

Arch. Cesare Feiffer \*

## RICERCA DELLA CONSERVAZIONE TRA MANUTENZIONE E CONSOLIDAMENTO

Le fasi conoscitive, progettuali ed operative del restauro del Campanile della chiesa dei SS. Giovanni e Paolo a Zanè sono state concepite fin dall'inizio come l'occasione per tentare di risolvere un caso concreto con le metodologie della conservazione, cercando un legame stretto tra teoria e prassi.

Nel progetto e nel cantiere, entrambi momenti di particolare difficoltà tecnica e realizzativa, la ricerca ha riguardato due aspetti: in primo luogo la centralità riconosciuta all'*impostazione metodologica* che ha guidato tutto il processo, in secondo luogo il duplice carattere richiesto dal momento operativo nel quale sono state separate le problematiche della *manutenzione delle superfici* da quelle del *consolidamento strutturale*.

All'*impostazione metodologica* si è assegnato il ruolo di verificare costantemente la coerenza ed il rapporto tra i criteri teorici dichiarati in apertura e la fase operativa, dall'iter analitico conoscitivo fino alle soluzioni di cantiere.

Sotto il profilo teorico il progetto si è riconosciuto nell'ambito della cultura della conservazione che, com'è noto, massimizza la permanenza della materia anche se "povera" privilegiando interventi leggeri, non prevaricanti, struttural-

mente compatibili e tali da garantire l'autenticità anche statica della fabbrica.

Nello specifico la *metodologia conservativa* è stata intesa come il modo per avvicinarsi ai diversi temi e problemi sollevati da un intervento di restauro, percorrendo con coerenza e con spirito critico le varie tappe del percorso progettuale.

Un iter di acquisizione profonda e defatigante con l'obiettivo costante di legare la tematiche

strutturali, materiche e dello stato di conservazione proprie dell'edificio alla particolare tecnica da adottare in cantiere, secondo una prassi che indichi, a livello del più minuto dettaglio, le soluzioni prefigurate per ogni situazione.

In quest'ambito coerenza metodologica significa prevedere un ventaglio di tecniche, di materiali e di prodotti che non siano estranei o altra cosa dai principi culturali generali che inquadrano l'intervento. Si ritiene che non possano esistere tecniche o prodotti sempre validi per ogni situazione, così come non sono proponibili classificazioni o gerarchie di interventi, legende o abachi di soluzioni astratti dal preciso contesto materico al quale si riferiscono. La pretesa neutralità delle tecniche appartiene a superate



Il campanile di Zanè

\* L'architetto Cesare Feiffer è docente presso il Politecnico di Milano

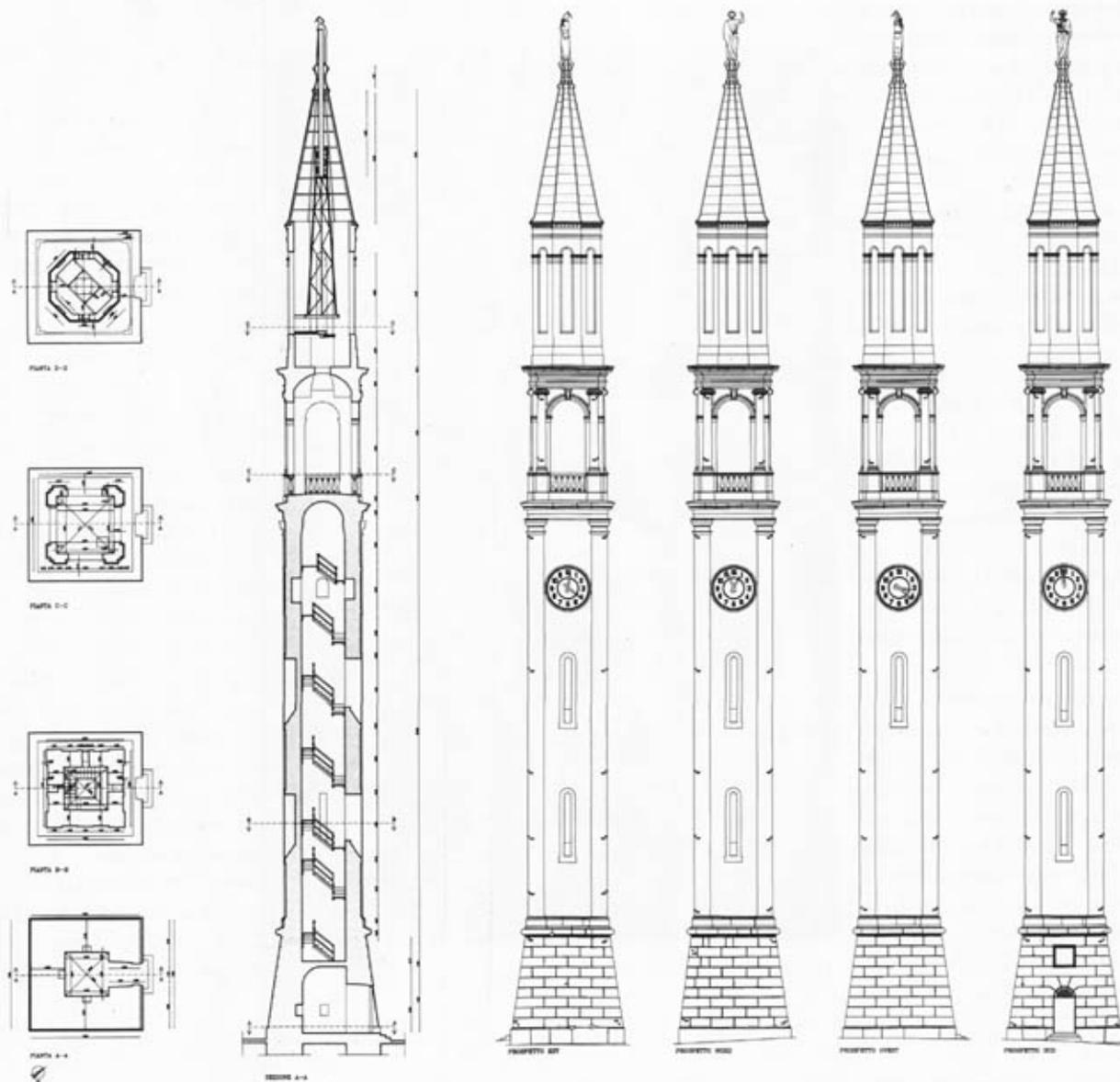
concezioni del restauro secondo le quali le scelte architettoniche erano generalmente altra cosa dai procedimenti di consolidamento statico e strutturale.

