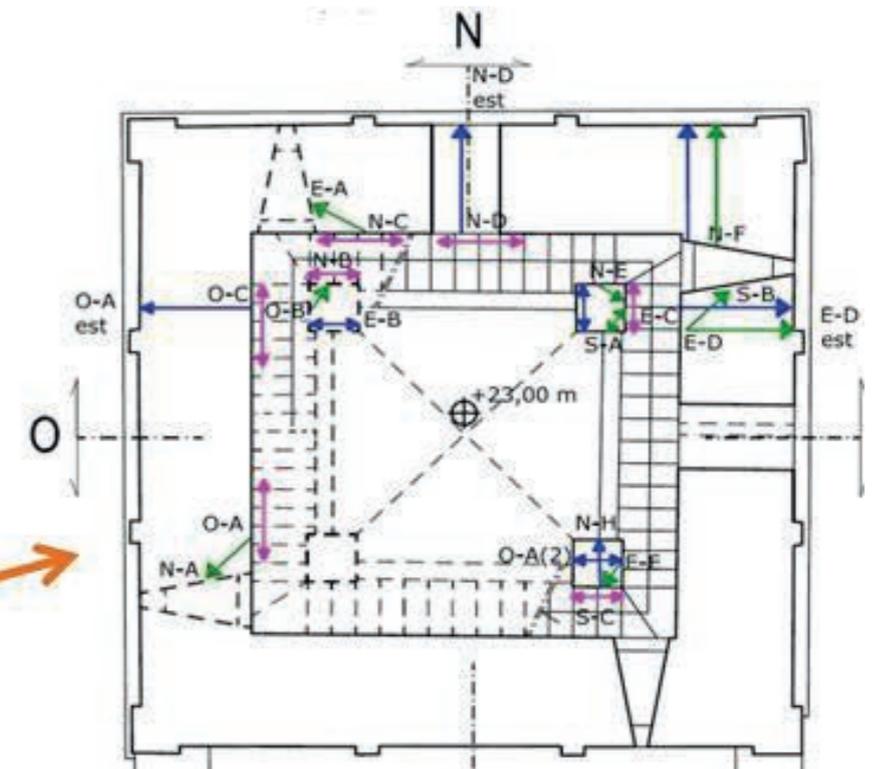
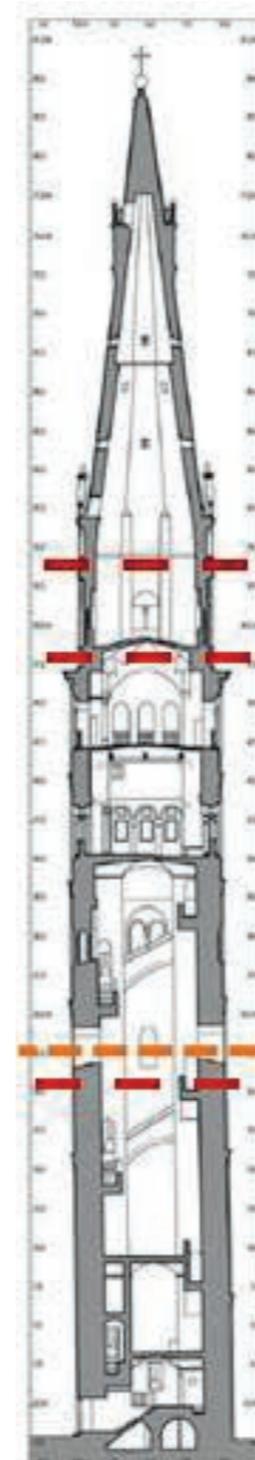
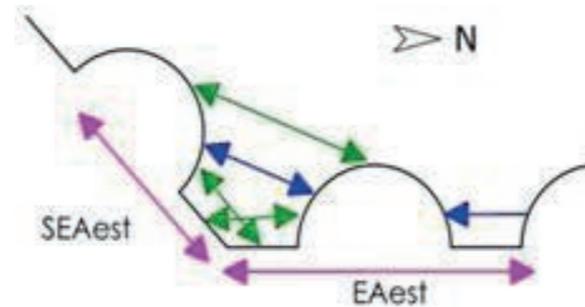
Il problema esistente della stabilità globale, in caso di sisma, non ha subito modificazioni e persiste la interazione con gli arconi che collegano la torre con la cattedrale. Tale interazione agisce in fase lenta ma ancor più in fase di oscillazione sismica (il terremoto della Garfagnana 2013 lo ha dimostrato) per cui la separazione fra arconi e torre risulta tema aperto di studio.

Pertanto allo stato attuale possiamo annotare un marcato miglioramento strutturale dopo la lunga fase di restauro ma il monumento deve essere continuamente monitorato e proseguita una attività di piccoli miglioramenti strutturali e approfondimento delle conoscenze. Le analisi dinamiche infatti continuano come pure il rilievo dei dati sulla verticalità attraverso le determinazioni col pendolo installato all'interno.



- Prove superficiali
- Prove semidirette
- Prove dirette

3. Particolari delle direzioni di misura, a due quote diverse (in alto e in basso).



4. Sezione della torre con fasi costruttive (tratteggi in rosso) e prove soniche eseguite a quota +23m.



5. Martello sonico e accelerometro.



8. Preparazione in laboratorio dei campioni di laterizio e di malta per prove meccaniche.



6. Fori di carotaggio nella muratura all'interno della torre.

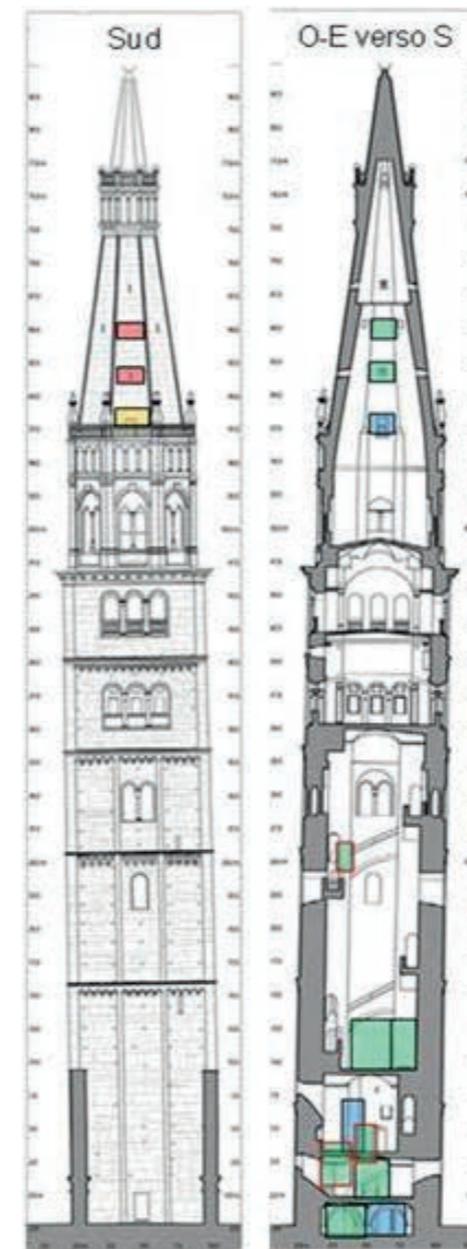


9. Esecuzione di prova di compressione su un campione di malta prelevato dalla torre.

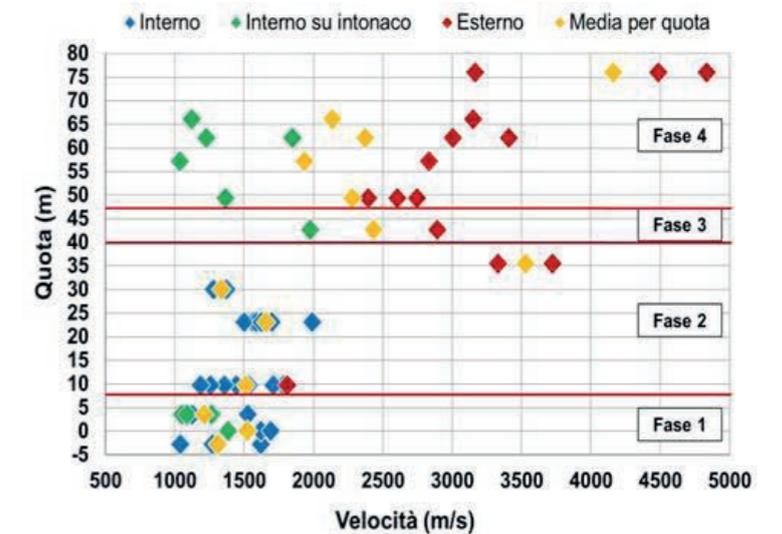


7. Campioni di laterizio estratti dalla muratura.

10. Rappresentazione delle classi di velocità sonica in prospetto e sezione.



11. Esiti delle prove soniche superficiali alle diverse quote della torre in termini di velocità di propagazione del segnale con indicazione delle fasi costruttive.



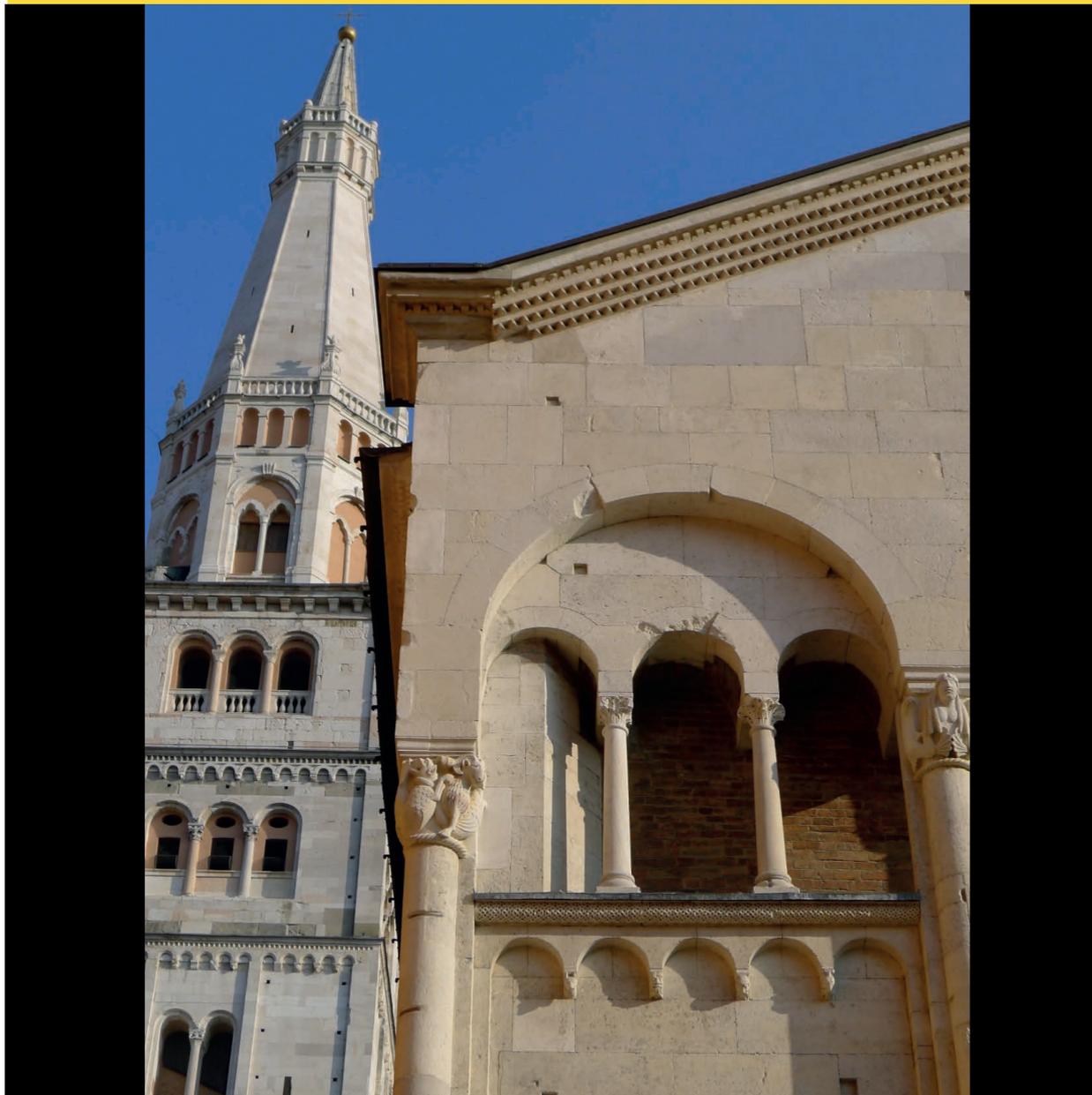
IL RUOLO DEL MONITORAGGIO E DELL'IDENTIFICAZIONE DINAMICA NELLA CONSERVAZIONE DEL COSTRUITO STORICO

Takayoshi Aoki*, Renato Lancellotta**, Donato Sabia**

*Nagoya City University (Giappone)

**Politecnico di Torino

Particolare della Torre e del Duomo dopo il restauro.



Introduzione

Le strutture monumentali a torre rappresentano un'importante parte del nostro patrimonio culturale.

Alcune di esse sono sorte come campanili, e tra gli esempi più antichi si ritrovano quelli di Ravenna, per la loro peculiare struttura e l'assetto staccato dalla chiesa. Nel X e XI secolo proliferarono le case torri (si pensi a Bologna, S. Gimignano, Firenze, Lucca, Pisa, Pavia, per citare solo alcuni dei più conosciuti esempi), rifugio delle famiglie per i pericoli che si annidavano all'interno dello stesso Comune e al tempo stesso simbolo della loro fortuna e potenza. Nel XIII secolo l'aggregato urbano vede come dominanti la torre civica del Comune e la torre campanaria della Cattedrale. E numerosissime sono naturalmente le torri di avvistamento e quelle di difesa, valga a tale proposito come esempio emblematico quello del borgo fortificato di Monteriggioni (Siena), con 14 torri in corrispondenza degli spigoli delle mura di difesa.

Tutti questi esempi, indipendentemente dalla loro motivazione originaria ma al tempo stesso proprio per la diversità di tali motivazioni, ci dicono che le torri costituiscono un'importante parte del nostro patrimonio culturale, in quanto testimonianza dell'espressione artistica e delle tecniche costruttive delle diverse epoche. Inoltre, si potrebbe ancora osservare che un'ulteriore specificità di queste strutture è la lettura che di esse andrebbe fatta in rapporto con il paesaggio circostante, tema che esula dalle finalità del presente contributo.

La conservazione delle strutture a torri, considerata la loro peculiarità, investe in maniera particolare l'aspetto statico e le problematiche riguardanti l'interazione con il terreno. La prevalenza della dimensione verticale, associata a cedimenti differenziali e a possibili variazioni della configurazione nel tempo a causa dei fenomeni viscosi del terreno, pone infatti il rischio della stabilità dell'equilibrio globale della struttura. E sempre a causa della peculiarità della forma lo stato di sollecitazione nell'apparato murario è solitamente già elevato per effetto del solo peso proprio.

Ne consegue che possibili effetti di degrado del tessuto murario nel tempo, con conseguente riduzione della resistenza della muratura, inducono sovente problemi di instabilità locale.

Si tratta di aspetti che talora sfuggono ad analisi speditive, sia perché non sempre leggibili nel corpo murario, sia per l'assenza di segni premonitori, ma che possono compromettere l'integrità fisica dell'intera torre, come è avvenuto nel 1989 con la torre civica di Pavia.

I menzionati effetti di instabilità locale possono inoltre manifestarsi in zone che presenta-

no maggiore vulnerabilità per forma, non solo quindi per minore resistenza meccanica del corpo murario, come accade in corrispondenza di aperture o in corrispondenza di riseghe interne alla canna muraria. Infine è da annoverare tra le cause di rischio la possibilità di perdita di connessione degli spigoli delle pareti. Effetti, quelli sopra menzionati, che hanno causato la perdita di numerosi campanili anche in occasione dei recenti eventi sismici in Emilia Romagna, nonostante si sia trattato di sismi di modesta magnitudo. E proprio l'aspetto della vulnerabilità nei confronti dell'azione sismica rappresenta un aspetto di primaria importanza considerata la pericolosità sismica relativamente elevata del territorio nazionale.

La necessità della conservazione non va letta quindi solo nel rispetto dell'autenticità formale del monumento; va sottolineata la necessità della salvaguardia e con essa dell'integrità storica e materica, che si esprime nel rispetto dei materiali, delle tecniche costruttive e del modo di funzionare della struttura, interrogandosi dunque da un lato sui meccanismi che di fatto ne hanno garantito fino a oggi la sopravvivenza e, dall'altro, sulle cause che nel tempo ne hanno accresciuto la vulnerabilità.

In questo contesto, risulta evidente il ruolo di un monitoraggio di lungo periodo, che ha lo scopo di identificare le cause dei movimenti, le loro eventuali accelerazioni, permettendo di distinguere quello che può definirsi un "comportamento fisiologico" da possibili anomalie o patologie.

Naturalmente, ogni possibile previsione del comportamento di una torre sotto azioni sismiche richiede che, accanto ai suddetti dati, che costituiscono premessa indispensabile alla costruzione di un "modello concettuale", si possa disporre di un "modello matematico", che tenga conto in modo quantitativo delle caratteristiche strutturali della torre e della sua interazione con il terreno.

Occorre dunque individuare queste caratteristiche e rappresentare in modo adeguato la presenza del terreno, e, nel percorrere questa strada la sperimentazione con tecniche di identificazione dinamica gioca un ruolo centrale. Tali tecniche consentono da un lato di individuare le frequenze naturali di oscillazioni della struttura, le forme modali, i fattori di smorzamento, chiarendo il ruolo dell'interazione terreno-struttura e fornendo quei parametri che permetteranno successivamente di esplorare i citati meccanismi globali di perdita dell'equilibrio. Dall'altro, soprattutto se eseguite con cadenza periodica, le modifiche dei periodi di oscillazione e dei relativi modi si dimostrano un importante strumento di controllo dello stato della torre.

Il monitoraggio della torre Ghirlandina

In precedenti contributi (Lancellotta, 2009) si è già avuto modo di descrivere le indagini

geotecniche effettuate per definire il profilo stratigrafico e la geometria della struttura di fondazione della torre Ghirlandina. A tali contributi si rimanda dunque per quanto concerne ogni approfondimento in merito, come pure per quanto riguarda il monitoraggio di medio e lungo periodo, mediante livellazioni topografiche e strumentazioni, tipo pendolo e assestimetri profondi (Blasi et al., 2009). Ci si limita così a ricordare, con riferimento alla figura 1, che sintetizza i risultati di queste indagini, che la fondazione della torre è una fondazione quadrata, internamente cava che deborda di poco rispetto al paramento esterno del fusto. È stata realizzata come fondazione diretta, ossia in assenza di pali, su un terreno costituito per i primi 21-22 metri da argille limose grigio-azzurre inorganiche di media e elevata plasticità. La compressibilità di questi materiali spiega il cedimento significativo (di circa 2 metri) subito dalla torre, dedotto dal confronto tra la profondità della via Emilia, ritrovata durante le indagini a 6.57 m al di sotto della torre, e la profondità della stessa in condizioni di "campo libero", ossia in zone non influenzate dalla presenza della torre.