Nell'esperienza presentata in queste pagine si è privilegiato un uso critico, culturalmente consapevole e metodologicamente fondato non solo delle principali tecniche di consolidamento o rafforzamento ma anche degli interventi di manutenzione superficiale spesso erroneamente ritenuti innocui e quindi separati dal resto.

Segnatamente al metodo progettuale conservativo, sono ampiamente diffusi, oltre agli studi teorici sui "limiti e modi" della conservazione, anche i contributi metodologici che regolano la processualità dell'iter progettuale specificandone le singole fasi relative all'acquisizione preliminare al rapporto tra momento diagnostico e momento terapeutico, ed ai contenuti di "qualità" progettuale soprattutto a livello operativo.

Nel presente progetto, in linea con tale cultura, la conoscenza è stata programmata a livello esecutivo per non avviarla verso approfondimenti specialistici spesso incontrollabili perché eccessivamente delegati, i cui risultati sono spesso più d'effetto che di sostanza.

Gli accertamenti preliminari sono stati condotti attraverso le seguenti fasi: il rilievo metrico, geometrico, morfologico e materico, utilizzando tecniche d'avanguardia ma sufficientemente diffuse da prevedere costi contenuti, la conoscenza diretta dello stato di conservazione delle varie sezioni del Campanile, suddividendo i fenomeni in degrado e dissesto, risolti poi separatamente; le verifiche statiche tramite modellazione con un supporto puntuale e finalizzato della diagnostica scientifica non distruttiva; per ultimo un particolare rapporto con le maestranze che hanno anch'esse concepito il cantiere come laboratorio di conoscenza di un manufatto continuamente da scoprire.



Rilievo del campanile di Zanè

In una prassi largamente diffusa nei progetti tecnici su edifici di difficile lettura, quali i campanili, le torri, le cinte murarie, ecc., generalmente viene trascurato il controllo in fase progettuale, delegandolo al cantiere. Spesso ciò viene giustificato adducendo presunte impossibilità di condurre misurazioni per l'inaccessibilità di molte parti di fabbrica, oppure ipotizzando che i fenomeni di degrado siano generici e facilmente individuabili e quindi tali da non richiedere una catalogazione puntuale. I risultati, scadenti sul piano culturale, non consentono più il recupero del cantiere che si avvia meccanicamente ad essere gestito dall'impresa.

Nel caso del restauro del Campanile di Zanè si è cercato di evitare per scelta il "progetto a cantiere aperto", puntando sulla totale prefigurazione degli interventi nel progetto esecutivo e cercando, tramite la conoscenza preliminare, di sviscerare ogni singolo e apparentemente secondario problema.

Relativamente all'altro aspetto del progetto, si è approfondita la riflessione sui termini *manutenzione e consolidamento* al fine di non separarli dall'inquadramento generale che caratterizza l'intero lavoro e nemmeno di incanalarli meccanicamente in schemi di rassicurante filologismo come spesso è uso fare.

Nel più vasto settore del riuso il termine *manutenzione* è oggi oggetto delle più svariate interpretazioni. Può essere collegato alla pratica industriale che lo intende come il mantenimento in efficienza di un sistema produttivo o d'uso teorizzando tempi delle sostituzioni in ragione dell'usura. Oppure può essere inteso secondo l'interpretazione del legislatore - sulla quale molto è stato scritto - che suddivide la manutenzione ordinaria e straordinaria indipendentemente dalle acquisizioni culturali del restauro nel settore. Ancora con manutenzione si può intendere il ripristino, anche creativo, di "superfici di sacrificio" consunte o non conformi alla tradizione locale per le quali si teorizza la necessità di un ripristino spinto sulla base di ricette storiche ora codificate in manuali. Ampliando l'analisi emergerebbero altri e interessanti concetti di manutenzione ma non è questa la sede per approfondire una tale questione.

Per ultimo è d'obbligo segnalare il perdurare di un concetto di manutenzione legato alla pratica del cantiere che, com'è noto, non ha limiti e principi, e ha condotto alla massiccia sostituzione materia della fabbriche di cui doveva invece curare la salvaguardia. Per una corretta prassi conservativa è indispensabile separare il termine manutenzione dall'uso distorto e distruttivo proprio, per tradizione, del mondo della professionalità e dell'impresa. In nome della manutenzione da sempre negli

appalti sono state realizzate massicce ed estese operazioni di sostituzione a scapito dei materiali più poveri, dei soggetti investiti da maggiori fenomeni di degrado, ecc. Ad esempio "revisione" del manto di copertura ha in realtà il significato di una sostituzione integrale di tutta l'orditura principale e secondaria dei tetti, o ancora con "manutenzione" di intonaci, pavimenti o serramenti si intende la loro sostituzione integrale con nuovi intonaci simili (poi in realtà caricature) agli originali demoliti.

Nel presente progetto con il termine *manutenzione* si è inteso quell'azione che comporta come prima istanza la permanenza della materia, del dato fisico, indipendentemente dai suoi dati formali e storici. Una manutenzione molto concreta e fondata sulla realtà materica che evita sia l'estremizzazione delle tesi conservative, che diventerebbero astratte, sia eccessivi accanimenti terapeutici che si pongono al di fuori del mercato. La sostituzione del singolo elemento strutturale o della porzione di materia non sono impossibili o demonizzate ma sono giustificate da fattori di degrado, qualora lo stato di conservazione superi la soglia dell'accettabilità, quando non sia possibile tecnicamente l'intervento. In questo contesto la manutenzione conservativa è legata strettamente alla valutazione attenta degli stati di necessità per i quali non esiste un limite scritto, predefinito o unicamente individuabile. Stato limite che necessita di tutte le attenzioni per far sì che manutenzione conservativa non diventi essa stessa "manomissione".

Analogamente al concetto di manutenzione anche quello di *consolidamento conservativo* è un modo diverso d'intendere l'intervento che presuppone stretta connessione tra lo strutturista, con il suo bagaglio culturale, e l'architetto. È questo un diverso atteggiamento rispetto a quello consueto che vede lo strutturista separato dalla filosofia generale dell'intervento in nome della citata, presunta neutralità della tecnica. In quest'ambito si rifiuta quella metodologia sostitutiva della struttura secondo la quale è possibile mettere in opera un altro sistema, forzando logiche statiche di altre epoche inserendo nuove strutture spesso prevaricanti.

Una diversa concezione del consolidamento strutturale è particolarmente impegnativa per la scarsità di esperienze fin d'oggi maturate in questo settore e dovute principalmente alla formazione culturale dello strutturista che allo stato attuale avviene al di fuori del restauro e della sua cultura.