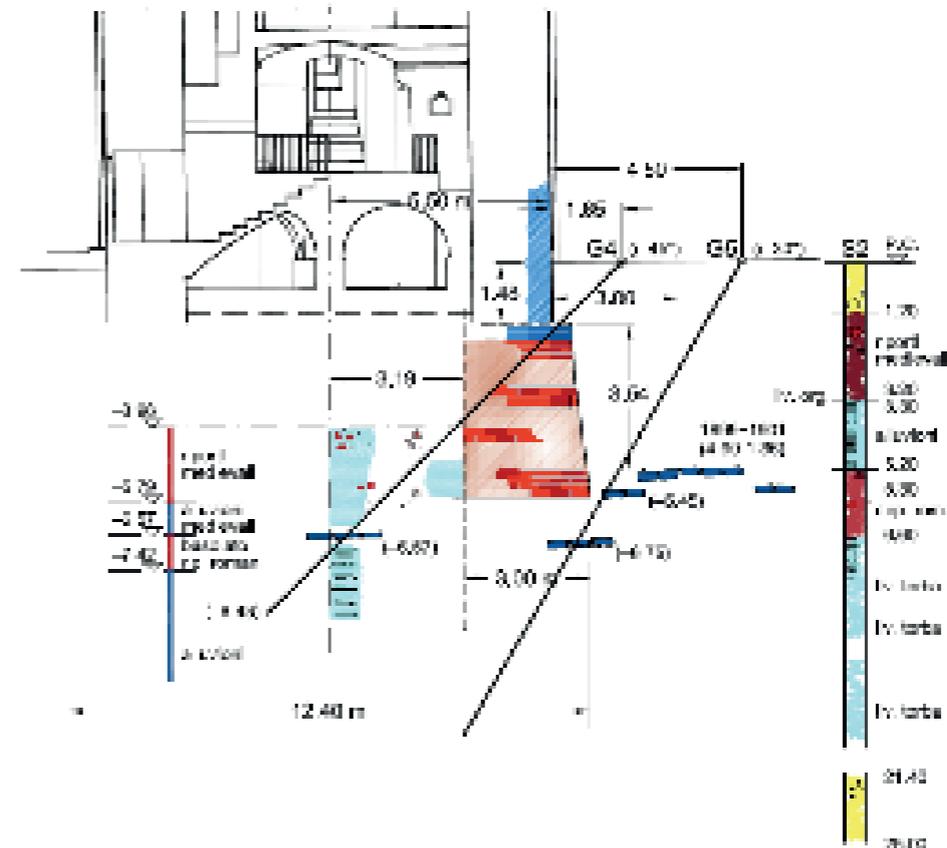


Figura 1. Profilo stratigrafico di dettaglio al di sotto della torre (Lancellotta, 2009)

In aggiunta a tali indagini, per dare risposta agli interrogativi riguardanti la vulnerabilità sismica della torre (Di Tommaso *et al.*, 2013), nel 2012 è stato installato un sistema di monitoraggio costituito da un conveniente numero di accelerometri, secondo lo schema mostrato nella figura 2.

Le storie temporali delle accelerazioni, rilevate secondo le tre direzioni coordinate, e acquisite inizialmente in condizioni di eccitazione ambientale, durante il suono delle campane e in presenza di vibrazioni indotte dal passaggio di un autocarro di 16 t vicino alla torre, sono state utilizzate per gli studi di identificazione dinamica e per definire un modello di tipo predittivo, come sopra descritto. In particolare si è così potuto quantificare l'influenza della deformabilità del terreno, che, riducendo la rigidità globale del sistema, produce un innalzamento del periodo fondamentale della struttura e quindi una riduzione delle azioni sismiche sulla sovrastruttura.

E questi positivi effetti derivanti dall'interazione terreno-struttura aiutano a spiegare il comportamento della torre anche in presenza di quegli eventi sismici (1501, Castelvetro; 1505, Bologna; 1671, Rubiera; 1832, Reggio Emilia; 1996, Correggio) che hanno lasciato traccia nel danneggiamento subito dalle volte a crociera e dai muri dei matronei della cattedrale.

Attualmente la stessa strumentazione è utilizzata per monitorare in continuo il comportamento della torre e ha già permesso di acquisire importanti ulteriori elementi in occasione dei recenti eventi sismici. Come esempio si riportano in figura 3 due delle registrazioni effettuate in occasione dell'evento del 3 ottobre 2012, con epicentro in Garfagnana.

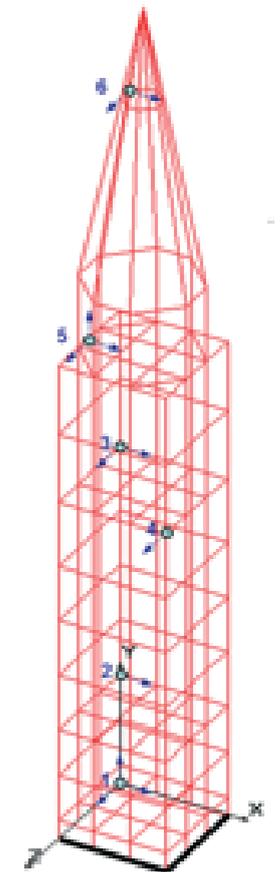


Figura 2. Schema della torre e posizione degli accelerometri (Lancellotta e Sabia, 2013)

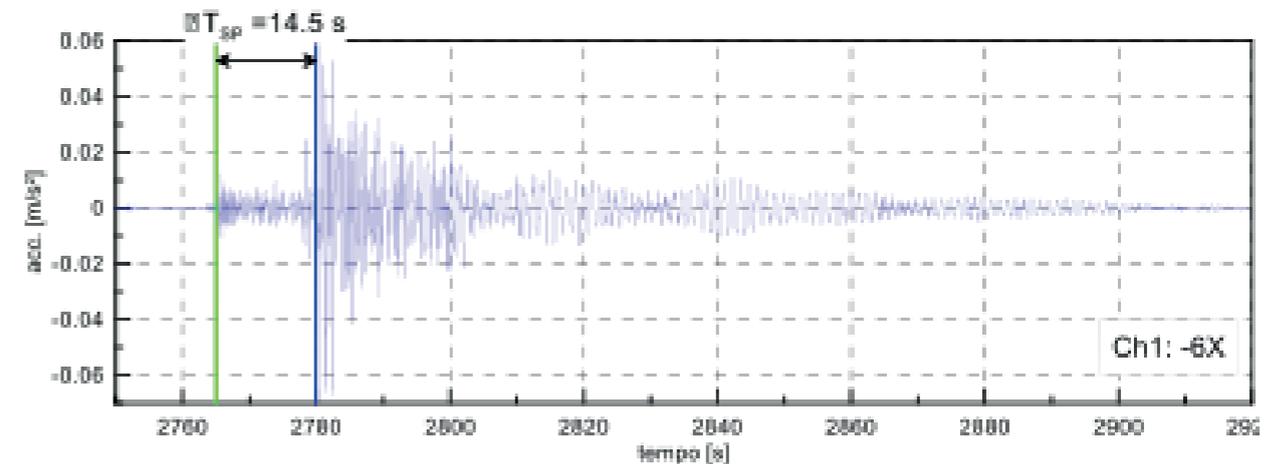
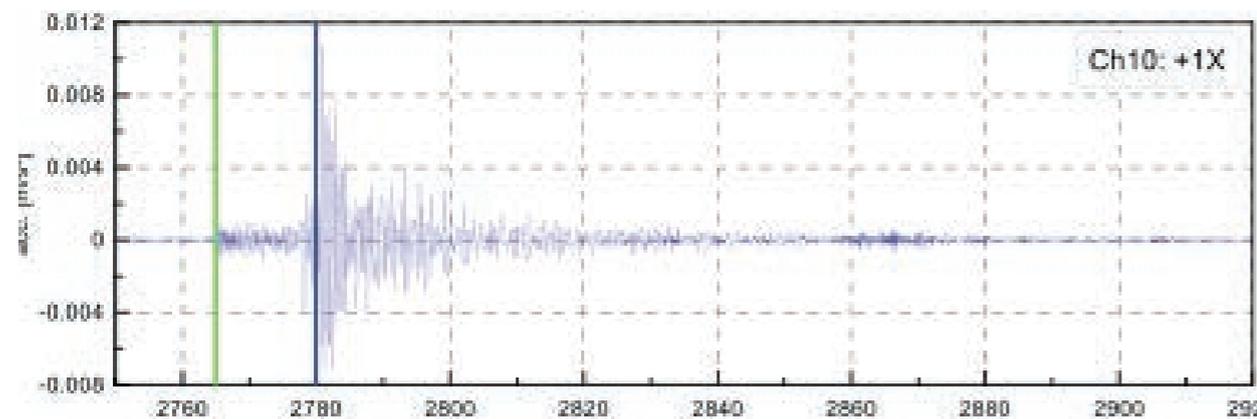


Figura 3. Esempio di registrazione in concomitanza dell'evento sismico del 3 ottobre 2012

CRONACA DEL RESTAURO

Rossella Cadignani, Franco Valli

1. La città ripresa dall'Osservatorio sul torrione del Palazzo Ducale



Il restauro della Ghirlandina è stata una straordinaria occasione di conoscenza del monumento simbolo della città.

È stato preceduto da una complessa fase di studio, avviata quando nel maggio del 2006 è caduto a terra un grosso frammento di pietra da una delle colonnine della balconata posta a 60 metri d'altezza, che si è potuta sviluppare compiutamente dopo l'installazione del ponteggio che ha permesso di raggiungere tutta la superficie esterna della torre.

I lavori veri e propri sono iniziati nel novembre 2008 all'interno della guglia, per poi proseguire con la stagione favorevole nella parte esterna, dall'alto in basso. Nel settembre 2011 i lavori si sono conclusi e la torre è stata liberata dal ponteggio. L'inaugurazione ufficiale si è tenuta il successivo 11 novembre.

Nei precedenti contributi raccolti nei volumi già citati in premessa, si sono descritte in dettaglio le modalità di restauro con le quali si è intervenuti, qui si riportano in breve sintesi le principali e gli aggiornamenti relativi alle ultime fasi del restauro.

La pulitura è l'attività principale e più importante per la conservazione delle superfici in pietra che rivestono il monumento ed è stata effettuata in modo selettivo e progressivo, impiegando diverse tecniche.

In primo luogo si è utilizzato il vapore a bassa pressione e bassa temperatura su tutte le superfici e dove questa tecnica, seppure ripetuta, non ha dato risultati apprezzabili, sono stati eseguiti impacchi localizzati di carbonato d'ammonio. In altri casi si è fatto ricorso alla nebulizzazione con acqua deionizzata e, sulle sculture e sulle mensole decorate di maggiore importanza, è stata utilizzata la tecnica laser. Sui capitelli è stato impiegato il sistema jos, una miscela di acqua e carbonato di calcio finissimo, che ben controllato rispetta le superfici e contiene i tempi di esecuzione.

Il lavoro di stuccatura e consolidamento delle superfici è stato molto complesso per la grande quantità di materiale distaccato e per la varietà di pietre da restaurare.

Durante i lavori sono state rimosse diverse stucature in resina, che erano state eseguite in occasione di restauri precedenti, limitandosi a quelle che non avevano dato risultati stabili ma provocato distacchi di materiale dalle pietre, mentre tutte quelle bene aderenti sono state lasciate in sito.

Al termine delle operazioni su tutte le superfici, comprese quelle decorate, è stato steso un protettivo di sacrificio, un prodotto a base di nano particelle di silani-silossani, in soluzione acquosa, con la funzione di conservare più a lungo l'esito del restauro.

Sono stati eseguiti anche interventi di consolidamento della struttura portante della torre,

2. La sfera dorata dopo il restauro



con la messa in opera di 2 cerchiature metalliche esterne e cuciture delle lesioni verticali con fibre di carbonio.

Il restauro ha interessato tutti i fronti esterni del monumento e l'interno della guglia.

Il pomo dorato e la croce

Al termine della edificazione nel 1319, fu posta a coronamento della torre una sfera di rame dorato, sormontata da una croce.

Al momento del restauro la sua superficie era coperta da una patina scura e da macchie di vernice.

È stata interamente pulita, sono stati controllati gli ancoraggi alla struttura ed è stato steso un protettivo superficiale. Con la pulitura sono apparse sulla sfera numerose incisioni, con nomi e date di singoli cittadini che probabilmente hanno “scalato” la guglia. In qualche caso l'accuratezza dell'incisione fa presumere l'opera di maestranze che hanno eseguito lavori.

In futuro sarà necessario ripristinare la doratura che in più punti è mancante.

Copertura in piombo della guglia

Dal piano di calpestio della balconata a quota 78 metri, fino in cima, la guglia della torre è ricoperta da lastre di piombo dello spessore di ben 5 mm. Nella parte più bassa, per una



3. Le lastre in pietra della parte terminale della guglia

fascia di circa 2 metri di altezza, le lastre erano state più volte rappezzate e in diversi punti lasciavano filtrare l'acqua all'interno.

Era certamente la parte più delicata della copertura e si sono dovute sostituire, così come quelle del piano della balconata. Con la rimozione del piombo si è messa temporaneamente in luce l'interessante apparecchiatura di pietre, a conci alternati per dimensione, del tutto diversa da quella della porzione sottostante della guglia ed è stata documentata la presenza di 3 lastre con iscrizioni datate 1608 e 1680.

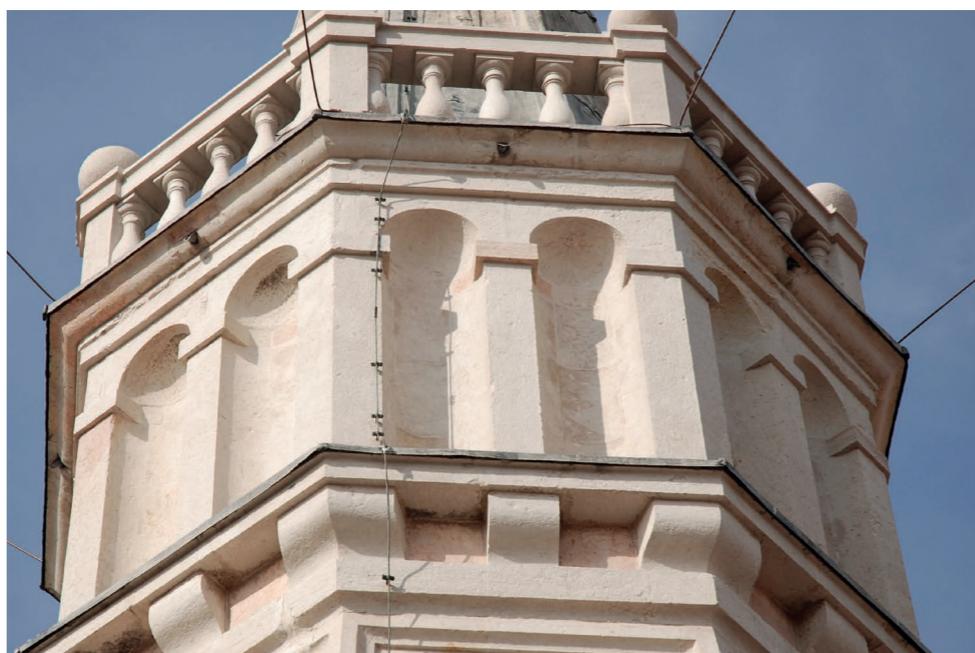
Le lastre in piombo della parte superiore sono state controllate, riparate in pochi punti, risultando ancora efficienti. In futuro dovrà esserne controllata la tenuta.

La balconata superiore

È composta da 24 colonne montate su singoli dadi, completata da una cimasa, con 8 pilastri angolari sormontati da sfere.

Le condizioni di stabilità dell'intera balaustra erano piuttosto precarie e per questo motivo, da alcuni anni, era imbragata con una rete contenitiva.

L'intera struttura è stata smontata, sono state stuccate e consolidate con perni in vetroresina le parti fratturate e sono state sostituite 8 colonnine con materiale lapideo analogo all'originale. Sono stati riaperti i quattro gocciolatoi e sono stati rifatti in piombo gli inviti per la raccolta dell'acqua piovana.



7. La balconata superiore dopo il restauro

La guglia in pietra

La guglia è a sezione ottagonale e il rivestimento in pietra è innervato da 8 costoloni. Nella parte compresa tra le 2 balconate, era già stato sostituito nel 1897, impiegando l'ammontico veronese di nuova cavatura, fissato alla muratura con perni metallici ben visibili dall'interno. I conci in pietra sono sigillati sui piani orizzontali da piattine di piombo e con immaschiatura delle pietre per garantirne la solidità e la tenuta.

Su tutta la superficie erano presenti depositi e colonizzazione biologica e nella parte più bassa le sigillature avevano perso la tenuta.

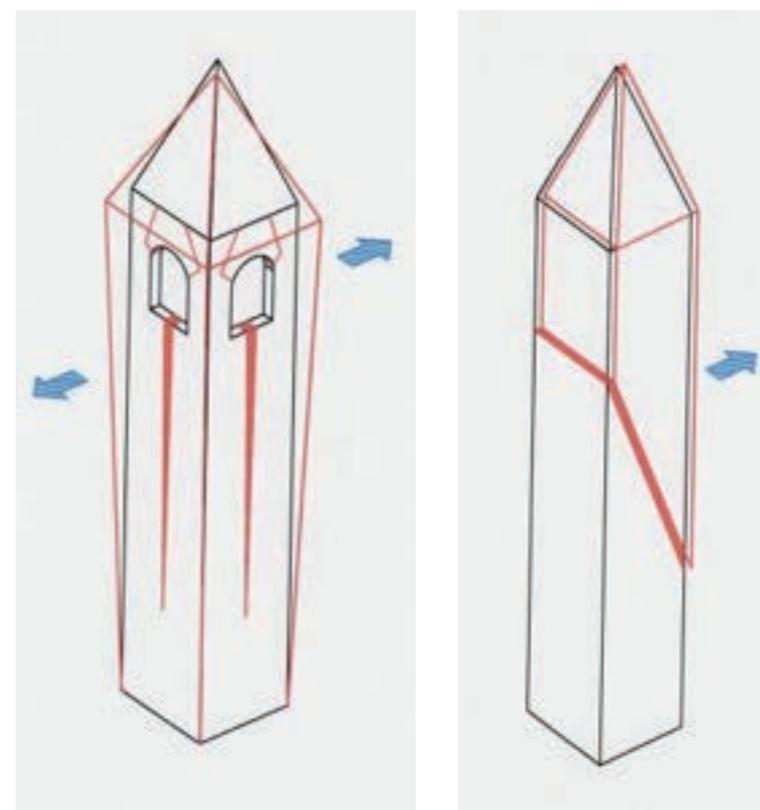
È stato eseguito un doppio trattamento biocida e una pulitura con vapor-jet a bassa pressione su tutte le superfici in pietra, dopo la stuccatura e le sigillature eseguite con elastomeri è stato steso un protettivo di sacrificio.

La balconata inferiore

Si trova a quota 60 metri ed è analoga per disegno a quella superiore ma di maggiori dimensioni, con 8 colonnine per lato e pilastri angolari sormontati da alti elementi in pietra che terminano a forma di fiamma.

Numerose colonnine e due cimase erano gravemente fratturate e diversi lati della balaustra erano sconnessi.

È stata necessaria la sostituzione di 12 colonnine e il fissaggio con perni in resina delle ci-



8. Le cerchiature esterne o interne costituiscono un valido elemento di prevenzione dei dissesti da evento sismico.

mase. Il pavimento, che era stato progressivamente rialzato fino a inglobare i dadi di base delle colonnine, era stato coperto da lastre di piombo. Il restauro ha riportato il pavimento al livello originale e la copertura in piombo è stata riposizionata al di sotto della base delle colonnine. Sono stati riaperti gli scarichi, 2 per lato, e sono stati inseriti i gocciolatoi in piombo per allontanare l'acqua dalle pareti. A livello del pavimento è stata realizzata una cerchiatura con barre metalliche perché il rilievo dello stato fessurativo presente, se pure di modesta entità, ha messo in evidenza la tendenza del campanile a fessurarsi nella parte superiore secondo quello che è il meccanismo più frequente nelle torri (figura 8). Il fenomeno è ovviamente rischioso in quanto potrebbe costituire un innesco di un più serio dissesto in caso di terremoto.

I tiranti sono da sempre elementi fondamentali per la stabilità degli edifici in muratura, con lo scopo specifico di sopperire alla scarsa resistenza a trazione delle murature. Particolarmente frequente è il loro uso per assorbire le spinte di archi, volte e cupole e nelle zone sismiche, per contrastare le componenti orizzontali delle sollecitazioni, che inducono azioni di taglio e ribaltamenti.

Nella Ghirlandina sono presenti due serie di catene storiche, una alla quota della cella campanaria e un secondo sistema di tiranti è presente nella guglia, posto in opera evidentemente per evitare scivolamenti delle singole facciate, costituito da tre livelli di tiranti posti a stella. Il sistema è efficace, ma i saggi effettuati sugli ancoraggi hanno dimostrato la presenza di ossidazioni e di rotture nel muro.