I dissesti del fusto in muratura del campanile, la particolare statica della cuspidata retta in parte da un traliccio metallico fortemente sotto-dimensionato e poggiante solo su due binari, l'oscillazione della statua di coronamento che in sommità raggiungeva parecchie decine di centi-

metri, ecc. avrebbero potuto giustificare interventi di consolidamento di grande intensità dove procedimenti di cucitura armata, iniezioni o altro potevano essere estesi a tutte le strutture per un problema di "sicurezza".

Congiuntamente con lo strutturista, sulla base delle conoscenze preliminari, delle quali si dirà in seguito, ed in relazione ad una acquisizione diretta dei fenomeni è stato possibile ridurre gli interventi di rinforzo e di sostituzione avendo cura di verificare, in ogni fase, il livello della coerenza tra principi metodologici dichiarati e valutazioni tecniche di progetto o di cantiere.

L'illustrazione delle fasi salienti del progetto e di alcuni momenti del cantiere possiede volutamente un carattere schematico finalizzato a sottolineare gli aspetti culturali e operativi dei quali sopra si è detto.

### I caratteri architettonici e costruttivi del Campanile

Il Campanile della chiesa dei Santi Pietro e Paolo a Zanè è una costruzione del XIX secolo, edificata in luogo di una precedente torre, con orologio e tre campane, che sorgeva nel mezzo del cimitero che circondava un tempo la chiesa.



Il campanile di Zanè

Dell'antico campanile si ha notizia già nel 1533; da un documento parrocchiale del 1824 si annota che a quell'epoca la torre si trovava in uno stato di generale degrado, tanto da presupporre l'abbattimento e la ricostruzione.

Anche la stessa chiesa fu edificata tra il 1745 e il 1747 in sostituzione di un più antico edificio di epoca quattrocentesca, per rispondere alle esigenze di uno spazio più ampio in seguito all'incremento demografico della parrocchia.

Il campanile raggiunge un'altezza di circa 66 m., calcolando anche la statua di S. Pietro che sormonta la guglia di coronamento, rifatta in latrice e ferro nel 1938. In linea di massima, sotto il profilo strutturale il campanile si presenta come un elemento tendenzialmente snello; lungo il suo sviluppo in altezza esso presenta geometricamente e morfologicamente sei tratti dalle differenti caratteristiche: il *basamento* in bugne lapidee, di m. 6,85 circa a "sezione variabile", in pietrame squadrato con spessore delle pareti variabile tra 120 e 230 cm.; il *fusto* in muratura di mattoni a vista, di sezione omogenea per un'altezza di m. 27,40 circa con spessore delle pareti di circa 110 cm.; la *cella campanaria*, alta circa m. 8,10, formata da quattro leggeri pilastri a L collegati con archi e definita all'esterno da paraste e capitelli ionici; la *cella ottagonale*, costituita da un fusto in muratura con spessore di 40 cm. ed altezza di m. 7,20 circa; la *cuspid*e costituita da una struttura tronco conica in legno, rinforzata con centinaure orizzontali e verticali interne, di diametro variabile tra circa m. 4,25 e m. 0,90, con un'altezza di circa m. 1,20; la *statua* in legno rivestita e modellata direttamente con lamie di rame retta da un sistema ibrido costituito da un traliccio metallico e da un grande trave ligneo che ne costituisce l'anima.

#### Il basamento

Il basamento è costituito da un elemento massiccio, strutturalmente continuo, a conformazione tronco piramidale, con scarpa verso l'esterno. L'unico vuoto sulla continuità del pieno murario è costituito dalla porticina d'ingresso posta in mezzeria del lato sud, alla quale si accede tramite due gradini in pietra. Il vano interno è definito superiormente da una volta ribassata in murature dotata di un'asola sul lato ovest per il passaggio della scaletta lignea che conduce in sommità al Campanile.

La geometria d'impianto è esattamente quadrata e misura ml. 7,02 x ml. 7,02 alla quota dello zoccolo basamentale; l'altezza esterna fino all'imposta della canna in muratura è di ml. 4,26, gli spessori delle murature sono di ml. 2,23 in corrispondenza dello zoccolo e ml. 1,55 in prossimità dell'imposta del fusto superiore.

La struttura costruttiva è realizzata in grossi massi di pietra lapidea squadrata grossolanamente nella faccia interna e rifinita a bugne rustiche su quella esterna. La tessitura dell'apparecchio è realizzata con giunti alternati in verticale e complanari in orizzontale; i giunti tra i blocchi sono ben realizzati così come il rientro della scarpa sui quattro lati. Le caratteristiche qualitative del materiale lapideo impiegato e la collocazione in opera in relazione ai piani di giacitura del materiale in cava sono tecnicamente corretti.

Le caratteristiche geometriche, quelle tecnologiche e quelle costruttive consentono di affermare che l'intera porzione basamentale ha goduto di notevoli attenzioni sia nella fase ideativa del progetto sia in quella realizzativa del cantiere.

### *Il fusto*

Il fusto è costituito da una canna muraria cava a sezione quadrata che s'imposta sulla porzione sottostante e procede perfettamente in verticale fino alla cornice superiore. Caratterizzano l'esterno dell'apparecchiatura muraria due finestre sui lati nord, est e sud, ed una sul lato ovest; la conformazione delle finestre è stretta e allungata con davanzale a sguincio. Il grande volume in sommità è completato all'interno da una volta a padiglione con botola che consente l'accesso alla cella campanaria.

La geometria d'impianto, analogamente al basamento, è regolare con dimensioni a livello d'imposta pari a ml. 5,00 x 5,00 ml. con tolleranze in più e in meno lungo l'altezza di non più di 2 cm. L'altezza esterna del fusto dall'imposta alla cornice di coronamento compresa è di ml. 26,98.

Il *materiale strutturale* è realizzato in muratura di mattoni con massi di pietra squadrata di medie dimensioni legati tra loro da spessi giunti di malta a base di calce debolmente cementizia e sabbia a granulometria più grossa dell'ordinario. Circa ogni ml. 1,50 - 2,00 in altezza sono presenti cordolature passanti dall'interno all'esterno realizzate in muratura di mattoni. La cortina esterna è costruita completamente in muratura di mattoni con la funzione di rivestimento superficiale del nucleo in pietra e non presenta soluzioni di continuità in corrispondenza degli innesti con la cordolature passanti. Il paramento in laterizio con spessore di cm. 105 c.a. è costituito da mattoni dalle dimensioni varie; il legante è una malta di calce aerea caricata con sabbia fine di fiume. Le caratteristiche qualitative del materiale sono buone sia per quanto si riferisce al legante sia per i mattoni. Questi ultimi sono nella maggioranza dei casi di buona fattura, compatti, resistenti e privi d'impurità; la colorazione rosso scura caratterizza

un'alta percentuale di ferro e quindi buona resistenza agli agenti degradanti.