La non completa affidabilità dei due sistemi di catene presenti, insieme ai risultati dell'analisi sismica, hanno convinto della necessità di realizzare due nuovi sistemi affidabili di cerchiatura, più o meno in corrispondenza dei sistemi esistenti, ma con materiali nuovi e ancoraggi più affidabili e duraturi.

L'intervento di restauro sulla pietra ha seguito le medesime modalità d'intervento delle porzioni superiori. I collari in metallo degli elementi decorativi della balaustra sono stati trattati con un prodotto passivante e le lesioni nelle sfere sono state riparate con il posizionamento di garze di fibra di vetro.

Nell'estate del 2013 sul lato ovest nell'interno della guglia sono state rilevate infiltrazioni nella pietra di acqua piovana e nella balconata è stato riparato il distacco di un tratto del rivestimento in piombo nel punto di inserimento nella pietra. Le cause sono probabilmente da ricercarsi nella dilatazione termica del piombo che è stata maggiore di quanto la sede di incastro potesse contenere.

Il dado ottagonale

È caratterizzato da 8 bifore, 4 delle quali tamponate con muratura a vista. Le cronache testimoniano che questo piano fu consolidato dopo i dissesti causati dal terremoto del 1501. Ne sono testimonianza il rivestimento di rinforzo posto attorno a tutto il paramento, caratterizzato per ogni bifora da archi a tutto sesto, al di sotto dei quali si intravedono quelli originali a sesto acuto.

Subito al di sopra delle bifore vi sono, per ciascun lato, 3 nicchie in muratura di mattoni, la cui superficie era stata protetta a più riprese con un intonachino a base di calce e coccio pesto.

Il degrado della pietra si manifestava soprattutto per il distacco di frammenti, mentre dalle nicchie vi erano copiose infiltrazioni d'acqua piovana dalle numerose tratture nella muratura.

Si sono utilizzate le medesime modalità di pulitura delle superfici ed è stata eseguita una rilevante opera di stuccatura a calce, al termine della quale è stato steso il protettivo.

Per ricostruire una superficie ben impermeabilizzata, nelle nicchie sono stati fissati con piccoli perni in vetroresina i mattoni spezzati e dopo la verifica sui diversi colori dei



9. La guglia ottagonale con le grandi bifore.

10. L'interno della guglia con la scala elicoidale in legno di 119 gradini



11. Sotto alle lastre in piombo la pendenza è realizzata con mattoni in cotto

frammenti di intonachino, ne è stato eseguito uno con la velatura rosata che è risultata più consona al contesto. Sono stati riparati gli infissi e sul perimetro è stata installata la linea vita per rendere sicuri gli interventi di manutenzione della copertura.

L'interno della guglia

La guglia è la parte superiore della torre, all'interno vi è un unico vano a base ottagonale, che comprende sia una parte a parallelepipedo che la parte piramidale, per un'altezza totale di quasi 30 metri. All'interno si notano tre serie di catene disposte a raggiera, posate nel Cinquecento per consolidare la struttura.

Addossata alle pareti e sorretta da 22 esili mensole in ferro, dal 1609 è presente una scala in legno di forma elicoidale con 119 scalini. La scala permette di raggiungere le due balconate, con le due porte rivolte entrambe a sud.

La scala lignea era in pessimo stato di conservazione, per cedimento di gradini e stabilità complessiva. È stata pulita, trattata con permotrina per eliminare gli insetti xilofagi, e le parti deteriorate sono state sostituite con tavole e perni in legno stagionati. Per migliorarne la stabilità e consentire la salita in sicurezza, alle mensole di sostegno della scala ne sono state accoppiate di nuove, con un intervento facilmente reversibile.

Prima del restauro l'ambiente era variamente intonacato, con molte riprese di malta a base cementizia nella parte più bassa, segnata da grandi aloni di umidità per le numerose infil-

trazioni di acqua piovana. Con la rimozione dell'intonaco cementizio sono stati riportati alla luce un lacerto di affresco trecentesco di pochi centimetri e una porzione di intonaco antico, con coloritura grigio scura, posta sul intradosso del voltino superiore del vano, a testimonianza che probabilmente un tempo questo ambiente era decorato. È stata inoltre rimossa la malta cementizia che ricopriva le piastre in ferro che immorsano il rivestimento esterno in pietra, lasciandole a vista.

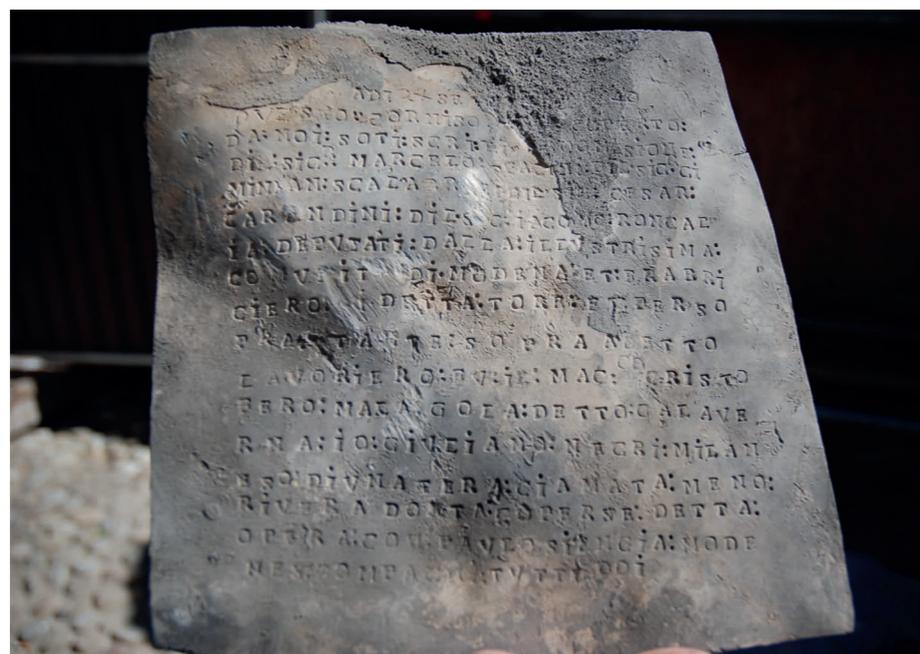
Sul pavimento esistente è stato posato un nuovo strato di battuto in coccio pesto, per ottenere una superficie piana e regolare tutto attorno all'ambiente. È stato così possibile mettere sotto traccia la distribuzione dell'energia elettrica, con prese di corrente che permetteranno l'uso plurimo del locale. L'impianto di illuminazione è stato realizzato con un cavo minerale, che corre affiancato alla scala e con nuovi corpi illuminanti e lampade a basso consumo e a led.

La copertura in piombo

La copertura del tronco della torre, nel punto in cui la guglia ottagonale si alza dalla parte a base quadrata, era realizzata con lastre di piombo con evidenti fori e numerose crepe che lasciavano filtrare l'acqua nel sottostante locale delle campane. Il progetto approvato prevedeva la sua riparazione, con la sostituzione di alcune parti più deteriorate. Tuttavia durante i lavori, dopo la verifica della situazione e l'esecuzione di diverse prove di ripara-



4. Particolare della copertura con la posizione nella quale è stata trovata la lastra incisa



5. Lastra in piombo con iscrizione trovata in copertura nello spigolo sud-ovest

6. La torre dopo il restauro



zione, si è accertata l'impossibilità di ottenere un risultato soddisfacente e si è optato per la completa sostituzione delle lastre.

Durante la loro rimozione si sono trovati i resti di numerosi strati sovrapposti e nello spigolo sud-ovest, è stata rinvenuta una piccola lastra di piombo incisa, posata su una staffa che forma l'angolo superiore di un tratto mancante di cornice in pietra. Era datata 24 settembre 1640¹ e le maestranze avevano indicato i loro nomi, quelli dei committenti e del direttore dei lavori. Di questo intervento non si erano trovate notizie nelle cronache.

Il testo è il seguente:

“Adi 24 settembre 1640

*Questo cornicione coperto da noi sottoscritti d(e) comisione di(l) signor Marcelo Spacini, dil signor Giminian Scalabr(in)i, dil sig(nor) Cesar Carandini, dil signor Iacomo Roncalia deputati dalla illustrissima Comunità di Modena, et Frabbriciero (d)i detta tore et per sopra(s)ta(n)te sopra a (d)etto lavoriero fu il Magnifico Cristofero Malagola detto Galaverna, io Giuliano Negri milanese di una tera ciamata Meno rivera do(r)ta coperse detta opera con Paulo Si*ncia modenese compagni tutti doi”**

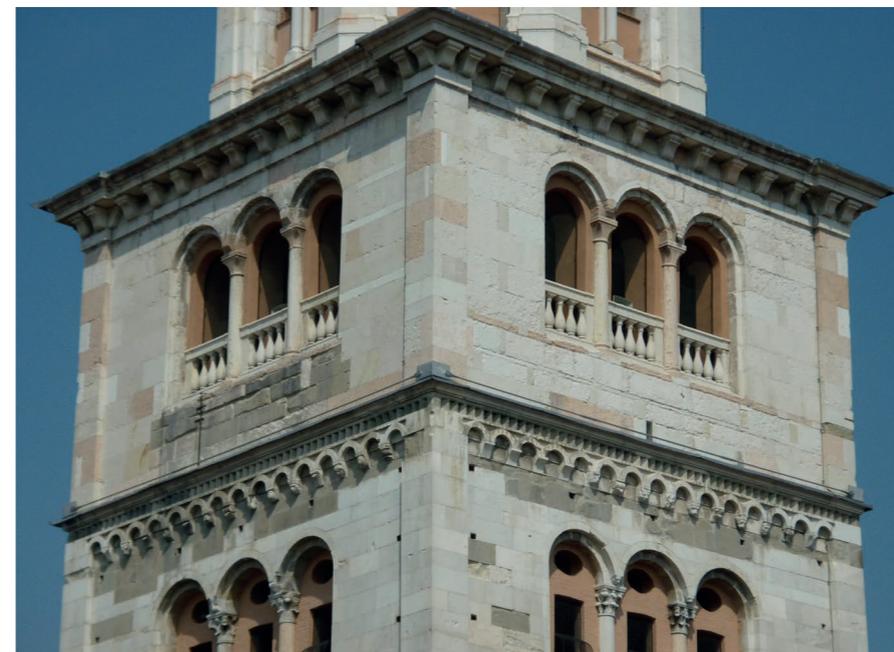
Nel lato est, verso la parete dell'ottagono, si è sigillato il foro rettangolare che fungeva da uscita dei fumi di un camino, che si trovava nella sala detta dei Torresani.

Sotto al piombo, la pendenza della copertura era stata realizzata con un piano inclinato di mattoni in cotto, quasi completamente sbriciolati dal gelo. Sotto ai mattoni vi è, per circa un metro di profondità dal bordo, il cornicione in lastre di ammonitico, fermate tra loro da zanche in metallo fissate a piombo. Le grandi pietre sagomate sono accostate e i due margini laterali sono scanalati in modo da contenere un pezzo speciale in cotto che raccorda le pietre tra loro.

Con l'intervento si è rimosso il materiale disgregato, posizionato un foglio di tessuto-non tessuto, una rete in metallo e uno stato di calce per ripristinare la pendenza, sul quale è stato steso un materassino anticondensa in 2 strati e infine è stato posizionato il piombo. Le lastre in piombo dello spessore di 3 mm sono state tra loro fissate senza l'impiego di chiodature o saldature, utilizzando la sola doppia piegatura dei bordi.

La cella campanaria (VI piano)

L'ultimo piano del tronco quadrato della torre ospita la stanza delle campane ed è caratterizzato dalle grandi trifore, chiuse da balaustre in pietra. Il piano è coronato da un



7. Piano VI

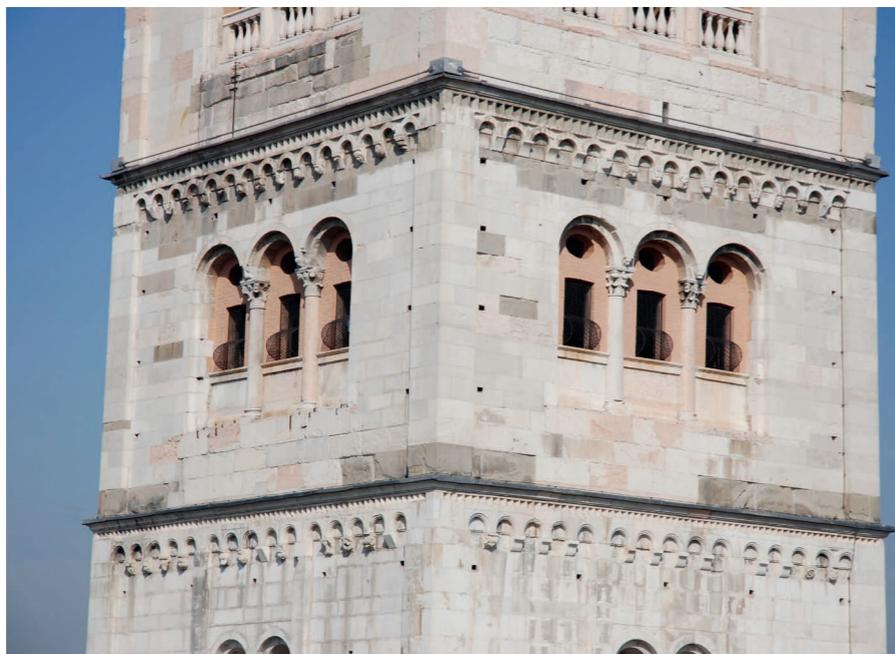


8. Particolare della cerchiatura in acciaio al VI piano

cornicione sagomato con 19 mensole per lato, con una scanalatura sul bordo esterno che funziona da gocciolatoio. All'interno vi sono 5 catene in ferro che collegano tra loro i muri dei pilastri interni, non collegate tra loro e con lesioni ben visibili dalla scala a chiocciola. Le grandi trifore erano chiuse, precariamente, con reti in metallo.

* Trascrizione del testo a cura del Prof. Pierpaolo Bonaccini

9. Piano V



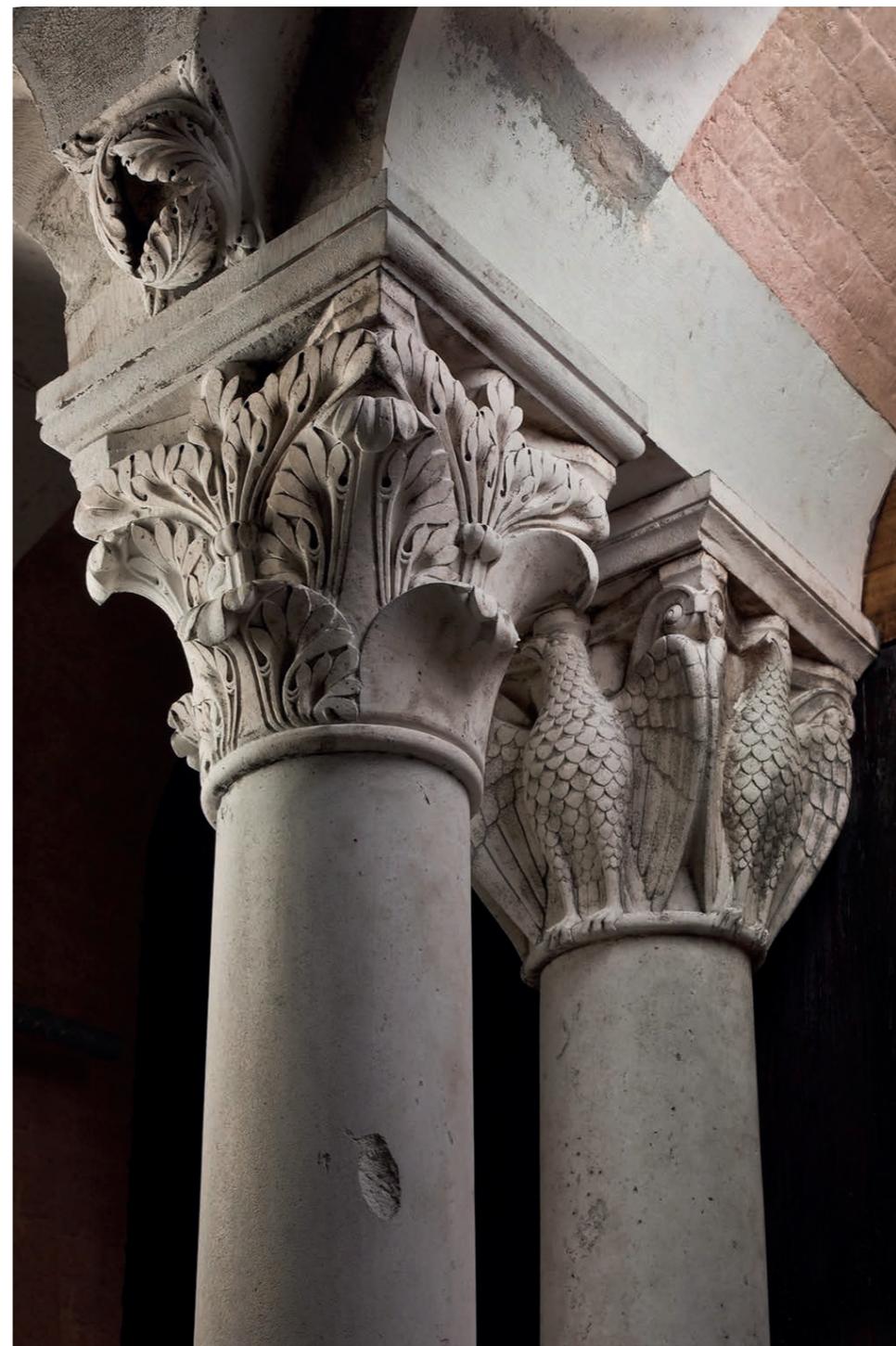
Con l'intervento è stata rimossa la crosta nera dal cornicione, utilizzando in parte il sistema vaporjet e in parte gli impacchi di carbonato d'ammonio. Poi è stato ripristinato l'intonaco a calce attorno alle trifore e sono state sostituite le reti tese su telai in rame e ottone apribili a basculante. Sono state consolidate le balaustre con lo spessoramento degli appoggi ed è stato restaurato il paramento lapideo secondo le modalità consuete. All'interno sono state riaperte le porte d'accesso ai pilastri cavi angolari, che erano tamponati da tempo con mattoni disposti in piedi.

All'esterno, alla base del piano della cella campanaria, subito al sopra della cornice, è stata posizionata una cerchiatura metallica del tipo Macalloy per contrastare le sollecitazioni radiali. La nuova cerchiatura è stata realizzata in acciaio inox ed è interamente reversibile poiché non è fissata in alcun modo al monumento. Per ridurre l'impatto visivo si è evitato di posizionare il carter che doveva coprirla, poiché l'escursione termica del metallo risulta dell'ordine di pochi millimetri e non ha quindi controindicazioni.

Il piano dei torresani (V piano)

Su ogni lato si apre una trifora ornata da semicapitelli di pregevole fattura. Le finestre sono chiuse da inferriate lobate in rete metallica. Il piano è delimitato in alto da una cornice a denti di sega, con archetti pensili e mensole decorate con protomi o elementi geometrici.

10. Piano IV
capitelli delle bifore



11. Piano IV



12. Piano III

È la cornice con il maggior numero di elementi decorativi ancora presenti, seppure non sia in buono stato di conservazione e presenti una superficie in parte distaccata e in parte coperta da crosta nera.

La superficie delle pietre è stata restaurata, si è consolidata la parte in mattoni a vista che presentava alcune lesioni e sono state sverniciate, trattate con un prodotto antiruggine e poi verniciate, le reti in metallo che chiudono le trifore. È stato inoltre posizionato un sistema elettrico per la dissuasione dei volatili.

Le buche puntaie sono state ridotte di dimensione con cunei di mattoni per evitare la nidificazione dei colombi, consentendo tuttavia la nidificazione dei rondoni.