La tessitura ad un primo esame risulta buona per la marcata orizzontalità dei giunti di malta (ben visibili in ragione dello spessore e della colorazione chiara) e per il loro modulato alternarsi in verticale. Ad un esame più approfondito il paramento della cortina in laterizio non risulta tessuto secondo le regole dell'arte per la presenza di numerosissimi piccoli pezzi (scaglie) posti con lo scopo di correggere errori realizzativi e regolarizzare i giunti in verticale.

In corrispondenza degli angoli è presente un rinforzo strutturale costituito da un maggiore spessore di cm. 13 conformato a parasta e definito superiormente con capitello tuscanico in pietra.

Una cornice in pietra bianca, con sagoma essenziale e con marcato spessore, raccorda e definisce in sommità il fusto.

### *La cella campanaria*

La conformazione geometrica e strutturale della cella campanaria è semplice: su un impianto quadrato con dimensioni di ml. 4,95 a ml. 4,95 s'impostano agli angoli quattro setti in muratura a "L", che sostengono un'importante cornice in pietra e mattoni intonacati. All'esterno, in ogni lato, i setti murari sono definiti da paraste complete di base e capitelli dell'ordine ionico. La grande apertura che è presente in ognuno dei quattro lati, tra il piano d'imposta, le due paraste e la cornice, è riquadrata da un arco classico in muratura intonacata bianca con chiave di volta in pietra, equilibrato staticamente da una catena metallica; l'elemento architettonico è retto da lesene dell'ordine dorico addossate a quelle angolari. Una balaustra con colonnine costituisce il parapetto della grande finestra. La struttura è interamente in mattoni legati con malta che erano rifiniti superficialmente con intonaco dalla colorazione biancastra. Gli elementi architettonici di maggiore importanza come i capitelli e la balaustra sono realizzati in pietra calcarea bianco rosata.

Qualitativamente il materiale presenta nel complesso buone caratteristiche, ad eccezione dell'intonaco che si presentava degradato dagli agenti atmosferici sulle parti maggiormente esposte (nord ed est). Il vano è definito nella parte superiore da un cupolino in muratura intonacata.

All'interno della cella campanaria si trovava un telaio metallico che costituiva la struttura sulla quale sono fissate le campane ed i relativi motori. Tutto il sistema era privo di giunti o elementi che riducano l'effetto vibrante sulle strutture murarie quando le campane sono in funzione. Anche i profilati superiori erano poco

corretti staticamente in quanto erano inseriti a forza tramite scassi nelle strutture murarie angolari.

### *La cella ottagonale e la cuspide*

La cella ottagonale è costituita da elementi in muratura di mattoni dello spessore di cm.40. I lati sud, nord, est ed ovest presentano aperture a finestra assai grandi in rapporto alla superficie muraria.

Costruttivamente l'elemento è realizzato con gli stessi materiali e tecnologie costruttive della cella campanaria sottostante: murature in mattoni lavorati a tutto spessore e legati con malta di calce. Il prevalere dei vuoti sui pieni murari e la particolare tessitura dell'apparecchio privo negli angoli di regolari ammorsature tra i vari setti, induceva ad una valutazione negativa della cella ottagonale nel suo complesso.

Le porzioni di muratura esterna erano tutte originariamente intonacate con malta di calce e sabbia e rifinite con marmorino di colorazione chiara. Le superfici interne erano originariamente intonacate ma in modo più grezzo e meno rifinito.

Alla sommità della cella in muratura, sopra ad una cornicetta retta da piccoli modiglioni in pietra tenera di Vicenza, s'imposta la cuspide in legno con rivestimento esterno in lamiere di rame.

La geometria dell'elemento è assai semplice: un tronco di piramide a base ottagonale con rinforzi angolari estradossali che ne accentuano la verticalità. La geometria, i principi costruttivi e realizzativi della cuspide sono facilmente individuabili per la loro linearità. La struttura principale era costituita da travicelli angolari in legno con sezione di circa cm.12 x 12, con nervature ortogonali sempre in legno poste ogni cm.70-100 cm. Il piano continuo estradossale era realizzato con tavole di legno dello spessore di cm.2 fissate con chiodi in ferro ai travicelli sottostanti. Il rivestimento in lastre di rame era chiodato al tavolato sottostante e collegato agli spigoli da fascette in rame poste superiormente.

Internamente la cuspide è vuota e conteneva il complesso sistema statico che reggeva la statua e il suo basamento.

### *La statua e il basamento*

La statua di S.Pietro si imposta sopra una base sagomata che inizia con alcune sagome semplici dalla fine della cuspide. Il rivestimento superficiale dell'elemento era realizzato con lastre di rame dello spessore di 6/10 di mm. inchiodate alle tavole lignee sottostanti e per buona parte saldate tra loro a stagno. La figuratività dell'elemento è sufficientemente articolata e definita nei dettagli in relazione alle

dimensioni e all'altezza da terra (la parte più bassa della statua è a ml.61,79 da terra).

Molto complessa è tutta la tecnologia costruttiva e realizzativa della statua che è retta da una grande trave in legno che parte dalla sommità della cuspide e arriva all'incirca al petto della statua. La trave originariamente era fissata con traversi lignei disposti a raggiera all'orditura principale e secondaria della cuspide. Tali traversi erano impostati a tre quote diverse in sommità della cuspide e rendevano solidali i due elementi.

Durante un intervento di restauro realizzato alla fine degli anni Trenta fu inserito all'interno della cuspide un traliccio metallico retto da due putrelle. L'elemento, in angolari di ferro assai poveri come sezione aveva probabilmente l'intenzione di consolidare maggiormente il sistema statua-trave-cuspide.

### *La conoscenza tramite il rilievo*

Per il rilievo del Campanile sono state condotte campagne di misurazioni in modo diretto e indiretto. Il rilievo indiretto è stato realizzato strumentalmente con teodolite (Geodimeter 412) accoppiato a distanziometro elettronico per realizzare una poligonale esterna chiusa di n.10 vertici attorno al Campanile. Dai punti



*Rilievo della statua sommitale*

principali della poligonale sono stati realizzati numerosi sbracci battendo punti segnalizzati a varie quote sugli spigoli del campanile finalizzati al raddrizzamento del fotopiano e d'aiuto al rilievo diretto per avere la posizione dei punti architettonici su coordinate (x, y, z). In questo modo si è costituita la base per il successivo rilievo morfologico tramite sistemi non convenzionali di fotogrammetria semplificata. Le prese sono state realizzate con camera semimetrica Rollei 6006.

Successivamente con il tradizionale rilievo diretto sono state integrate tutte le misure della cuspide, della statua e dell'interno per realizzare le sezioni orizzontali e verticali. Particolarmente impegnative sono state le misurazioni all'interno della cuspide dentro la quale ci si è dovuti arrampicare fino a raggiungerne la sommità per poterne accertare con precisione lo schema costitutivo e statico. Anche all'esterno le difficoltà nel rilievo diretto sono state molteplici in ragione dell'altezza da terra (60 metri circa), del clima rigido invernale e del forte vento che faceva oscillare il sistema statua-cuspide di parecchie decine di centimetri.

La rappresentazione è stata realizzata tramite programma Archis e si sono ricavate le immagini fotografiche e al tratto su file dwg dei quattro fronti del Campanile di una sezione verticale e di cinque orizzontali. La scala finale delle rappresentazioni è stata quella di 1:50.

Tutta la fase di rilevamento metrico, geometrico e morfologico è stata poi integrata con catalogazioni e osservazioni critiche e puntuali relative allo stato di degrado e dissesto delle superfici.

Nel dettaglio si sono catalogate e registrate con attenzione tutte le particolarità costruttive dal basamento alla statua (pietra, laterizi, intonaci, legni e rame). In un secondo momento per setti differenti (basamento, fusto, ecc.) si sono prodotte monografie dove veniva registrato il degrado dei materiali di superficie e, quando possibile, la causa che aveva provocato il fenomeno. Contemporaneamente si rilevavano puntualmente tutte le fessurazioni e le deformazioni esterne ed interne.

Successivamente, espletata la prima fase della conoscenza, è stato possibile individuare le analisi integrative necessarie per perfezionare il quadro diagnostico e pertanto, con il sussidio dello strutturista, è stato definito il programma esecutivo delle analisi scientifiche statico-strutturali.

### **La struttura, le verifiche statiche e il progetto di consolidamento**

Al fine di analizzare il comportamento tensionale, si sono svolte alcune analisi strutturali, simulando l'intero campanile e parti di esso,

tramite modelli di calcolo spaziale, con il metodo degli elementi finiti.

In dettaglio si sono svolte le seguenti indagini di calcolo:

a. simulazione dell'intero campanile assoggettato alle azioni di peso proprio, vento, escursioni termiche;

b. valutazione dell'effetto della catena sottesa degli archi della cella campanaria, per le condizioni di cui all'analisi a.;

c. comportamento dinamico del campanile per confronto con la risposta dinamica sperimentale;

d. analisi del traliccio spaziale singolo ed in accoppiamento con il guscio tronco conico in legno.

Relativamente alla campagna di prove analitiche preliminari è da notare che esse palesavano complessivamente un quadro accettabile e nell'ordinario di questa tipologia strutturale con un unico pesante avviso: al suono della più grande delle campane la struttura massimizzava l'ampiezza delle proprie vibrazioni essendo sottoposta ad una "forzante" in condizioni prossime alla risonanza.

Naturalmente questo catastrofico fenomeno non poteva verificarsi per azioni esterne contratte nel tempo, tuttavia, a parte la segnalazione teorica, l'ampiezza delle oscillazioni registrate era senza dubbio fonte di dissesti e fessurazioni locali, così come si riscontrava nella cella campanaria e nelle zone limitrofe.

In linea di massima, sotto il profilo strutturale il campanile in oggetto si presentava come un elemento tendenzialmente snello, con un rapporto tra altezza totale e dimensione di base  $h/b = 62/5 = 12,40$ .

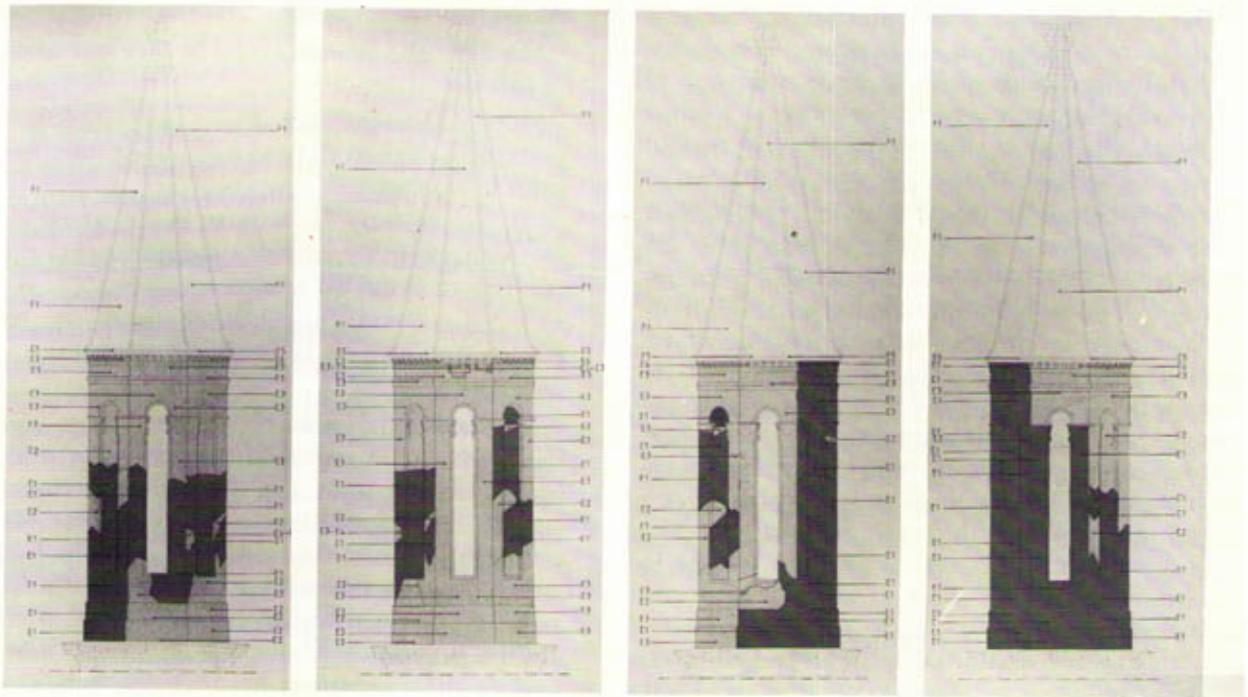
### **Le verifiche statiche**

#### ***Il basamento e la torre***

L'indagine statica evidenziava un regime tensionale di tutta tranquillità, con compressioni medie dell'ordine dei 4 Kg./cmq. Questo ridotto stato tensionale medio, modestamente variabile col tempo in funzione delle azioni dinamiche, da vento e di escursione termica, caratterizzava un buon comportamento dell'opera che risultava lontana da effetti di affaticamento.