Il risultato di pulitura delle mensole decorate non è stato del tutto soddisfacente, il sistema vaporjet si è dimostrato inefficace per la presenza sulla pietra di una pellicola protettiva di tipo siliconico, gli impacchi con il carbonato hanno in parte bucato la superficie e in parte sono risultati inefficaci e si è preferito limitarli, non potendo impiegare altre tecniche per motivi di tempo e di costi. L'esecuzione dei lavori è stata sospesa per alcuni mesi a causa della soluzione del contratto con la ditta appaltatrice.

Il piano delle bifore (IV piano)

Le facciate sono scandite in 3 parti verticali da lesene che da questo piano giungono fino a terra ma non proseguono ai piani superiori. In quella centrale si apre una bifora il cui

imbotto profondo ospita 2 colonne, una dietro all'altra, ornate da pregevoli capitelli. Le bifore su tre lati sono aperte, mentre quella nel quarto è tamponata con mattoni a vista. Ogni bifora ha la base ben inclinata verso il basso per permettere lo sgrondo dell'acqua meteorica.

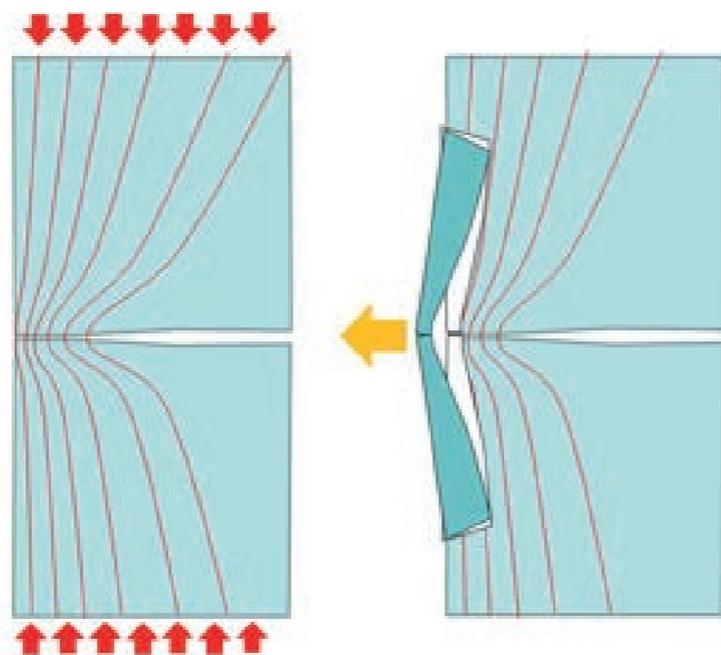
La suddivisione delle facciate della torre con cornici orizzontali, non corrisponde alla scansione interna dei piani, che al di sotto di quello dei Torresani diviene un unico volume di oltre 20 metri d'altezza fino alla sala detta degli strumenti, sopra alla prima cornice.

La cornice superiore è a denti di sega, di dimensioni inferiori a quella soprastante e con archetti pensili e mensole decorate.

La presenza delle lesene riduce il numero di mensole, che in questo caso sono 12 per ogni lato suddivise in 3 parti. Numerose mensole sono andate perdute nel corso dei secoli e sostituite con elementi geometrici semplici. Tutti gli appoggi, compresi i davanzali delle bifore, erano zona di posa dei colombi che vi avevano depositato una grande quantità di guano. Le superfici in pietra sono state pulite e trattate con le medesime modalità delle altre, l'ultima mensola decorata del lato sud verso ovest, raffigurante un telamone, è stata pulita con metodo laser per conservarne il più possibile tutti i dettagli, mentre i capitelli sono stati puliti con sistema jos.

Le buche puntaie sono state ridotte e davanti alle bifore sono state fissate delle reti in nylon per impedire l'accesso ai volatili.

13. Schema del fenomeno di frattura “a clessidra” e di espulsione presente in alcuni costoloni della Ghirlandina



Il piano delle monofore (III piano)

È il piano maggiormente caratterizzato dal rivestimento in granitello, pietra di colore grigio chiaro, particolarmente resistente, che in corrispondenza degli spigoli si presenta con numerose fratture verticali. La cornice è formata da archetti intrecciati, con 12 mensole decorate e da sculture con figure umane poste nei 4 angoli della torre, realizzate anch'esse in granitello.

Le monofore, di profondo imbottito, sono prive di decori.

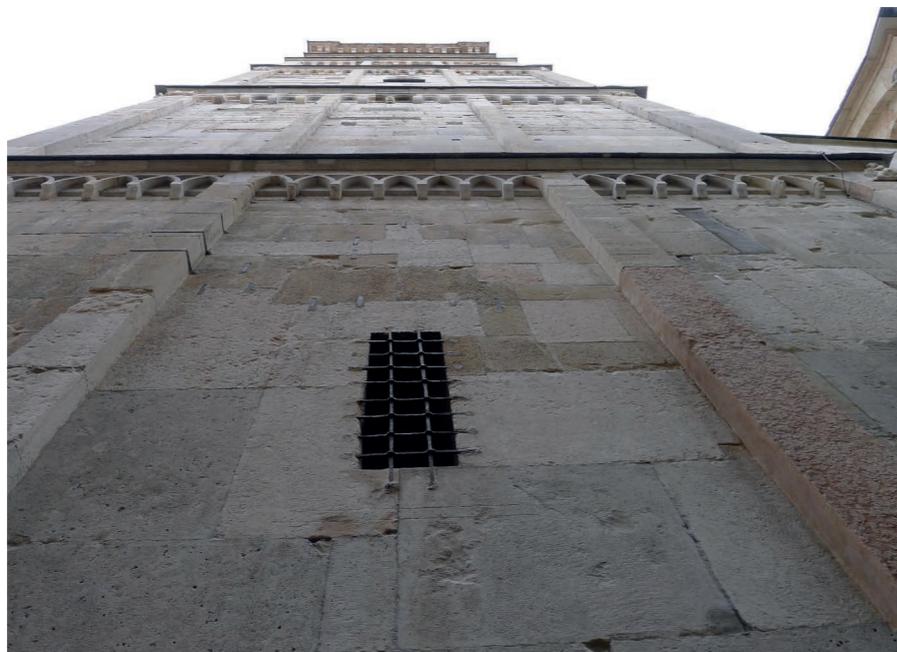
Il restauro delle superfici piane ha seguito le medesime modalità, mentre le mensole decorate del lato sud e le sculture figurative sono state pulite con tecnica laser.

Durante i lavori di restauro è stato eseguito un intervento specifico per l'attenuazione dei picchi di tensione nelle pietre dei paramenti esterni che presentavano in alcune zone, in particolare nei costoloni e in prossimità degli angoli, delle fratture con andamento verticale o “a clessidra”, con pericolosa espulsione di frammenti di materiale lapideo. La causa è il fenomeno della “migrazione” delle tensioni che si concentrano nelle strutture in pietra esterne più rigide, per fenomeni lenti di “rilassamento” delle murature interne con maggiori strati di malta. Tra le lastre e il sottostante paramento murario, infatti, c'è un'intercapedine anche di diversi centimetri; le lastre sono collegate alle murature solo in corrispondenza di lesene e cornici. In pratica la pietra è un robusto paramento sovrapposto



14. Piano III particolare di frattura a forma di clessidra

15. Piano II



16. Piano I, particolare decori in colore rosso situati nella prima cornice marcapiano del lato est

con fini estetici. Proprio la cura estetica messa in atto nel costruire le lesene favorisce la concentrazione di tensioni in queste parti: i bordi più curati hanno meno malta e quindi sono più rigidi, si deformano meno e “attirano” su di sé le tensioni che migrano dalle parti interne più deformabili (figura sopra).

Nell’ambito dei lavori di restauro, i fenomeni sono stati esaminati e sono stati effettuati degli interventi semplici, consistenti in piccoli tagli orizzontali in corrispondenza dei giunti più sottili, per attenuare i picchi di tensioni di compressione che erano all’origine delle fratture. Questi tagli sono stati poi riempiti con stucature a calce ed elastomero, in modo da ottenere un punto di contatto meno rigido ma compatibile con il resto della struttura: un esempio di applicazione del principio del minimo intervento anche nel campo del consolidamento.

Il II piano

Vi sono solo piccole aperture per illuminare le scale e si mantiene la partitura delle facciate in 3 parti. La cornice esterna è ad archetti semplici, con 4 mensole per ogni partitura, per un totale di 12 per ogni lato, delle quali se ne sono conservate solo 6 mentre le altre sono state tutte sostituite con elementi geometrici privi di decori.

Ai quattro angoli sono poste sculture che raffigurano animali e sul lato est sono inseriti tre pannelli decorati a motivi vegetali che testimoniano il reimpiego di materiale romano e

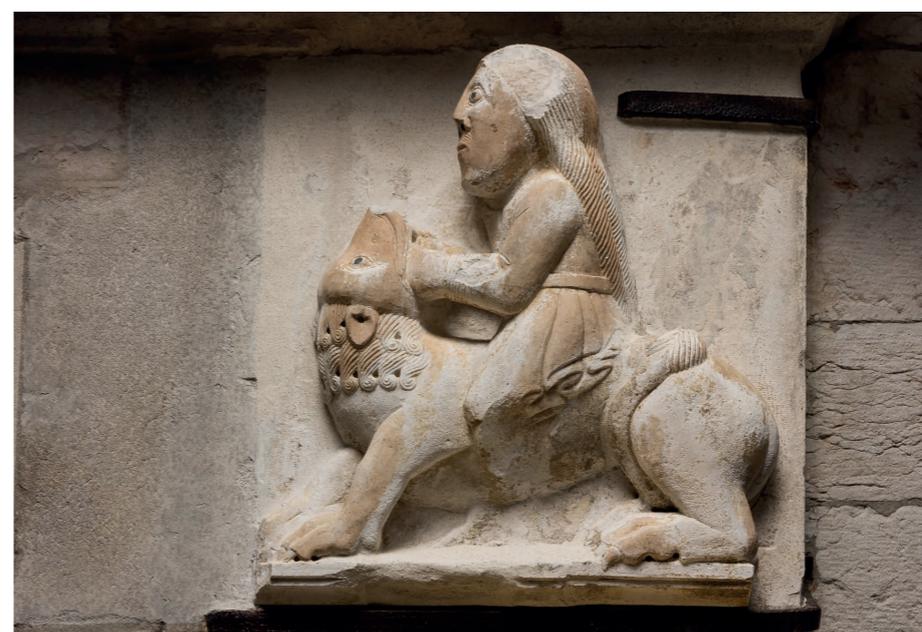
che erano in avanzato stato di degrado per crosta nera e decoesione della pietra.

Le sculture sono realizzate in parte in granitello e in parte in pietra di Vicenza, queste ultime sono maggiormente degradate e hanno perso buona parte del modellato. La scultura nell’angolo sud ovest, raffigurante un leone, era stata rimossa da tempo per il pericolo di crollo.

Con il restauro quest’ultima scultura è stata rifissata con lunghi perni metallici al suo posto e le altre sculture sono state restaurate. I pannelli decorati di origine romana, dalla superficie particolarmente danneggiata, sono stati consolidati e la pulitura della superficie è stata eseguita con tecnica laser. Davanti alle feritoie verticali che illuminano le scale, sono state fissate delle reti in acciaio per impedire l’accesso dei volatili. Sulle cornici sono state posizionati impianti antivolatili.

Il I piano

Il primo piano è identificato all’esterno da una cornice ad archetti intrecciati, con mensole di dimensione inferiore a tutte le altre, più simili a quelle presenti nelle absidi della cattedrale. Le sculture angolari sono solo 5, infatti sul lato sud, la torre è collegata alla chiesa e, in corrispondenza degli arconi, mancano sia la cornice che le sculture. Anche in questo piano ogni facciata è tripartita e vi sono 6 mensole per ogni partitura, 18 per lato, di cui se ne sono conservate solo 26.



17-18. Particolare del capo della scultura angolare raffigurante una sirena, prima e dopo il restauro con tecnica laser, I cornice angolo nord-est

19-20. Scultura angolare raffigurante Sansone che smascella il leone prima e dopo il restauro eseguito con tecnica laser, I cornice angolo sud-ovest

Al momento del restauro il piano era caratterizzato da una spessa ed estesa crosta nera, e da colature dalla cornice. Durante la fase di pulitura della superficie sottostante agli archetti della cornice marcapiano, nel lato est, sono emerse piccole tracce di colore rosso a base di ematite.

Il decoro è costituito da una sequenza giglio-fiore, sullo stile di altri simili, noti all'interno della cattedrale di Reggio, sull'esterno di san Michele in Foro di Lucca o ancora in Sant'Andrea di Vercelli, tutti databili alla prima metà del Duecento e che nel nostro caso potrebbe essere opera delle maestranze campionesi. Si tratta di un importante ritrovamento, testimonianza di come fosse decorato il monumento in epoca medievale.

Gli impianti generali

Assieme al lavoro di restauro è stato adeguato il parafulmine a protezione dalla scariche atmosferiche, sono state protette con copertine in piombo tutte le cornici per allontanare le acque meteoriche dalle pareti e salvaguardare le sculture e si è messo in opera un sistema misto di protezione dai volatili.

Altri interventi

Le lesioni verticali che si è cercato di contrastare con gli interventi di cerchiatura esterna, sono state anche oggetto di riparazione dall'interno della torre, realizzando delle ristilature armate (cfr. contributo A. Di Tommaso, C. Colla) con piattina in fibra di carbonio inserita tra i corsi di mattoni, fissata saldamente alle estremità e sigillata con malte di calce.

Il sisma

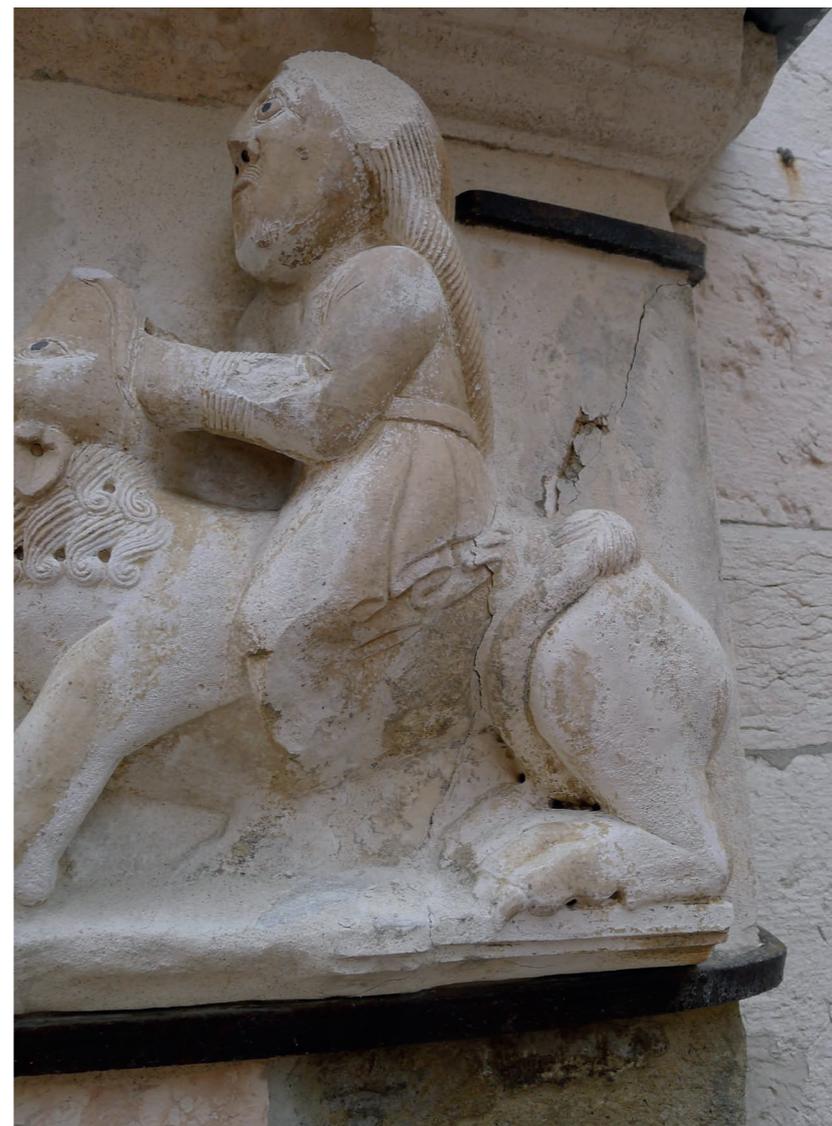
A seguito degli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012 si sono registrate alcune nuove lesioni, seppure di modesta entità. Il danno maggiore si è registrato con la frattura della scultura del Sansone, posta nell'angolo sud-ovest della prima cornice marcapiano, che ha risentito del collegamento con gli arconi del Duomo. Vi è un progetto, già autorizzato in attesa di finanziamento, che prevede di realizzare la separazione tra le staffe di metallo che abbracciano la scultura e i punti in cui sono aderenti alle pietre dell'arcone, in modo da eliminare gli effetti che possono derivare dalla trasmissione dei movimenti tra i due monumenti.

Nel luglio 2012 è stato installato un sistema di monitoraggio dinamico, con il posizionamento di accelerometri ai diversi livelli che permettono di monitorare in dettaglio il comportamento della torre (cfr. contributo Lancellotta e altri in questo volume).

Il restauro è stato assieme grande opportunità di studio, di sperimentazione e consapevolezza per la conservazione, resta ora da completare l'interno della torre che darà la

possibilità di renderla meglio fruibile al pubblico. Durante i lavori di restauro, grazie alla presenza di un ponteggio particolarmente ben strutturato, sono state organizzate numerose visite guidate che hanno dato la possibilità a oltre 4.000 persone di vedere da vicino il mirabile apparato scultoreo e i singolari ritrovamenti.

Tutti gli interventi fin qui descritti sono il frutto di un lavoro pluridisciplinare svolto grazie agli esperti del Comitato scientifico, che ha consentito interpretazioni nuove e interventi mirati su ogni singolo tema.

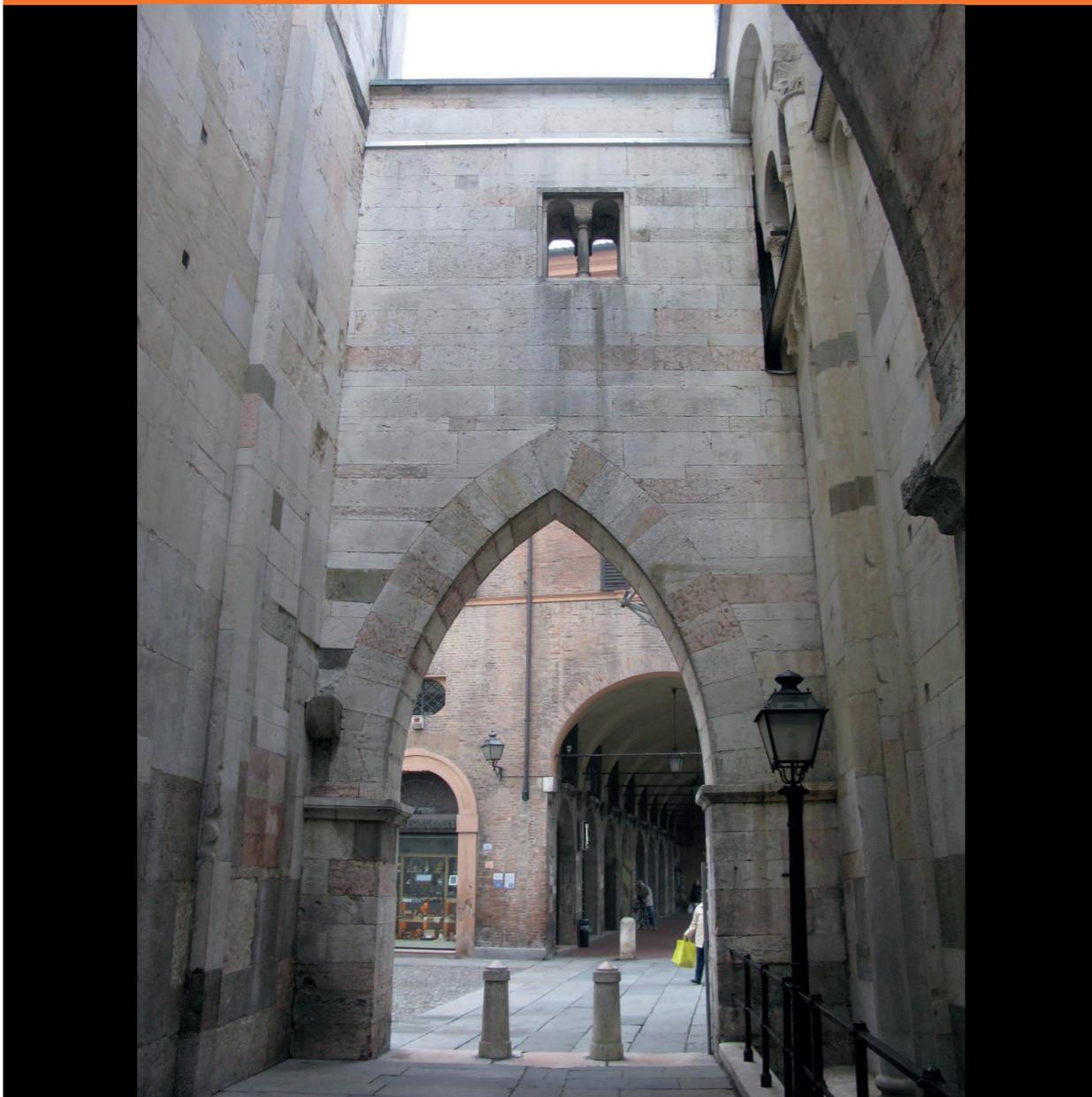


19. Danni causati dal sisma: si nota una lesione in diagonale sul modellato, con distacco di frammenti nella parte piana

DAL PROGETTO ALLA MANUTENZIONE

Guido Biscontin, Guido Driussi, Zeno Matteo Morabito

Vista fra gli arconi che collegano il Duomo alla Torre, ripresa da ovest verso est



La torre della Ghirlandina, un'esperienza di progetto diagnostico e di ricerca che è stata, e continua a essere (perché ancora in itinere), un approccio corretto al problema del restauro.