L'analisi elastico lineare effettuata mostrava altresì alcuni "picchi" di tensione per effetto di escursione termica che risultavano di fatto espressione solo teorica potendo il materiale in oggetto fronteggiare azioni di sola compressione.

È interessante notare come l'analisi dinamica abbia fornito un modello elastico medio complessivo pari a 30.000 Kg./cmq., risultati di frequenze proprie quasi coincidenti con quelle sperimentali ricavate nell'ipotesi di incastro



LEGENDA

| NUMERO INIZIALE | ANALISI DEL DANNO  | PROGETTO DI INTERVENTO   |
|-----------------|--|--|
| 01              | Spigoli ed angoli del basamento del campanile, fessurazioni, deformazioni. | Reinforcement delle zone di fessure e deformazioni, prove sperimentali sul campo e sui modelli statici dell'intera struttura, messa in opera di catene tiranti e ancoraggi per il consolidamento della muratura. |
| 02              | Spigoli ed angoli del basamento del campanile, fessurazioni, deformazioni. | Reinforcement delle zone di fessure e deformazioni, prove sperimentali sul campo e sui modelli statici dell'intera struttura, messa in opera di catene tiranti e ancoraggi per il consolidamento della muratura. |
| 03              | Spigoli ed angoli del basamento del campanile, fessurazioni, deformazioni. | Reinforcement delle zone di fessure e deformazioni, prove sperimentali sul campo e sui modelli statici dell'intera struttura, messa in opera di catene tiranti e ancoraggi per il consolidamento della muratura. |
| 04              | Spigoli ed angoli del basamento del campanile, fessurazioni, deformazioni. | Reinforcement delle zone di fessure e deformazioni, prove sperimentali sul campo e sui modelli statici dell'intera struttura, messa in opera di catene tiranti e ancoraggi per il consolidamento della muratura. |
| 05              | Fessure.   | Reinforcement delle zone di fessure e deformazioni, prove sperimentali sul campo e sui modelli statici dell'intera struttura, messa in opera di catene tiranti e ancoraggi per il consolidamento della muratura. |
| 06              | Fessure.   | Reinforcement delle zone di fessure e deformazioni, prove sperimentali sul campo e sui modelli statici dell'intera struttura, messa in opera di catene tiranti e ancoraggi per il consolidamento della muratura. |
| 07              | Fessure.   | Reinforcement delle zone di fessure e deformazioni, prove sperimentali sul campo e sui modelli statici dell'intera struttura, messa in opera di catene tiranti e ancoraggi per il consolidamento della muratura. |

alla base e conteggiando l'inerzia reale di diversi tronchi componenti il campanile.

Nel fusto il dissesto strutturale presentava le seguenti manifestazioni: fessurazioni, fessurazioni con deformazioni e solo deformazioni.

Nel primo caso le fessurazioni presentavano andamento verticale con lunghezze dal ml.1,50 a ml.2,00 ed erano localizzate lungo la parasta angolare sud.

Il secondo caso si manifestava con fessurazioni di notevole ampiezza (cm.1-cm.4) unite ad una piccola traslazione della porzione muraria meno resistente; questo tipo di dissesto è localizzato lungo le due paraste angolari nord est e nord ovest. Le ragioni delle due fessurazioni, stante la localizzazione e la simmetria, erano da attribuirsi alle vibrazioni indotte dalle campane. Il terzo tipo di dissesto era costituito da un distacco della cortina in laterizio dal nucleo murario interno. Il fenomeno che era stato riscontrato a seguito di un esame superficiale

tramite continue e metodiche percussioni si manifestava sui lati nord ed est verso la sommità sopra ai grandi orologi.

Le prove sperimentali e le valutazioni statiche di calcolo hanno dimostrato che nel basamento non era necessario alcun consolidamento.

Con riferimento al fusto del campanile, questo, a fronte di un quadro tensionale ammissibile, mostrava alcune ampie lesioni che si pensava di ricomporre attraverso una prima sigillatura alla quale doveva seguire l'inserimento di catene-tiranti nel corpo della muratura con lo scopo di "cucine" trasversalmente la lesione.

Le catene erano progettate in barre filettate inox O-26 mm. annegate in resina, debolmente tesate, ancorate al corpo della muratura per aderenza ed in facciata tramite una piastra (inox fucinato) di tiro. Le catene tiranti venivano singolarmente disegnate e localizzate nelle posizioni indicate nei grafici esecutivi. Nei fenomeni di distacco della cortina laterizia di facciata dal nucleo murario retrostante, presenti superiormente agli orologi sui prospetti est e nord, venivano previste piccole cuciture armate con barre filettate inox al fine di riconferire unità ai paramenti.

### La cella campanaria

L'indagine statica ha evidenziato un regime tensionale con infittimenti e gradienti in tutte le zone di "discontinuità" geometrica e inerziale.

Questo aspetto, tipico delle strutture, richiedeva la buona capacità degli elementi strutturali e delle mutue connessioni di convogliare i flussi di tensione permanenti e variabili; in que-

sto caso si era riscontrato in realtà un danneggiamento e degrado generale delle strutture della cella, probabilmente in buona parte causato dalle vibrazioni di cui si è detto, che doveva essere fronteggiato da un lato riducendo gli effetti dinamici ripetuti e dall'altro conferendo - tramite interventi mirati - resistenza e duttilità alle strutture della cella.

Nel progetto di consolidamento venivano previsti: - la sostituzione delle porzioni angolari tra l'imposta degli archi e i capitelli con nuova muratura realizzata con mattoni fabbricati appositamente delle medesime colorazioni e dimensioni di quelli esistenti e legati con malta costituita da calce aerea, idraulica bianca e sabbia silicea.

Onde evitare possibili futuri scalzamenti delle nuove porzioni di per sé poco ammorsate al nucleo murario retrostante era prevista la collocazione in opera nel giunto di barre  $\phi$  6 mm. saldamente fissate alla muratura retrostante. - Il rinnovo delle catene degli archi realizzando le nuove con barre inox fissate a piastre esterne con bulloni. - La collocazione di quattro catene in barre inox all'interno della cornice inferiore e superiore onde collegare sul piano orizzontale il dado d'imposta. - La cucitura armata dei pilastri angolari a "L" per renderli solidali con la base sottostante tramite barre inox annegate in resina.

L'intervento sul telaio che regge le campane prevedeva di isolare la struttura a sostegno delle campane dall'apparecchio murario del campanile al fine di smorzare considerevolmente le azioni dinamiche indotte nel momento del suono. Questo accorgimento, oltre che risolvere la questione locale delle elevate vibrazioni ripetute, avrebbe allontanato la frequenza della forzante da quella propria del campanile scongiurando la risonanza (teorica).

Veniva pertanto prevista una buona intelaiatura metallica appoggiata al suolo su giunti antivibranti in neoprene e completamente autoportante e irrigidita.

### *La cella ottagonale e la cuspid*

Anche in questo caso le risultanze di analisi strutturale mettevano in luce alcuni quadri tensionali della cella ottagonale elevati in zone circoscritte, che però non avrebbero dato luogo a preoccupazioni se la muratura fosse stata omogeneamente ammorsata nelle zone di spigolo; in realtà l'assenza di tali ammorsamenti richiedeva di perseguire una cucitura delle murature della parte ottagonale al fine di evitare comportamenti disomogenei ed isolati di tratti della muratura stessa.

La cuspid tronco conica è stata studiata come vincolata al traliccio spaziale interno (così come evidenziano i rilievi in pianta e sezione), per il quale essa funge da controvento, ammettendo spostamenti in sommità contenuti e dunque ammissibili. Il traliccio non risultava rientrare però all'interno dei coefficienti di sicurezza e le verifiche statiche condotte rilevavano che tutto il sistema traliccio-cuspid era instabile e urgeva un intervento di consolidamento e di ripristino della statica.

Gli interventi nella cella ottagonale prevedevano la saldatura tramite cuciture profonde verticali tra cella ottagonale e cella campanaria sottostante, la cucitura dei vari lati dell'ottagono tra di loro per ovviare a delle lacune costruttive di scarso ammorsamento dei setti murari e la sostituzione dell'attuale cordolo in sommità (privo di armature metalliche con uno nuovo che fornisca adeguate garanzie, sia saldamente ancorato con barre alle murature sottostanti e possieda una debole precompressione in direzione radiale tramite l'apposizione di tiranti ancorati al cordolo con piastre di tesatura).

Le verifiche statiche e di calcolo del sistema strutturale cuspid-traliccio-trave lignea, avevano indicato chiaramente che il sistema non era verificato nel senso che il traliccio era sottodimensionato e sottoposto a sforzi eccessivi in ragione delle sue geometrie e natura.

Le ipotesi percorribili per il consolidamento erano due: la sostituzione del traliccio con uno nuovo staticamente calcolato, saldamente ancorato alla cella sottostante e inserito fino al vertice della cuspid, oppure la realizzazione di una nuova cuspid lignea con funzione anche strutturale.

Si optava per questa seconda ipotesi in ragione delle condizioni precarie del tavolato della cuspid che doveva essere comunque sostituito e della difficoltà di realizzare un nuovo traliccio in uno spazio estremamente angusto. La soluzione prescelta consentiva anche di mantenere il vecchio traliccio a testimonianza del precedente sistema statico strutturale.

Nell'intervento veniva quindi prevista la creazione in una cuspid con costole angolari portanti in legno lamellare saldamente fissata alla base e di un nuovo rivestimento con tavolato da 4 cm. di spessore. Tutti i dettagli tecnici e le soluzioni costruttive venivano minuziosamente descritte negli elaborati grafici esecutivi.

Per il traliccio veniva prevista una normale manutenzione, un rafforzamento dei nodi tra le aste e il raddoppio del numero di putrelle in appoggio al fine di ottenere l'eguale comportamento spaziale in ogni direzione.

## Lo stato di conservazione delle superfici esterne e il progetto di manutenzione conservativa

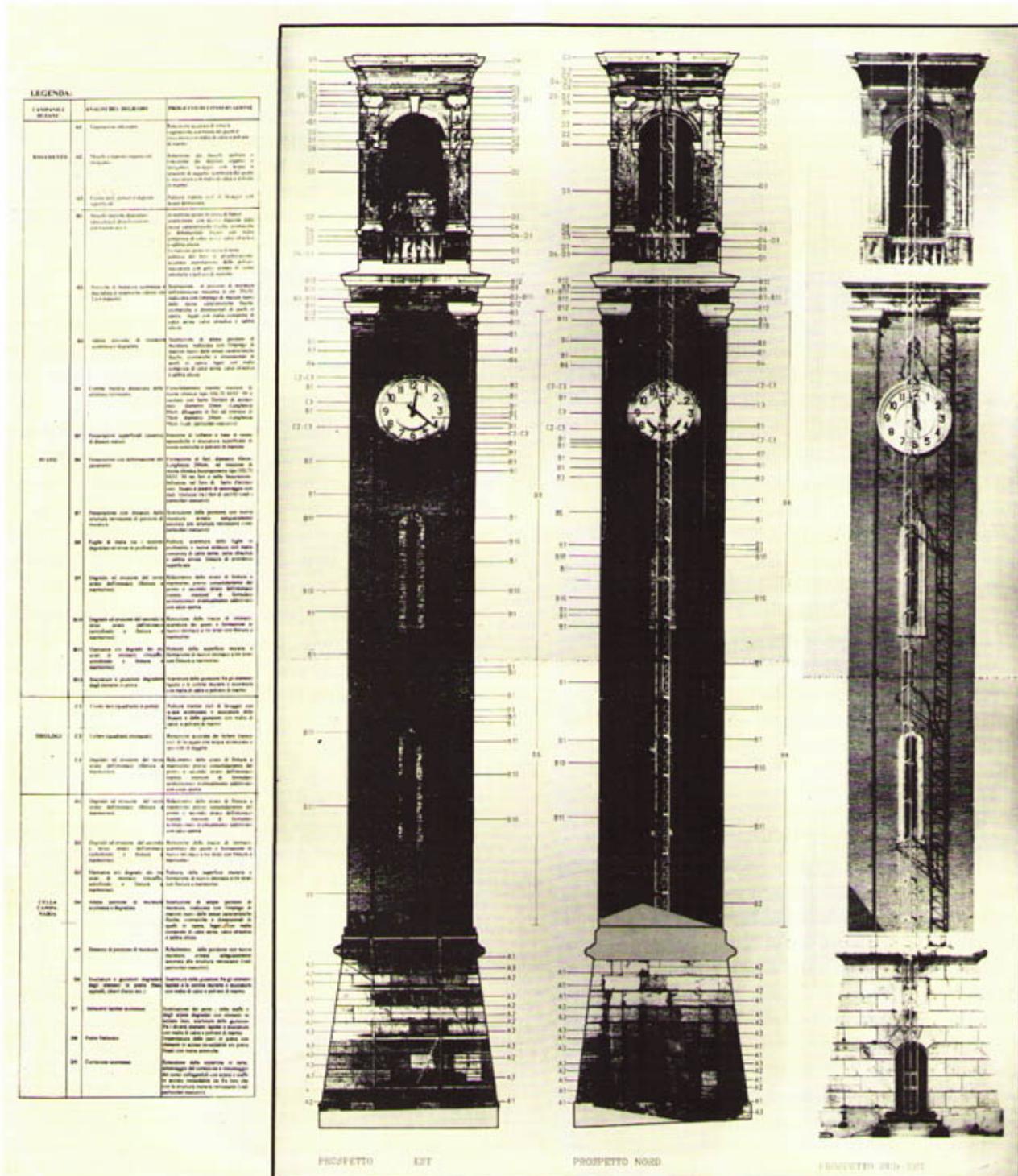
In sede progettuale si è voluto avere una conoscenza dettagliata dello stato di conservazione delle superfici esterne della fabbrica in modo da poter programmare e localizzare puntualmente i diversi interventi tecnici. Pertanto le analisi condotte sulle singole superfici e l'indicazione degli interventi tecnici sono state sintetizzate in tabelle, leggibili unitamente ai grafici, delle quali si riportano alcuni stralci; ciò ha