Tutto nasce da una “saggia” gestione delle diverse professionalità, da un dialogo tra queste nell'ottica di arrivare a scelte condivise e ottimali, sia in termini di efficacia, sia di rispetto e minima invasività dell'intervento.

L'intervento del nostro team si è articolato nel tempo affiancando, con conoscenze scientifiche e verifiche diagnostiche, le scelte progettuali dei responsabili in tutti i principali passaggi del restauro della Torre.

Una prima fase, rappresentata da un iniziale approccio alla conoscenza del Bene Culturale, ha visto la realizzazione di osservazioni puntuali su tutti gli elementi costituenti la torre, con una prima descrizione dello “stato di fatto”. Le indagini vertevano sulla verifica della natura dei materiali lapidei naturali e artificiali, sulla presenza e consistenza di patinature e coloriture, sulla misura dello stato di degrado degli elementi in relazione alla loro posizione e/o ruolo architettonico.

La campagna diagnostica è riuscita efficacemente a individuare situazioni di particolare criticità o anche solo di realtà in cui il restauro doveva essere affrontato con particolare sensibilità nel rispetto della “storicizzazione” dei materiali; da qui ecco emergere una serie di informazioni sulla presenza e natura dei trattamenti, sullo stato di degrado dei conci lapidei, sullo stato delle malte o delle piombature costituenti le fughe del sistema, sul grado di tenuta del sistema agli agenti atmosferici, sulla stabilità fisico-meccanica degli elementi delle balaustrate ecc.

Un quadro di conoscenze che, via via, ha costituito un bagaglio di informazioni indispensabile per la realizzazione del progetto di restauro.

Sicuramente uno degli aspetti principali emersi è rappresentato dal rinvenimento di diversi rifacimenti eseguiti con malte a base di resine epossidiche eseguite negli anni settanta, questo ha rappresentato una sfida notevole sia a livello di approccio teorico che puramente pratico.

Fino a qualche anno fa la presenza di resina epossidica rappresentava il simbolo dell'impiego di prodotti “non reversibili” o comunque di rimozione difficoltosa e pericolosa per gli materiali storici, di cui dovevano essere la salvezza, al termine della ricerca che è stata condotta si può affermare che non è più così. La conoscenza della natura degli impasti e in particolare degli effetti perniciosi di tali prodotti, ha permesso di arrivare a una equilibrata scelta di rimozione, possibile grazie a un ampio approfondimento diagnostico-analitico

che è stato in grado di individuare la metodologia ottimale di intervento.

I materiali epossidici possono essere rimossi nel pieno rispetto del supporto storico grazie all'individuazione, eseguita proprio nell'ambito del Progetto Ghirlandina, di una metodologia di intervento che vede l'uso di una miscela di "remover"; tecnica che a seconda delle modalità operative e ancora di più della scelta sulle tempistiche, risulta controllabile e di facile realizzazione.

Il secondo aspetto contemplato dal progetto è stato quello di intervenire in modo ancora più diretto sulla scelta delle modalità operative, testando diverse operazioni e valutandone l'efficacia e la validità. Una serie di cantieri pilota ha quindi permesso di valutare: il miglior trattamento biocida, la tecnica di pulitura delle superfici più adeguata, il miglior metodo di consolidamento e di protezione, la più efficace tecnica di ripristino dei giunti tra i conci e, come si è già avuto modo di ricordare, le modalità ottimali per la rimozione dei rappezzi in malta epossidica.

I principi che hanno ispirato le prove si possono così riassumere:

- efficacia degli interventi;
- impiego di prodotti e operazioni a basso impatto ambientale e contenuta nocività per gli operatori (da qui l'impiego preferibile ad esempio di prodotti all'acqua);
- sperimentazione di prodotti innovativi, quali ad esempio quelli a base di nano-dispersioni;
- 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.

Per ognuna di queste prove 'pilota' sono stati individuati i principali parametri di valutazione che fossero in grado di discriminare l'efficacia, l'invasività e la durabilità degli interventi:

test	parametri diagnostici	indagini diagnostiche
trattamento biocida	verifica presenza biologica	osservazioni in microscopia a fibre ottiche direttamente in loco sulle aree test
pulitura delle superfici	verifica della non-invasività dei sistemi e controllo dell'efficacia pulente con la rimozione di tutti i depositi o incrostazioni indesiderate	osservazioni in microscopia a fibre ottiche direttamente in loco sulle aree test e verifica mediante spettrofotometria FT-IR del residuo superficiale
consolidamento e protezione	verifica della minima invasività del sistema e della sua efficacia	misura del colore, osservazioni morfologiche della superficie dopo trattamento, valutazioni sul grado di penetrazione dei trattamenti consolidanti, valutazione sul grado di idrorepellenza (angolo di contatto), misura del grado di assorbimento d'acqua a bassa pressione
ripristino giunti	verifica del grado di riempimento, della continuità e della regolarità dei giunti	osservazioni videomicroscopiche e verifiche della continuità materica mediante tecnica ultrasonica
rimozione malte epossidiche	grado di invasività, gestione e facilità dei trattamenti ed efficacia	verifica del grado di attacco dei solventi organici, verifica dello spessore di malta epossidica rimossa o indebolita dal trattamento mediante misure di penetrazione

Al termine dell'ampia campagna di test si sono potute effettuare una serie di scelte, frutto di una mediazione tra le prestazioni osservate per le diverse tecniche di restauro impiegate. Per una trattazione più precisa si rimanda ai contributi pubblicati sulle monografie precedenti sui lavori della torre della Ghirlandina.

Un ultimo aspetto, sicuramente interessante e particolarmente apprezzato consiste nella sensibilità che i responsabili della Torre hanno dimostrato nel tenere sotto controllo l'evoluzione futura del Bene. Per questo è stato progettato, e ora viene regolarmente eseguito, un Piano di manutenzione che, attraverso una serie di controlli periodici, sia in grado di monitorare il comportamento dei materiali e delle strutture della Torre.

All'interno del Piano di manutenzione, una serie di parametri e dati di natura oggettiva e strumentale, rappresentano uno schema di valori di riferimento, ogni scostamento signifi-

cativo da questi comporta un tipo di intervento adeguato alla variazione.

È questo, a nostro avviso, il modo giusto di tenere sotto controllo le nostre opere d'arte, di mantenere un adeguato livello di sicurezza, di operare restauri più contenuti, efficaci e meno onerosi che il classico intervento straordinario spesso quando la situazione risulta già compromessa.

Nel progetto di controllo della torre della Ghirlandina ci si è affidati in particolare a sistemi di indagine non distruttiva quali indagini ultrasoniche, misure del colore, misure del grado di idrorepellenza (misura dell'angolo di contatto), misura del grado di assorbimento a bassa pressione (misura della pipetta) e osservazioni in videomicroscopia ottica.

Nella figura a fianco si riportano, come esempio, alcune delle aree che sono state scelte per l'esecuzione delle prove di controllo del Piano di manutenzione.

Come esempio osserviamo il grafico riferito alla misura dell'assorbimento d'acqua a bassa pressione in una delle aree prova. Tale dato è strettamente correlato all'efficacia del trattamento protettivo, nel caso di forte aumento di entrata d'acqua si dovrà pensare a una nuova stesura di sistemi protettivi.

Nella scheda a colori allegata sono riportati alcuni esempi di report che riassumono gli esiti analitici delle diverse campagne di controllo, alle varie scadenze temporali previste dal Piano e conseguenza della natura dei materiali, delle risultanze della campagna analitica di caratterizzazione e della tipologia di interventi di restauro.

Nel primo caso è presente un grafico riferito al grado di assorbimento a bassa pressione (metodo della pipetta): risulta evidente come la tenuta del protettivo sia ancora attiva e la superficie risulti ancora poco disponibile all'assorbimento di acqua. Non sarà quindi, per ora, necessario pensare a un'ulteriore stesura di sistema protettivo.

Il secondo grafico si riferisce alla misura del colore e anche su questo parametro si registra una notevole stabilità della superficie, non vi sono quindi in atto alterazioni cromatiche significative se non una normale variazione dovute al deposito particellare atmosferico.

Nell'ultimo grafico si riporta il risultato delle indagini ultrasoniche eseguite su una delle colonnine della balaustra che sono state oggetto del restauro. In particolare nel giugno del 2009 i dati sono riferiti a prima del restauro, gli altri monitoraggi sono tutti seguenti. Si può notare con evidenza come le velocità ultrasoniche (indicate dalla diversa colorazione che corrisponde a una velocità in m/s differente), a seguito del restauro restino sostanzialmente costanti.

La tecnica ultrasonica è risultata particolarmente sensibile alle variazioni, a tal punto da segnalare l'indebolimento delle stuccature nei giunti degli elementi lapidei (il cui ancoraggio comunque resta assicurato dalle perniature) a seguito degli eventi sismici dell'ultimo periodo.

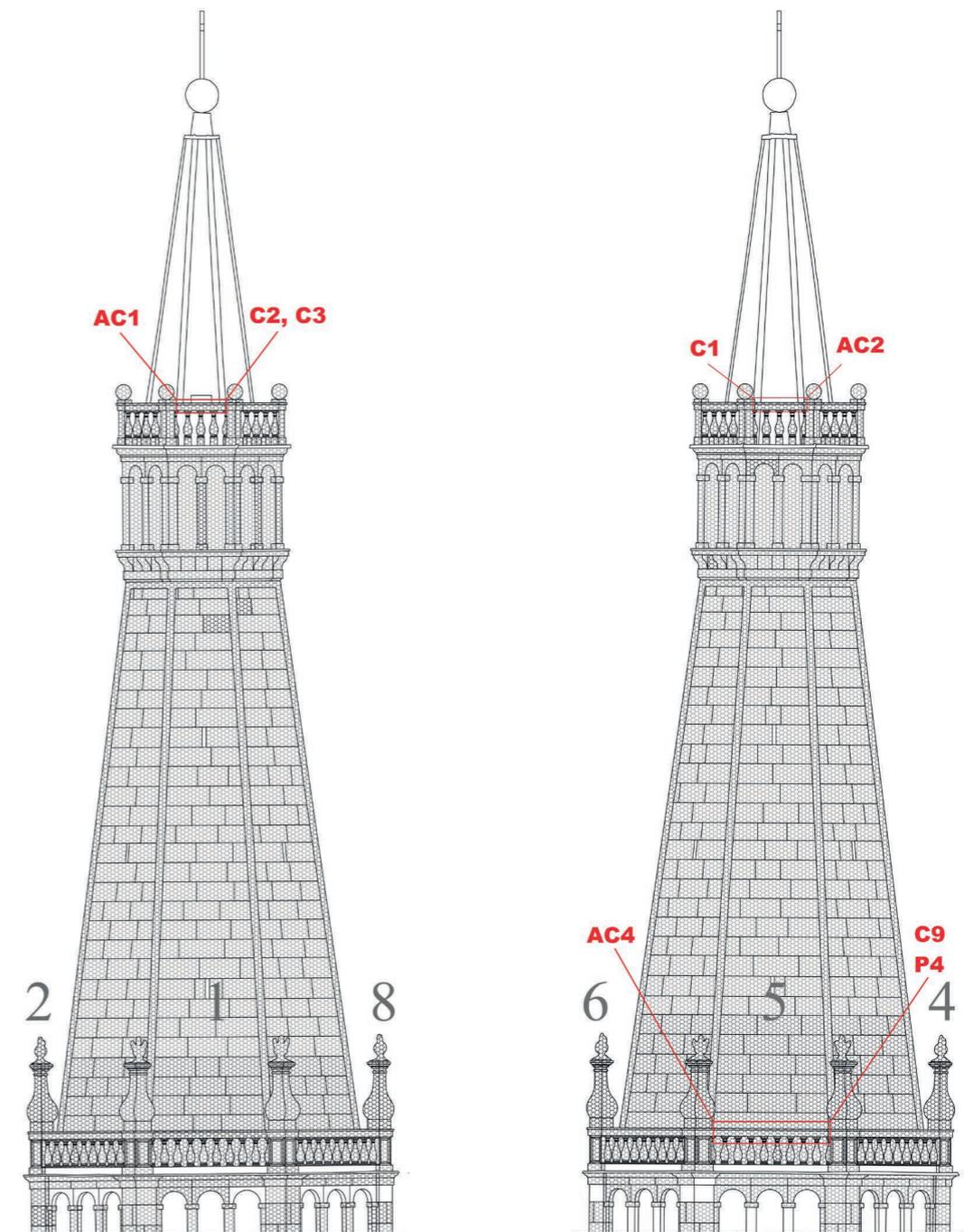


Figura 1. Alcune aree test monitorate per il Piano di manutenzione.

Nel complesso la torre della Ghirlandina ha rappresentato un'esperienza completa nella quale le diverse voci degli specialisti hanno trovato spazio e giusto peso a dimostrazione della vocazione strettamente pluridisciplinare del restauro.

Scheda a colori

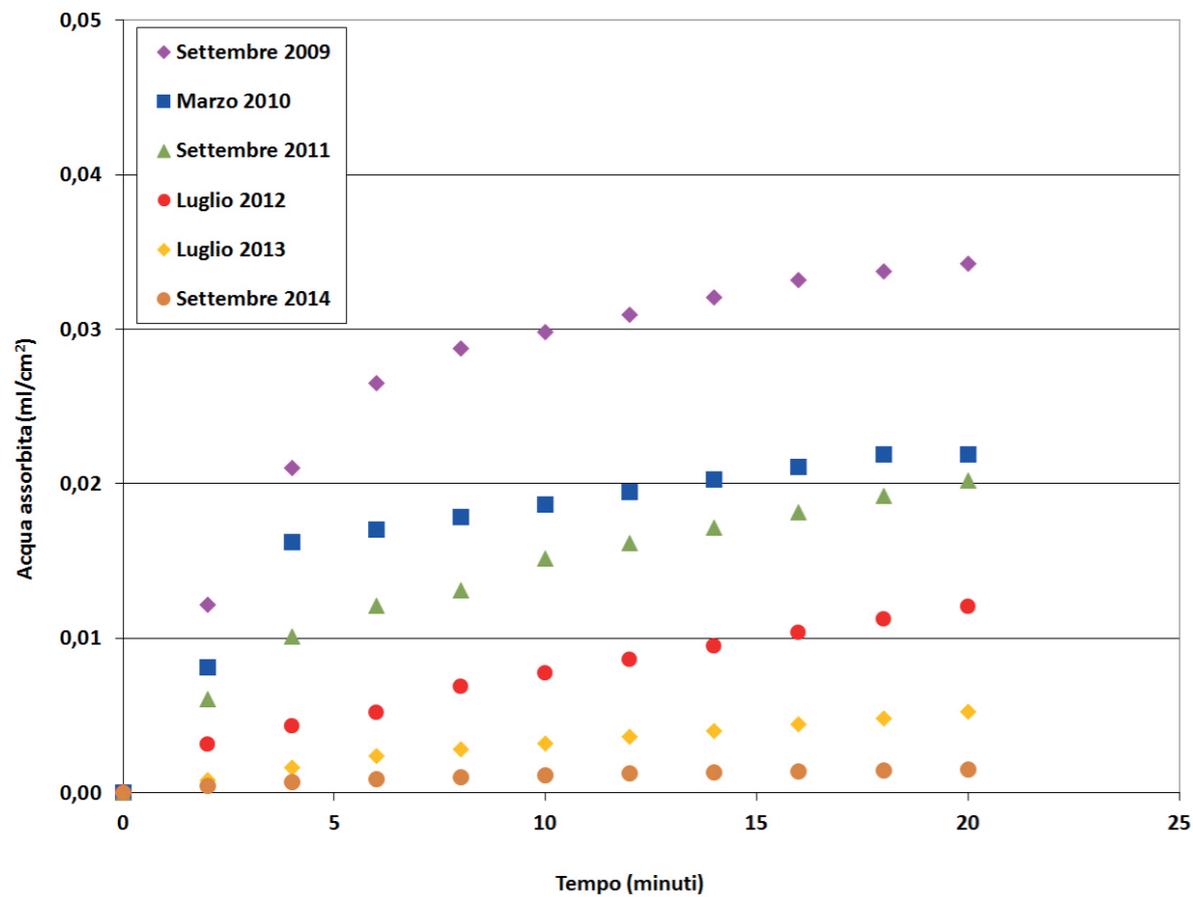
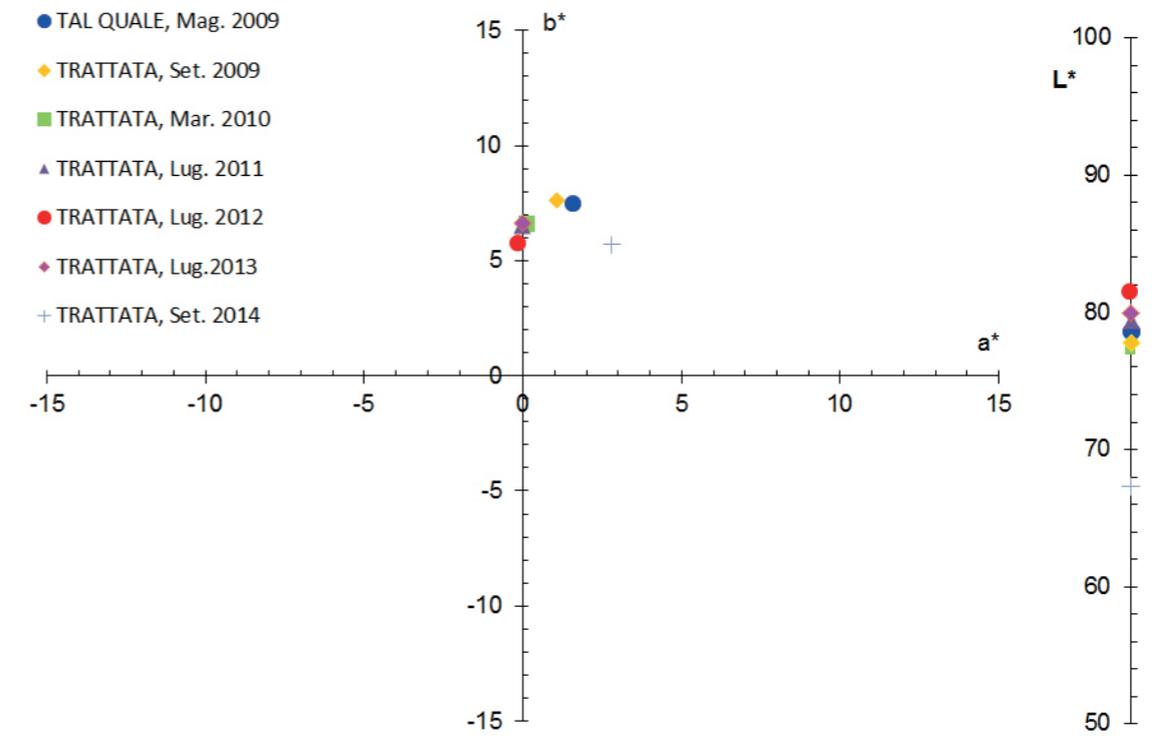
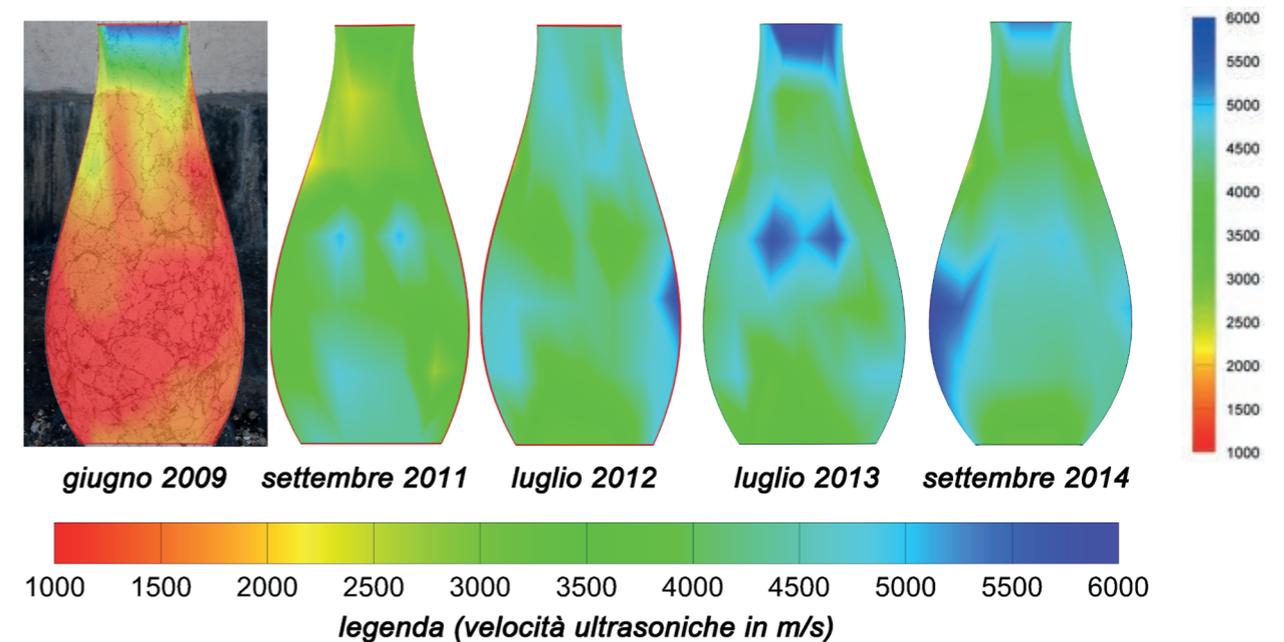


Grafico dell'assorbimento d'acqua a bassa pressione (metodo della pipetta)



Misure delle coordinate di tristimolo del colore

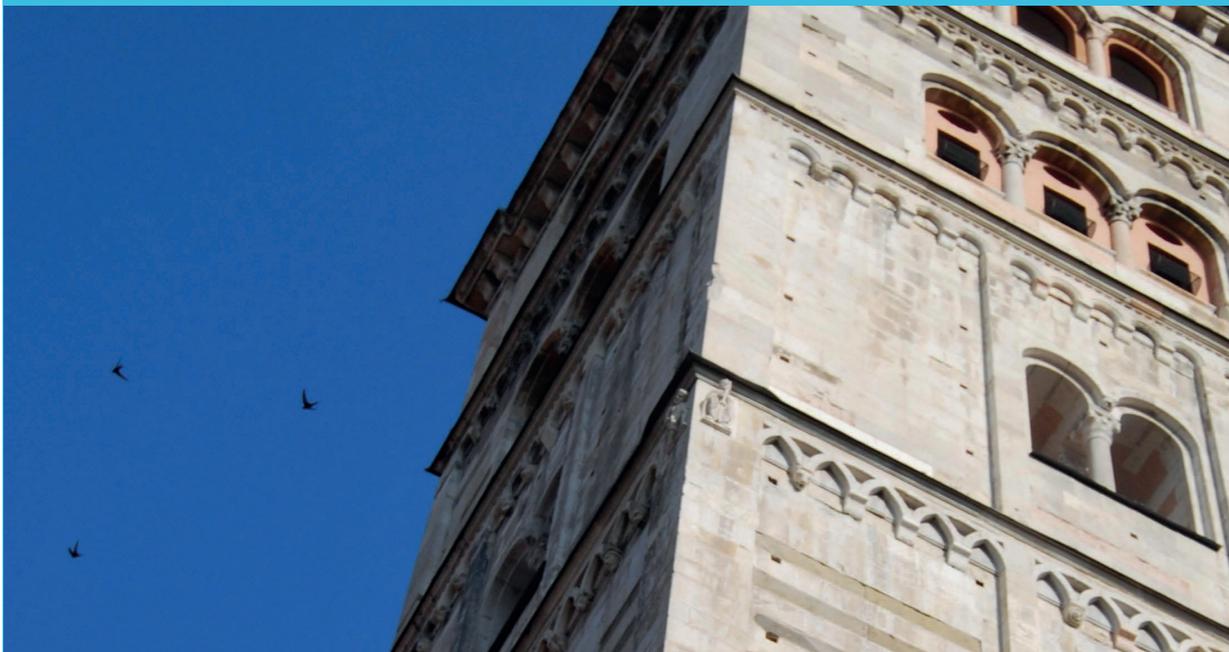


Sondaggi ultrasonici su una delle colonnine della balustra (a destra di riporta la legenda delle velocità sonore in m/s)

BUCHE PONTAIE SELETTIVE PER FAVORIRE I RONDONI ED ESCLUDERE I COLOMBI DALLA GHIRLANDINA

M. Ferri¹, M. Ferraresi¹, A. Gelati¹, R. Cadignani², G. Rossi³, U. Tigges⁴

¹AUSL, Servizio Veterinario, Modena, ²Servizio Edifici Storici, Comune di Modena, ³AsOER (Ass. Ornitologi Emilia Romagna), ⁴Common Swift-APUSlife



4. 5 luglio 2013: un gruppetto di rondoni subadulti in volo attorno alle buche che ospitano le coppie nidificanti

Introduzione

Dalla metà degli anni novanta il Comune di Modena ha iniziato ad affrontare la gestione delle colonie problematiche dei colombi randagi

sostenendo l'uso di "punte antiappoggio" per grondaie, cornicioni, davanzali e mensole nonché l'uso di reti antivolatile per nicchie, cavedi e cortili interni, con lo scopo di ridurre i siti di riposo e quelli adatti per la nidificazione e dal 2007 il Servizio Veterinario dell'AUSL di Modena collabora al progetto applicando i principi dell'*Integrated Pest Management* (IPM) per ottimizzare gli interventi gestionali possibili sulle colonie più critiche. In particolare nel 2008 sono stati individuati nel centro storico sette assembramenti particolarmente critici di colombi, per un totale di 1060 individui, sottoposti anche a controllo della fertilità con nicarbazina, ottenendo la riduzione a 248 capi (febbraio 2013). La colonia gravitante su piazza Grande era costituita da 180 colombi che gravitavano soprattutto sulle nicchie del Duomo e della torre Ghirlandina, perciò quando il Comune ha manifestato l'esigenza di restaurare la torre, il Servizio Veterinario ha proposto di escludere i colombi dalle sue 200 buche puntaie ma senza penalizzare le piccole specie insettivore. In particolare era noto che il rondone comune *Apus apus* era una specie ben presente in piazza Grande, con circa un centinaio di soggetti nidificanti sotto i coppi dei tetti dei palazzi e sulle pareti del Duomo e della Ghirlandina. Pertanto la tutela delle colonie di rondoni di piazza Grande è stata proposta come segno concreto di preparazione al *2010 Anno europeo di tutela della Biodiversità* con l'obiettivo di favorirne la riproduzione e aiutando anche i piccoli passeriformi; ma il progetto aveva anche l'obiettivo di favorire i chiroteri fessuricoli noti per il centro storico cittadino (pipistrello albolimbato *Pipistrellus kuhlii*, pipistrello nano *Pipistrellus pipistrellus* e Pipistrello di Savi *Hypsugo savii*; fonte: CRAS Il Pettiroso, Modena), raccogliendo così l'invito di UNEP (*United Nations Environmental Program*), CMS (*Convention on Migratory Species*) ed EURO-BATS (*The Agreement on the Conservation of Populations of European Bats*) per il *2011-2012 International Year of the Bat*.

L'esclusione selettiva dei colombi dalle buche puntaie

La torre civica, al pari di molti edifici storici è stata innalzata ricorrendo a ponteggi esterni, in legno, che venivano ancorati alle mura con travi inserite in opportune nicchie (*buche puntaie*) che in genere ad opera ultimata venivano conservate per future esigenze di manutenzioni e riparazioni; la regolarità di impianto delle buche ha finito per caratterizzare le facciate di chiese, campanili, torri e mura con serie, per diventare una sorta di ornamento

del monumento stesso ma purtroppo la loro dimensione (10-15 x 10-15 cm) e profondità (lo spessore del muro) sono una forte attrazione per i colombi (figura 1) e per porvi rimedio purtroppo anche la manualistica specializzata ha finito per indicare sommariamente la strada della loro chiusura totale. È per questo motivo che le nicchie e le buche puntaie di molti monumenti in Italia e ed anche nella nostra città sono state irrimediabilmente sigillate (figura 2) con i metodi più disparati (muratura, reti, aghi) ma sicuramente letali per gli animali presenti e vanificanti ogni altro possibile rapporto fra edificio e biodiversità. Il Servizio Veterinario dell'ASL ha invece suggerito di escludere i soli colombi mantenendo le nicchie accoglienti per i rondoni e per altre piccole specie animali insettivore. Si è pertanto tenuto conto delle verifiche di campo fatte *ad hoc* sulla capacità dei colombi di più piccole dimensioni di infilarsi in spazi alti 7 cm a larghi 10 cm, delle caratteristiche dei fori di accesso alle camere nidificatorie artificiali delle *torri rondonare* (Ferri, 1990; Ferri, 2011 in stampa) e dell'esperienza fatta nel 2003 con le buche puntaie della Torre dei Modenesi in Nonantola, MO, (Imperiale & Ferri, 2005: www.swift-conservation.org/Spain.html; Imperiale, 2011), individuando come sintesi un prototipo di riduttore (figura 3) ancor più economico, di facile messa in opera e di buon effetto estetico. In pratica, uno spigolo ritagliato da un mattone e messo sulla soglia delle nicchie doveva fa risultare un piano inclinato di circa 45° verso l'esterno (per scoraggiare l'appoggio dei colombi) e uno interno più declive per facilitare il movimento dei futuri ospiti; in tal modo l'aspetto esterno della buca puntaia veniva conservato ma ridotto a una fessura di 3,5-5 cm x 10-13 cm, ed è in questa caratteristica dimensionale che si estrinseca la selettività dell'esclusione. Infatti tale dimensione è stata scelta *ad abundantiam* tra i parametri suggeriti dalla bibliografia (Rabacchi, 1999; Premuda et al., 2000) e dai nidi artificiali in commercio (CISNIAR, Schwegler) per i rondoni comuni *Apus apus* nonché per eventuali rondoni pallidi (*Apus pallidus*) e maggiori (*Apus melba*), ora rari nella nostra regione ma pur presenti nel centro storico di Bologna (Leoni, com. pers.; Caselli, com. pers.), e permettere l'accesso anche ai piccoli insettivori. La presenza della taccola *Corvus monedula* sulla torre del Duomo (30-40 individui negli anni '70, Ferri, osservazione personale) è stata inizialmente tenuta in considerazione anche a ragione delle sue potenzialità come predatore di colombi ma alla fine si è preso atto che i 10x10 cm adatti per questa specie (Premuda et al., 2000) avrebbero continuato a favorire anche i colombi, vanificando quindi il progetto.

Gli interventi

Nel periodo 2008-2011 complessivamente sono state modificate 120 buche puntaie localizzate nella parte medio alta del corpo principale della Ghirlandina, mentre una ottantina (livello inferiore) sono state chiuse con rete per la ventilazione dell'interno dell'edificio. Il metodo in adozione sulla Ghirlandina è stato positivamente collaudato (Ferri *et al.*,

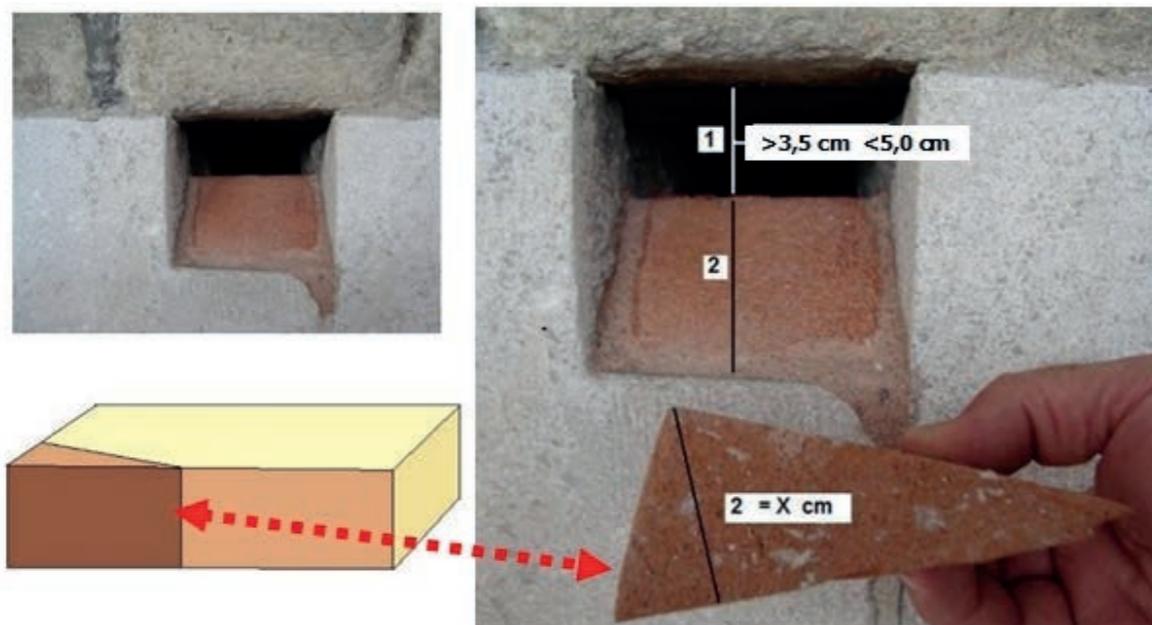


1. Colombo in cova in una buca puntaia della Ghirlandina prima dell'inizio dei lavori di restauro



2. Buca puntaia completamente otturata, come misura anti-colombo

3. Prototipo di buca puntaia selettiva per l'esclusione dei colombi e utilizzabile da rondoni e altri piccoli animali. Angolo di mattone tagliato a misura per essere posizionato e buca puntaia modificata con misure e proporzioni dello sbarramento (2) e della fessura (1) risultante. Dalla scheda usata come guida per le modifiche realizzate sulla Ghirlandina

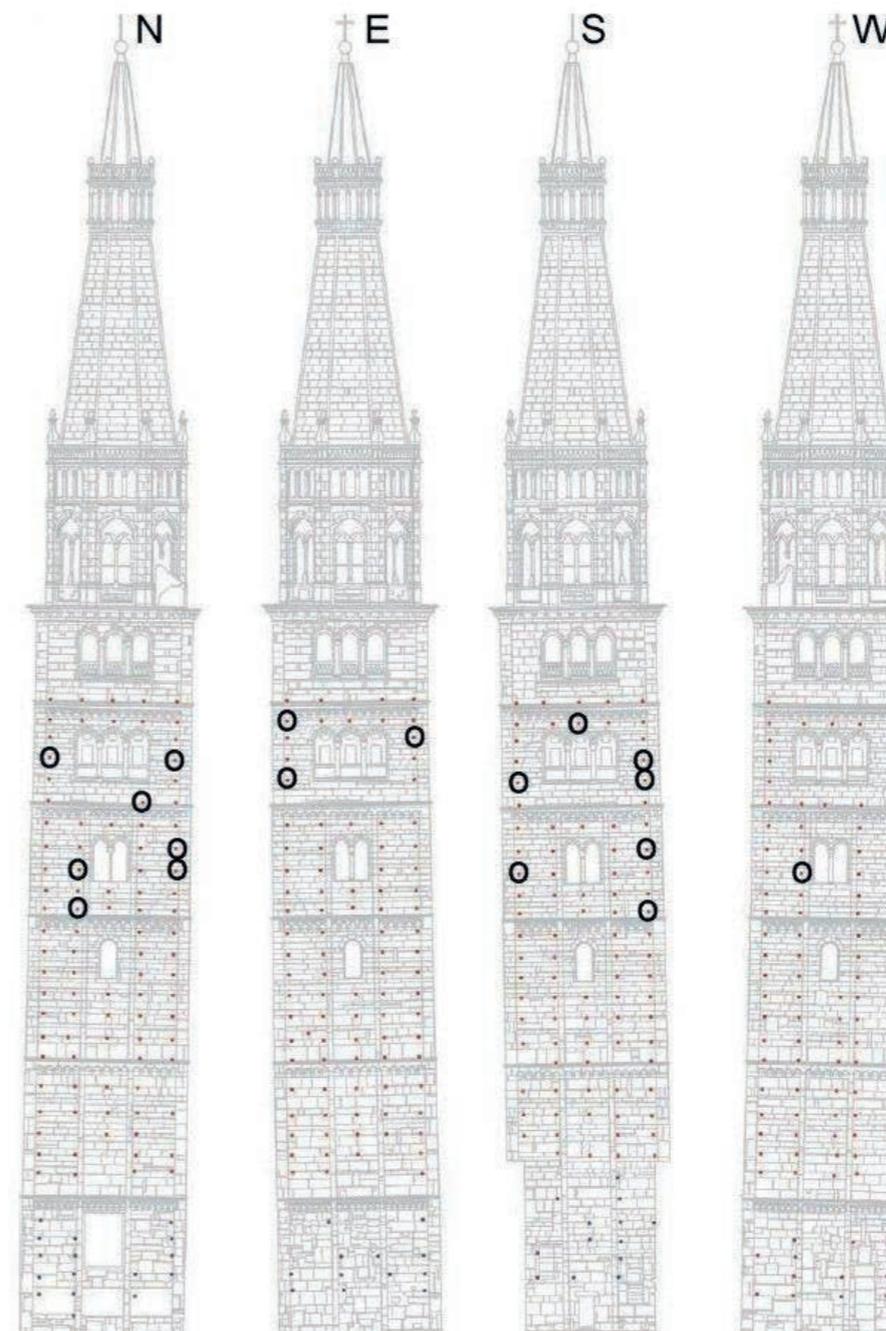


2011, in stampa) sul campanile parrocchiale di Melegnano (MI), è stato presentato da un sito specializzato www.swift-conservation.org/news, e infine è stato consigliato (Martine Wauters, com. pers., 2011) al Comune di Molenbeek-Saint-Jean (Belgio) per il restauro di una palazzina. A fine settembre 2011 si è potuto confrontare la soluzione adottata con un'esperienza analoga (Luini & Viganò, 1995) fatta su nicchie di 16x16 cm da destinare ad una cella nidificatoria adatta per il rondone maggiore *Apus melba*. A integrazione del progetto è stata realizzata una cassetta-nido per i falchi pellegrini *Falco peregrinus* che da oltre un decennio usano come posatoi i balconi e i davanzali della torre, anche corteggiandosi (Ferri, osservazioni dirette e foto) ma senza riprodursi.

I risultati

Dall'inizio della primavera 2012 le nicchie puntaie modificate della Ghirlandina sono state disponibili per i rondoni ma, come previsto, quell'anno i rondoni si sono reinsediati nei nidi ormai in uso da tre anni, in genere sotto i coppi delle altane, degli abbaini e dei comignoli della zona. Nell'aprile 2013 invece alcuni rondoni (riproduttori e visitatori) sembravano frequentare le nuove buche e alla fine di maggio erano osservabili visite frequenti che suggerivano presenza di pulli nei nidi (figura 4), anche con voli di significato territoriale con le ali <a V> (Fig. 5). Osservazioni metodiche sono state fatte nel periodo 2-5 luglio 2013 e sono state individuate almeno 18 buche frequentate con assiduità (figura 6), pari al 15% del disponibile, ma i dati sono cautelativi perché è possibile che siano state svezate o abbandonate nidiate anche prima dei rilievi. Inoltre è stata osservata una coppia

Buche puntaie selettive per favorire i rondoni ed escludere i colombi dalla Ghirlandina

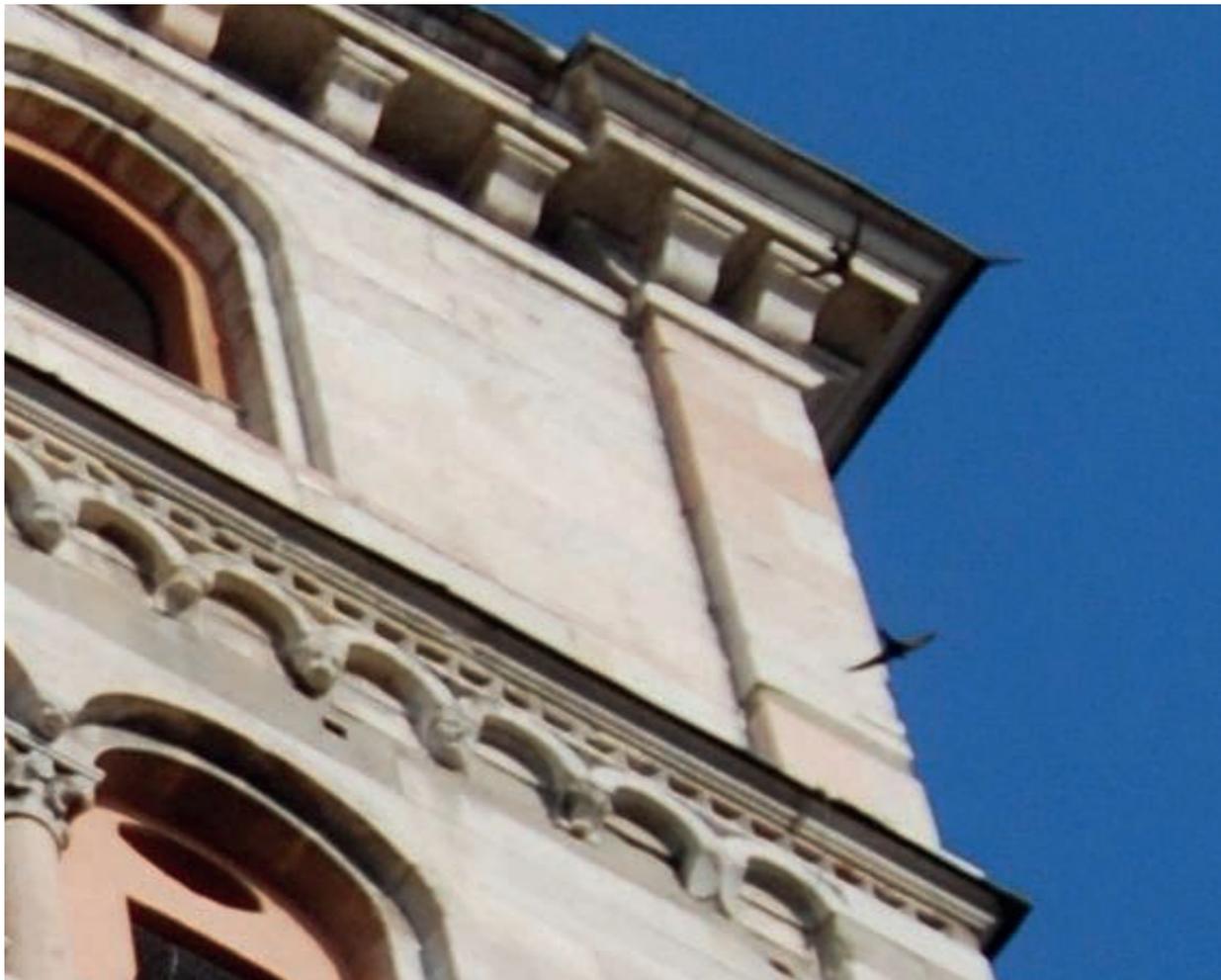


6. Distribuzione delle buche puntaie selettive con presenza di rondoni, sulle 4 facciate della Ghirlandina, rilievi del 2-5 luglio 2013

di codirosso spazzacamino *Phoenicurus ochruros* cacciare insetti sulla parte medio-alta della torre usando come posatoi le balaustre della cupola, i cornicioni, i davanzali e le entrate di alcune buche.

Considerazioni finali sulle buche selettive

Il metodo adottato è stato discusso nel corso di convegni specialistici, in Italia e all'estero (Ferri *et al.*, 2011; Ferri *et al.*, 2011) e si spera possa contribuire ad arrestare la chiusura totale delle buche pontai e sulle mura dei monumenti italiani, una pratica disgraziatamente generalizzata in Italia che non solo danneggia la biodiversità urbana ma costituisce una minaccia per il benessere animale. Infatti si può ritenere che la chiusura totale di buche



5. Rondone comune in parata con ali <a V> nei pressi del nido

pontai e continui a causare una crudele morte per inedia e/o soffocamento degli animali intrappolati (colombi, rondoni, cinciallegre, cinciarelle, codirossi, codirossi spazzacamini, passeri, chiroterri, lucertole, gechi, farfalle, falene, ghiri, nocciolini, quercini), adulti o giovani, in riproduzione, in riposo o in ibernazione. Anche l'uso di teli di protezione dei ponteggi può trasformare le impalcature in una trappola letale (nei rondoni totale) i cui effetti possono però essere evitati o attenuati da un'attenta pianificazione e gestione del montaggio e della manutenzione. In questo caso il telo è stato montato entro il gennaio 2008, due mesi prima dell'arrivo dei primi rondoni, e lo si è reso insuperabile eliminando ogni varco e fessura di più di 1 centimetro; grazie a questi accorgimenti solo 6 rondoni sono riusciti a entrare nel 2008 (fonte: CRAS Il Pettiroso, Modena) mentre solo 2-3 coppie di colombi sono riuscite a nidificarvi compiendo complicati tragitti pur di utilizzare le nicchie non ancora modificate.

Considerazioni finali sulla nidificazione dei falconi

La presenza di falconi durante i lavori è rimasta pressoché costante sulla sommità dell'impalcatura e del telo di ricopertura; è stato rilevato un episodio di intrappolamento di un esemplare di falco pellegrino penetrato dalla sommità forse per inseguire un colombo: un contatto telefonico urgente via smartphone ha permesso di stabilire come buone le condizioni dell'animale (un giovane dotato di un anello identificativo d'acciaio, non leggibile sulla foto, forse un soggetto inanellato al nido nella vicina Bologna) e di rilasciarlo immediatamente.

Dal momento della rimozione di telo e impalcatura falconi singoli sono stati regolarmente osservati sui balconi e cornicioni della sommità; alcune visite di controllo già nel marzo-aprile del 2013 hanno potuto accertare la presenza costante di una femmina con comportamento territoriale e un costante ed elevato apporto di prede soprattutto sull'ultimo balcone e sulle mensole delle nicchie sottostanti. La nicchia artificiale installata è risultata regolarmente frequentata sia nel 2013 che nel 2014 ma senza segni di nidificazione. Il primo luglio 2014, sono stati osservati, fotografati (Ferri) e filmati (Oropendola Productions) due falconi interagenti con voli e forti richiami (fig. 7); le loro immagini sottoposte anche all'esame di esperti si sono confermati come un giovane appena involato (fig. 8) e un adulto, verosimilmente un genitore, al quale chiedeva probabilmente cibo. La data della osservazione corrisponde in questa specie con l'ultimissima fase di allevamento dei pulli che lasciano il nido per i primi voli e seguono i genitori nei posatoi nei pressi del nido per essere ancora nutriti prima di essere allontanati dalla zona del nido in cui sono nati. La ripetizione delle osservazioni (Gelati) ha confermato la presenza sulla Ghirlandina di un pullo con i genitori. Non è stato possibile individuare alcun nido sulla torre pur non potendo escludere la possibilità di un utilizzo di spazi non controllabili sporgendosi dai



7. I due falconi dell'1.7.2014 mentre si richiamano, Il giovane in volo e un adulto sul cornicione (foto Ferri)



8. Il falcone del primo avvistamento dell'1.7.2014; caratteristica la livrea da immaturo (foto Ferri)

Buche pontate selettive per favorire i rondoni ed escludere i colombi dalla Ghirlandina

balconi anche se nei palazzi attorno alla torre non sono da escludere siti adatti per queste nidificazioni sui tanti elementi architettonici (altane, sopralzi, abbaini, torricini) che arricchiscono l'insondabile panorama del Duomo e dei tetti attorno alla Piazza Grande.

Ringraziamenti

A Ulrich Tigges di Common Swift-APUSlife per i rilevamenti della presenza di rondoni in riproduzione sulla torre, il 2-5 luglio 2013. Ai siti web www.swift-conservation.org e al sito www.commonswift.org per la condivisione e per il valido sostegno fornito alla tutela dei rondoni in Europa. A Oropendola Productions (<http://oropendolaproductions.com> per la visione del materiale video sui falconi ripresi sulla Ghirlandina l'1.7.2014; a Giorgio Leoni (AsOer) e Giorgio Nini per i pareri sui falconi fotografati sulla torre a partire dal 1.7.2014.

Bibliografia

Rilievi metrici 3D Laser scanning: la Torre e le sculture

Bertacchini E., Capra A., Castagnetti C., Dubbini M., Rivola R., Toschi I. (2011), *Utilizzo del laser scanner per i beni culturali: analisi dell'assetto geometrico strutturale e di specifiche anomalie geometriche*. In: ATTI Conferenza ASITA 2011 - Parma, pp. 315-322. ISBN: 9788890313264.

Capra C., Bertacchini E., Castagnetti C., Dubbini M., Rivola R., Toschi I. (2011), *Rilievi laser scanner per l'analisi geometrica delle torri degli Asinelli e Garisenda*. INARCOS, vol. 4, pp. 35-42, ISSN: 0391-6537.

Castagnetti C., Bertacchini E., Capra A., Dubbini M. (2011), *Il laser scanning terrestre per l'analisi di edifici di interesse storico ed artistico*. In: Ambrogio Manzano e Anna Spalla, *Geomatica - le radici del futuro (tributo a Sergio Dequal & Riccardo Galetto)*, pp. 99-108. Cagliari, Edizioni SIFET. ISBN: 9788890193965.

Boehler, W., Heinz, G., and Marbs, A. (2001), *The potential of non-contact close range laser scanners for cultural heritage recording*. Proc., 18th Int. Symposium of CIPA, Potsdam, Germany, 8.

Cadignani, R. (2009). *La torre Ghirlandina. Un progetto per la conservazione / The Ghirlandina Tower. Conservation Project*. Luca Sossella editore, Roma, p. 288. ISBN 8889829729.

Cadignani, R. (2010). *La Torre Ghirlandina. Storia e restauro*. Luca Sossella editore, Roma, p. 320. ISBN: 9788889829912.

Le pietre, le malte e il degrado della torre Ghirlandina

Lugli S., 2010. *Dall'Egitto all'Istria: viaggio tra le pietre di Modena*. Atti del Convegno "Geologia urbana di Modena: sostenibilità ambientale e territoriale", 21 novembre 2008, Modena. Geologia dell'Ambiente, 2/2010, 31-41.

Lugli S. e Cadignani R., 2012. *La Torre Ghirlandina, il restauro e il terremoto*, Atti Società dei Naturalisti e Matematici di Modena, 142, 143-151; Lugli S., Lanzoni G., Melloni C., 2010. *Le balconate e le pietre della cuspide: dal rilievo al restauro*, in *La Torre Ghirlandina: storia e restauro*, a cura di R. Cadignani e S. Lugli, Luca Sossella editore, Roma, 252-263.

Lugli S., Marchetti Dori S., Zolli K., Melloni C., Pedrazzi S., Maiorano C., 2010. *I materiali da costruzione nell'interno della torre: le pietre, i mattoni, le malte, gli intonaci*, in *La Torre Ghirlandina. Storia e restauro*, a cura di R. Cadignani e S. Lugli. Luca Sossella editore, Roma, pp. 178-189.

Lugli S., Papazzoni C.A., Gavioli S., Melloni C., Rossetti G., Tintori S. e Zanfognini R., 2009, *Le pietre della Torre Ghirlandina*, in *La Torre Ghirlandina. Un progetto per la conservazione*, a cura di R. Cadignani. Luca Sossella editore. 96-117.

Lugli S., Corradini L., Pedrazzi S., *Mappatura dei fenomeni di degrado*, in *La Torre Ghirlandina. Un progetto per la conservazione*, a cura di R. Cadignani, Luca Sossella editore, Roma 2009, pp. 118-129

Torre Ghirlandina: caratterizzazione delle murature, indagini statiche e dinamiche

Carbone, I.V., Fiore, A., Pistone, G., *Le costruzioni in muratura*, Hoepli, Italy, 2001, pag. XII-324.

Pascale, G., Bonfiglioli, B., Colla, C., "Tecniche di indagine non distruttiva per la diagnostica strutturale della muratura, alla luce delle recenti normative antisismiche", Proc. of Conferenza Nazionale sulle Prove non Distruttive, Monitoraggio, Diagnostica, Milano, October 13-15, 2005, AIPnD Brescia 2005.

Arduini, M., Di Leo, A., Di Tommaso, A., Pascale, G., "Experimental methods for on-site evaluation of the mechanical properties of masonry", Proc. of the 10th International Brick and Block Masonry Conference, Calgary, 5-7 July, 1994, pp. 1267-1275.

Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri - 09 febbraio 2011 - "Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineate alle nuove Norme tecniche per le costruzioni (d.m. 14 gennaio 2008)".

Colla, C., Pascale, G., Gabrielli, E., Di Tommaso, A., Ubertini, F., (2012), "Masonry assessment for the seismic risk evaluation of historic structures", *Developing the future of masonry*, Atti di 15th International Brick and Block Masonry Conference (15th IB2MaC), a cura di H.R. Roman, G.A. Parsekian, Florianopolis, Brazil, June 3th - 6th, 10 pp., ISBN 978-85-63273-10-9.

Il ruolo del monitoraggio e dell'identificazione dinamica nella conservazione del costruito storico

Blasi C., Capra A., Coisson E. e Lancellotta R. (2009), *I dati del monitoraggio per la comprensione dei movimenti della torre Ghirlandina*, in *La Torre Ghirlandina. Un progetto per la conservazione*, Luca Sossella editore, Roma, pp. 194-205.

Di Tommaso A., Lancellotta R., Focacci F. e Romano F. (2010), *Uno studio sulla stabilità della Torre Ghirlandina*, in *La Torre Ghirlandina. Storia e restauro*, Luca Sossella editore, Roma, pp. 204-217.

Di Tommaso A., Lancellotta R., Sabia D., Costanzo D., Focacci F. e Romano F. (2013), *Dynamic identification and seismic behaviour of Ghirlandina Tower in Modena (Italy)*, 2nd Int. Symposium on Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites, Napoli.

Lancellotta R. (2009), *Aspetti geotecnici nella salvaguardia della torre Ghirlandina*, in *La Torre Ghirlandina. Un progetto per la conservazione*, Luca Sossella editore, Roma, pp. 178-193.

Lancellotta R. e Sabia D. (2013), *The role of monitoring and identification techniques on the preservation of historic towers*. Keynote Lecture, 2nd Int. Symposium on Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites, Napoli.

Buche pontae selettive per favorire ed escludere i colombi dalla Ghirlandina

Ferri M., 1990, "La Provincia informa", 44 (V-VI): 42-44.

Ferri M., Ferraresi M., Gelati A., Zannetti G., Ubaldi A., Contiero B., Bursi E., 2009 - "Annali della Facoltà di Medicina Veterinaria", Vol. XXIX/2009, 91-102.

Luini G., Viganò A., 1995, Monografia A.S.O.I.M., n. 5, Electa, Napoli, pp. 36-38.

Minelli F. e Ferri M., 1993 (1992), *Natura modenese - Organo del Museo Civico di Storia naturale ed ecologia di Marano sul Panaro*, (2) 1992: 30-32.

Rabacchi R. 1999, Cierre Edizioni, Sommacampagna (VR): 1-247.

Premuda G., Bedonni B., Ballanti F., 2000, Calderini Edagricole, Bologna; 1-414.

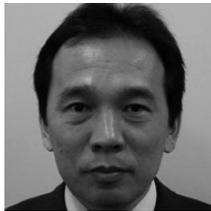
Imperiale A.- 2011, Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, 141 (2010), pp. 195-205.

Ferri, M., Ferraresi, M., Gelati, A., Zannetti, G., Domenichini, A., Ravizza, L., Cadignani, R., 2011 - Control of the urban pigeon *Columba livia* population and the preservation of Common swift *Apus apus* and bats *Chiroptera* during the restoration of the Ghirlandina tower in the city of Modena (Italy). In: Jens Jacob, Alexandra Esther. (Editors), 8th European Vertebrate Pest Management Conference, Berlin, Germany, 26-30 September 2011; Book of Abstract, Julius-Kuhn Arkiv 432, 2011; 133-135.

Ferri M., 2011, La tutela delle ultime rondone e passare artificiali storiche, tra eredità storico-architettoniche e suggerimenti gestionali per la conservazione e per le attività di ricerca su rondoni *Apus sp.* e passeri *Passer sp.*; in Atti: XVI Convegno Italiano di Ornitologia, Cervia, sett. 2011. *In corso di stampa*.

Ferri M., Ferraresi M., Gelati A., Domenichini A., Zannetti, G., Ravizza L. e Cadignani R., 2011, Esclusione selettiva del colombo dalle buche pontae degli edifici storico-monumentali, a vantaggio di rondoni *apus apus* e chiropteri *Chiroptera*. In Atti: XVI Convegno Italiano di Ornitologia, Cervia, sett. 2011. *In corso di stampa*.

Gli autori



TAKAYOSHI AOKI
Professore al Dottorato di Design e Architettura dell'Università di Nagoya City. I suoi interessi di ricerca sono nel campo dell'indagine dinamica, analisi strutturale e valutazione della sicurezza strutturale sul patrimonio culturale. Guida numerosi progetti di ricerca, in diversi campi d'interesse e coordina i ricercatori provenienti da varie università. Attualmente è nel comitato di redazione dell'International Journal of Architectural Heritage ed è membro della delegazione del governo giapponese per il terremoto dell'Aquila. In collaborazione con il Politecnico di Torino, si occupa del monitoraggio dinamico della torre Ghirlandina.



ELEONORA BERTACCHINI
Nata a Reggio Emilia nel 1982, consegue la laurea in ingegneria ambientale nel 2007 e il titolo di dottore di ricerca in High Mechanics and Automotive Design & Technology nel 2012 presso l'Università di Modena e Reggio Emilia. Ha svolto ricerca sui sistemi di monitoraggio frane e sul telerilevamento. Dal 2014 è co-fondatore e amministratore di GEIS Srl, spinoff dell'Università di Modena e Reggio Emilia.



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).



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 Panthéon 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.



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.



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".



CRISTINA CASTAGNETTI
Nata a Reggio Emilia nel 1982, consegue la laurea in ingegneria ambientale nel 2006 e il titolo di dottore di ricerca in High Mechanics and Automotive Design & Technology nel 2010 presso l'Università di Modena e Reggio Emilia. Ha svolto ricerca sui sistemi integrati per il controllo deformazioni. Dal 2014 è co-fondatore e vice-presidente di GEIS Srl, spinoff dell'Università di Modena e Reggio Emilia.



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.



CAMILLA COLLA
Laureata a Milano in Architettura nel 1993, ha conseguito il dottorato di ricerca in Ingegneria civile presso l'Università di Edimburgo, seguito da un post-doc presso il Bam a Berlino dove nel 2001 è divenuta Project Leader. Dal 2004 presso l'Università di Bologna è ricercatrice nell'ambito dello sviluppo di tecniche diagnostiche non distruttive di strutture storiche murarie e lignee. Ha pubblicato più di settanta lavori scientifici e ha partecipato a cantieri diagnostici di strutture e infrastrutture in vari Paesi europei.



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.



GUIDO DRIUSSI
Direttore delle attività di ricerca e sperimentazione della 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).



MAURIZIO FERRARESI
Laureato in Medicina Veterinaria, Scienze Naturali e Acquacoltura e ittopatologia. Dal 1988 è Veterinario Ufficiale presso il Dipartimento di Sanità Pubblica Area Dipartimentale Sanità Pubblica Veterinaria e della Ausl di Modena, per l'Area IPCAOA. Dal 1988 si è dedicato alle problematiche di igiene urbana, con particolare interesse per il colombo randagio per il quale col collega Gelati ha individuato un chemio regolatore orale della fertilità e svolgendo il

ruolo di investigators nella procedura di assegnazione di AIC. Dal 2006 ha partecipato alla predisposizione di un sistema per la qualità gestionale della ADSPV. Dal 2012 si occupa delle problematiche di igiene urbana dell'Area nord di Modena.



MAURO FERRI

Dopo la maturità classica si è laureato in Medicina Veterinaria, conseguendo anche una specializzazione e poi un master in Gestione degli agroecosistemi e sviluppo sostenibile. Nel periodo 1983-2003 è stato dirigente presso il Servizio faunistico della Provincia di Modena; dal 2003 al 2014 è stato Veterinario Ufficiale presso il Dipartimento di Sanità Pubblica, Area Dipartimentale Sanità Pubblica Veterinaria, della Ausl di Modena, con incarichi nell'Area di sanità animale e poi anche referente di area vasta e aziendale per gli aspetti sanitari degli animali selvatici. Ha collaborato Provincia di Modena, Regione Emilia Romagna, Università di Bologna, Università di Torino e Fondazione dell'Istituto Zooprofilattico della Lombardia e dell'Emilia Romagna sugli aspetti di igiene e sanità della selvaggina abbattuta e con le Università di Padova e di Camerino per l'entomofagia e l'insect farming. È attualmente nel CD della Società Italiana di Ecopatologia della Fauna, membro della Associazione Italiana Ittiologi Acque Dolci, della Associazione Italiana Teriologia, della Società Naturalisti e Matematici di Modena. Ha sviluppato interessi nella gestione integrata delle specie animali problematiche (colombo randagio, nutria, ungulati selvatici, corvidi). Appassionato di conservazione della fauna e di wildlife watching, dal 1985 si interessa di rondonare, passerere in Italia e di nidi artificiali storici in genere. È stato co-autore e organizzatore con Giovanni Boano (Museo Civico di Carmagnola, TO) degli <Swifts & fun - Festival dei rondoni> nel 2013 e 2014 e cofondatore nel 2013 del Gruppo Rondoni Italia che ora collega ben 28 fra associazioni, enti e gruppi.



TOMAS FIORINI

Laureato in Conservazione dei Beni Culturali, con tesi sulla miniatura irlandese, ha poi conseguito il Diploma di specializzazione in Arte Medievale presso l'Università di Parma; nel 2009-2010 ha insegnato

Storia della Miniatura presso lo stesso ateneo. Dal 2007 collabora con il Museo Civico d'Arte di Modena dove si è occupato, come co-curatore, del catalogo dei dipinti moderni. Nel 2008 ha partecipato alla mostra "Matilde e il tesoro dei Canossa" di Reggio Emilia e dal 2013 collabora con l'Ufficio Unesco del Museo modenese. Suoi ambiti di ricerca sono la storia della Galleria Poletti e gli esordi del Romanico modenese.



ANTONIO GELATI

Laureato in Medicina Veterinaria e Scienze Naturali. Da novembre 1984 è Veterinario Ufficiale presso il Dipartimento di Sanità Pubblica Area Dipartimentale Sanità Pubblica Veterinaria della Ausl di Modena,

ora col ruolo di responsabile della Unità Operativa di Mirandola. Dal 1988 si è dedicato alle problematiche di igiene urbana, con particolare interesse per il colombo randagio per il quale col collega Ferraresi ha individuato un chemio regolatore orale della fertilità e svolgendo il ruolo di investigators nella procedura di assegnazione di AIC. Collabora con la Stazione Ornitologica Modenese come inanellatore abilitato dall'ISPRA e autorizzato dalla competente Autorità Regione Emilia Romagna; è anche censitore degli uccelli svernanti riconosciuto da ISPRA. Attualmente ricopre la carica di Direttore del Museo civico di Ecologia e Scienze Naturali di Marano sul Panaro (MO).



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.



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.



RENATO LANCELLOTTA

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).



SAVERIO LOMARTIRE

Saverio Lomartire insegna Storia dell'arte medievale presso la facoltà di Lettere e Filosofia dell'Università del Piemonte Orientale. I suoi campi di ricerca sono principalmente l'architettura

e la scultura del Medioevo, ma si è interessato anche di pittura, miniatura, arti santuarie ed epigrafia. A Modena ha compiuto ricerche su alcune sculture del XII secolo, sull'epigrafia, sul cantiere e sulla scultura della cattedrale

lanfranchiano-wiligelmica e sui successivi interventi campionesi.



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 Vignolae della Rocca di Formigine (Modena). È co-curatore editoriale del volume *Evaporites through time and space* (Geological Society, Londra 2007).



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.



CESARE ANDREA PPAZZONI

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.



FRANCESCA PICCININI

Dirige il Museo Civico d'Arte di Modena. Ha curato diverse iniziative espositive, tra le quali "cui Civitas Geminiana. La città e il suo patrono" (1997-98), "Niccolò 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).



RICCARDO RIVOLA

Nato a Modena nel 1987, Riccardo consegue la laurea in ingegneria ambientale nel 2010. E' dottorando di ricerca presso il Laboratorio di Geomatica del Dip. di Ingegneria "Enzo Ferrari" occupandosi principalmente delle applicazioni del laser scanner a scopo ingegneristico. Dal 2014 è co-fondatore e presidente di GEIS Srl, spinoff dell'Università di Modena e Reggio Emilia.



GIUSEPPE ROSSI

Nato a Modena nel 1982. Ornitologo non professionista si è dedicato fin da giovane all'attività di inanellamento a scopo scientifico, conseguendo nel 2004 presso l'ISPRA l'abilitazione a inanellatore di tipo A. Ha collaborato a progetti di ricerca scientifica attraverso l'inanellamento in Svezia, Olanda e Nigeria e in diverse regioni italiane. È consigliere dell'associazione AsOER (Ass. Ornitologi Emilia Romagna), dal 2009 è coordinatore provinciale volontario per i censimenti degli uccelli acquatici svernanti (IWC) nonché validatore per la provincia di Modena

delle segnalazioni registrate sulla piattaforma ornitho.it.



DONATO SABIA

Laureato in Ingegneria Civile nel 1985 presso il Politecnico di Torino, è Professore associato di Tecnica delle Costruzioni dal 2000 presso il Politecnico di Torino. Docente di "Ingegneria Sismica" nel corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile e di "Teoria e Progetto di Strutture" nel corso di Laurea Magistrale in Architettura del Politecnico di Torino. Attività scientifica svolta su tematiche teoriche, applicative e sperimentali nell'ambito del settore disciplinare di Tecnica delle Costruzioni, indirizzata nei seguenti campi di ricerca: Diagnosi Strutturale, Sperimentazione e Identificazione strutturale dinamica lineare e non lineare, Model Updating, Vulnerabilità sismica delle strutture, Sicurezza Strutturale dei ponti ad arco in muratura, Vulnerabilità Sismica di edifici storici, Vulnerabilità sismica di strutture esistenti, Monitoraggio Strutturale. Dal 2012 è direttore del laboratorio MASTRLAB (Laboratorio Materiali e Strutture) del Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica del Politecnico di Torino.



ISABELLA TOSCHI

Laureata nel 2010 in ingegneria ambientale, nel 2014 ha conseguito il titolo di dottore di ricerca in High Mechanics and Automotive Design & Technology presso il Dip. di Ingegneria "Enzo Ferrari" dell'Università di Modena e Reggio Emilia. Si occupa di tecniche di rilievo fotogrammetriche e modellazione 3D nel campo dei Beni Culturali.



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.



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.

ARCHIVIO LEPSA SRL p. 32 foto 2.

ROSSELLA CADIGNANI p. 34, p. 38 foto 2, p. 39 foto 7, p. 40 foto 9, p. 41 foto 10 e 11, p. 42 foto 4, 5, 6, p. 43 foto 7 e 8, p. 44 foto 9, p. 45 foto 11, 12, p. 47 foto 15 e 16, p. 48 foto da 17 a 20, p. 49 foto 19, p. 50, p. 61.

EVA COISSON p. 46 foto 16.

CAMILLA COLLA p. 33 foto 6, 7, 8, 9

MAURO FERRI p. 54, p. 55 foto 2, p. 57 foto 5, p. 58 foto 7 e 8.

ANTONIO GELATI p. 55 foto 1.

SAVERIO LOMARTIRE p. 15.

LUCA LOMBROSO p. 37.

STEFANO LUGLI p. 34 foto 3.

BRUNO MARCHETTI p. 9 foto 5 e 6, p. 12 foto 3.

ROLANDO MONTANINI p. 3.

CRISTINA CASTAGNETTI p. 22.

GHIGO ROLI indice, pp. 2, 3, 4, 5, 10 foto 1, p. 9 foto 2, p. 11 foto 4, p. 12 foto 5, 25, p. 44 foto 10.

Le ditte

Consorzio ponteggi s.r.l. Gramigna di San Lazzaro di Savena, Bologna
Installazione ponteggi

Gruppo Masserdotti s.p.a., Brescia
Fornitura e installazione telo in rete microforata

Sangalli s.r.l., Brusaporto (Bergamo) e 2B, Bassi Cristiano & c. s.n.c., Esine (Brescia)
Illuminazione telo Paladino

Prove Penetrometriche, Castelnuovo (Modena)
Sondaggi meccanici e carotaggi

Solgeo di Seriate, Bergamo e So.ge. tec. s.r.l., Villa d'Adda (Bergamo)
Indagini geognostiche e geofisiche

Agisco s.r.l., Liscate, (Milano)
Monitoraggio torre Ghirlandina

Società Arcadia Ricerche s.r.l., Marghera (Venezia)
Diagnostica e campionamento dell'apparato lapideo della torre a supporto degli interventi di restauro

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

La Maddalena Restauri d'Arte s.n.c., Como
Lavori di restauro dei paramenti esterni e opere interne alla cuspide primo stralcio

Ditta Borghi Franco, Castelfranco Emilia (Modena)
Monitoraggio dello stato di conservazione del paramento esterno della torre Ghirlandina

Ditta Tracce s.r.l., Modena
Telo per rivestimento recinzione e cartellonistica

Ditta Guerrino Pivato s.p.a., Onè di Fonte (Treviso)
Lavori di restauro dei paramenti esterni primo stralcio

Ditta Vetreria Crystalglass, Modena
Fornitura e installazione di vetro stampato nella scala della cuspide

Ditta Sicurpall s.r.l., Bomporto (Modena)
Installazione linea vita nella cuspide della Torre

Ditta Elettro-in, Modena
Impianto d'illuminazione della Cuspide

Ditta Carpenteria Paredi s.n.c., Canzo (Como)
Fornitura e installazione di mensole metalliche per rinforzo sostegni scala della cuspide

Ditta E.L.L.E. Metalli, Lurate Caccivio (Como)
Fornitura e installazione di lastre in piombo

Cave Bonaldi, S. Ambrogio Valpolicella (Verona)
Fornitura materiale per ricostruzione colonnine balaustre

Ditta Marmi Serafini, Chiampo (Vicenza)
Esecuzione colonnine balaustre

Ditta Enrico Ziche, Chiampo (Vicenza)
Fornitura colonnine balaustre ed altri lavori

Lepsa srl (Roma)
Esecuzione del restauro dei paramenti esterni del secondo stralcio

I professionisti

Mimmo Paladino, artista
Rivestimento ponteggio con un'opera d'arte contemporanea

Nicolino Fiorillo, architetto, Pago Veiano (Benevento)
Elaborazione tecnica alla progettazione preliminare telo Paladino

Studio Cannata & Partners Lighting Design srl, Benevento
Elaborazione tecnica illuminazione telo Paladino

Sipral s.r.l., Modena, Marco Bruini e Sandro Menozzi, ingegneri
Coordinatori sicurezza in progettazione ed esecuzione

Elisabetta Longega, Salgareda (Treviso), esperta
Test sperimentali sull'apparato lapideo della Torre a supporto degli interventi di restauro

Scaff Studio di Vigenza (Padova), Lucca Bergamin, ingegnere
Progettista e direttore tecnico del ponteggio metallico installato

Beccantini Gabriele
Ditta L'A.R.C.A., Modena
Esecuzione sondaggi nel piano interrato della Torre

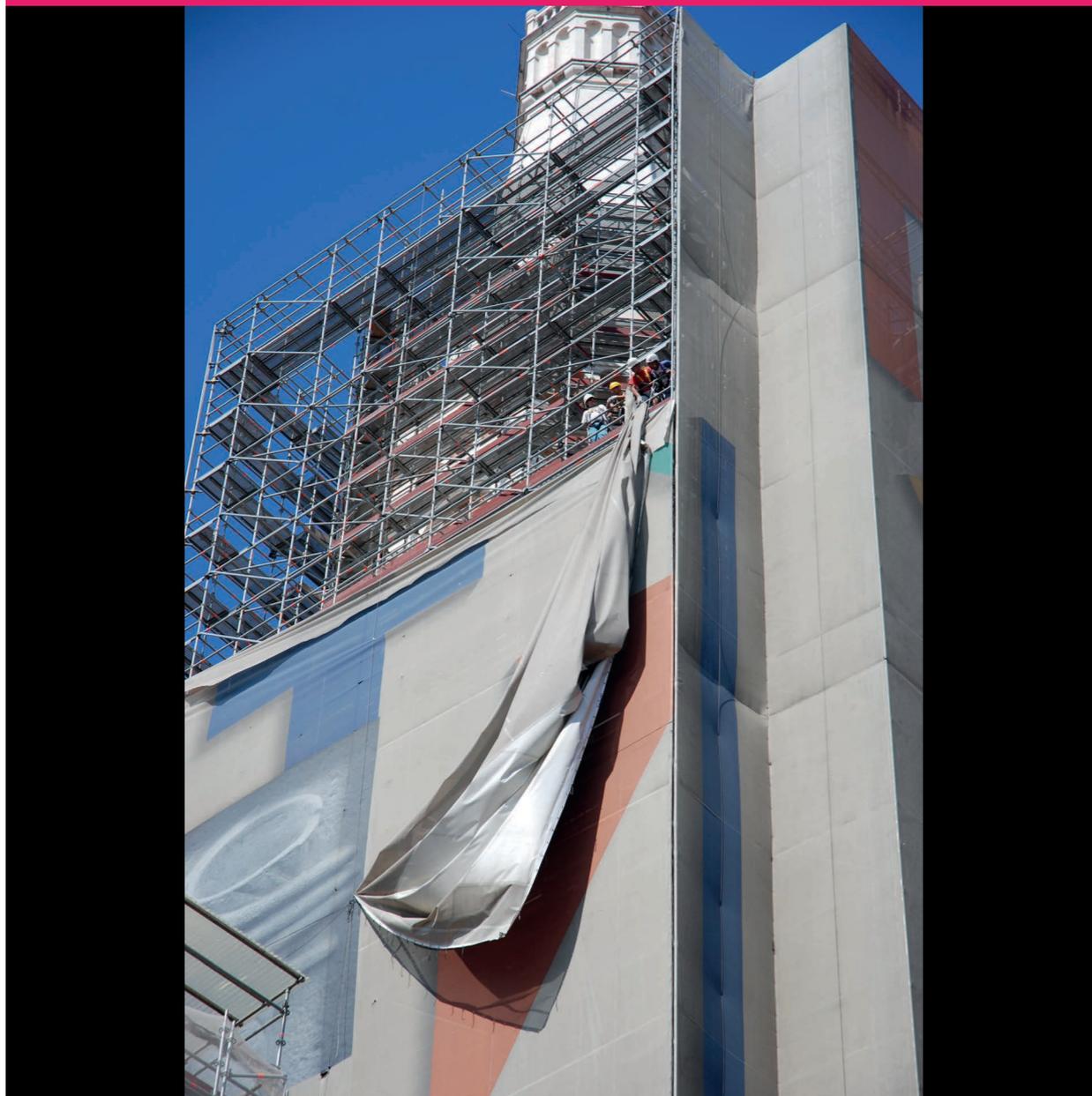
Marco Greco, perito
Settore lavori Pubblici, Comune di Modena
Progetto impianto elettrico interno alla cuspide della Torre

Chiappini Elisabetta, Professoressa Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza
Valutazione dello stato di conservazione della scala lignea della cuspide

Francesca Fabiani, architetto
Firenze
Consulenza per informatizzazione dati dei lavori di restauro della torre

LA TORRE GHIRLANDINA

Smontaggio del telo decorato dall'artista Mimmo Paladino che aveva coperto il ponteggio per tutta la durata del cantiere.



Convenzioni stipulate con le università

Università di Modena e Reggio Emilia
Dipartimento di Scienza della terra
Indagini sulle caratteristiche chimico-fisiche e mineralogico-petrografica dei materiali di costruzione della torre Ghirlandina

Politecnico di Torino
Dipartimento di ingegneria strutturale e geotecnica
Ricerca sulle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione della torre Ghirlandina

Università di Parma
Dipartimento di Ingegneria civile
Rilievi architettonici e valutazione statica e degrado della torre Ghirlandina

Università di Modena e Reggio Emilia
Dipartimento di Ingegneria meccanica e civile
Collaborazione nello studio e nel rilievo e monitoraggio dei movimenti verticali del suolo della città di Modena

Università di Bologna
Dipartimento di Ingegneria delle strutture, dei trasporti, delle acque e del rilevamento del territorio - DISTART
Caratterizzazione meccanica della muratura interna ed esterna della torre Ghirlandina

Gli autori ringraziano

Maria Chiara Gallina
Dottoressa 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.

Un ringraziamento particolare, per le preziose segnalazioni e i suggerimenti, ad Hans Peter Autenrieth e ad Adriano Peroni; per la restituzione grafica della Sala della Secchia, a Giancarlo Palazzi.

Un sentito grazie anche a Lorenzo Lorenzini, Cristina Stefani e Tomas Fiorini del Museo Civico d'Arte di Modena, Giuseppe Bertoni e Franca Baldelli dell'Archivio Storico Comunale di Modena, Benedetta Riciputi della Biblioteca Poletti di Modena e Pierpaolo Bonacini della Deputazione di Storica patria di Modena.

La curatrice desidera porgere un sincero ringraziamento all'Arch. Carla Di Francesco, Direttore Regionale per i Beni Culturali e Paesaggistici dell'Emilia-Romagna, che ha sostenuto la realizzazione e la valorizzazione dell'intervento di restauro della Torre e agli esperti del Comitato scientifico che ancora oggi continuano a portare il loro contributo.

© 2015 Luca Sossella edizioni
info@lucasossellaeditore.it
www.lucasossellaeditore.it

© agli autori

Direttore progetto editoriale
Alessandra Maiarelli

ISBN 978-88-97356-31-8