consentito una lettura sintetica dello stato di conservazione e dell'intervento, individuabili puntualmente lungo tutti i tratti del Campanile.

### Il basamento

Lo stato di conservazione della porzione basamentale era nel complesso buono se si esclude la presenza in superficie di pochi depositi carboniosi e di vegetazione, cresciuta localmente tra gli interstizi e gli incavi delle bugne.

Sul lato est all'incirca in mezzogiorno si notava su alcune bugne di pietra una cavillatura ad



Analisi del degrado e progetto di conservazione



*Cella campanaria prima dell'intervento*

andamento verticale. Dalle caratteristiche dei lembi della fessura, dai depositi di polveri accumulatisi nel corso del tempo, dall'assenza di ripercussioni nel masso murario soprastante e in relazione alla valutazione statica generale si è ritenuto che l'origine di tale fessura fosse da ricercare in un assetamento costruttivo ormai stabilizzato.

In fase progettuale è stata prevista la rimozione accurata della vegetazione infestante cresciuta tra i giunti delle bugne, con l'utilizzo di spazzole e spatole, completata da un trattamento finale con bioacidi, da una scarnitura dei giunti e da una stuccatura degli stessi con malta di calce e polvere di marmo, nonché la rimozione dei muschi e dei depositi grossolani di poveri tramite lavaggio con abbondante acqua e spazzolatura con spazzole di saggina, ed infine l'eliminazione delle croste nere tramite cicli di lavaggio con acqua deionizzata atomizzata.

### *Il fusto*

Lo stato di conservazione del fusto poteva essere nettamente distinto in relazione alle due sezioni che lo compongono: il nucleo strutturale interno in blocchi lapidei che si trovava in ottimo stato di conservazione e la cortina in laterizio esterna che presentava numerose anomalie.

Il paramento esterno era interessato da fenomeni di

degrado delle materie e di dissesto strutturale che spesso superavano abbondantemente le soglie di accettabilità.

Il degrado del laterizio presentava tre situazioni ricorrenti con intensità diverse a seconda dell'esposizione ma con manifestazioni assai simili.

La prima tipologia di degrado consisteva nella consumazione molto intensa ma localizzata (anche per profondità superiori agli 8-10 cm.) di un mattone in un contesto di mattoni perfettamente sani e ben conservati. Le ragioni erano dovute all'azione degli agenti atmosferici (gelività e aerosol) nonché alla presenza nel singolo mattone di elevate concentrazioni di sali solubili forse provenienti dalle tecniche di cottura. La seconda forma di degrado era costituita da un'alterazione generalizzata ma uniforme di porzioni di 4-8 mattoni. La terza situazione si manifestava in ampie zone della cortina con consumazione superficiale dei singoli mattoni accompagnata dal degrado dei giunti di malta.

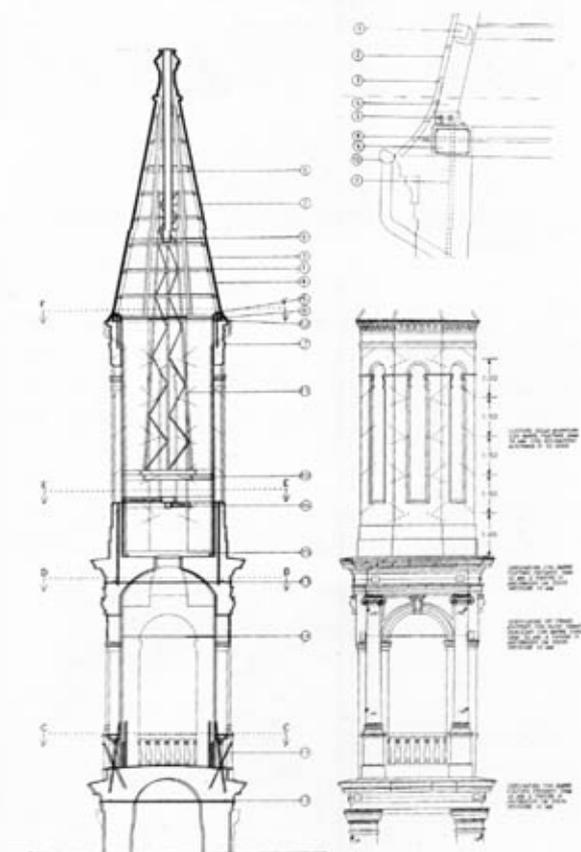
Il progetto di manutenzione conservativa è stato strutturato nei seguenti interventi: puntuale sostituzione dei singoli mattoni degradati che si presentavano posti in opera di testa o fianco, inserendo nuovi mattoni simili per forma e colore a quelli esistenti; stuccatura dei mattoni degradati che presentavano un degrado tale da non giustificare la sostituzione, tramite un impasto armato di polvere di mattone a gra-



*Particolare dopo l'intervento di restauro*

LEGENDA

1. Traversi in abete sezione 10 x 10 cm montati con scarpe in lamiera
2. Rivestimento in lastre di rame frastato come da campione approvato
3. Tavolato in abete, spessore cm 4
4. Montanti in legno lamellare
5. Scarpa di ancoraggio dei montanti in lamiera metallica zincata
6. Cordolo in calcestruzzo
7. Ancoraggio cordolo - muratura con barra inox filettata
8. Tiranti in corrispondenza degli appoggi dei montanti
9. Connessione tra la nuova struttura in legno lamellare e la trave reggi-statua
10. Profili metallici IPE 200 posti sotto le travi metalliche
11. Cuciture della muratura con barre inox filettate
12. Canale di gronda in rame, diam. 12 cm., e pluviali sui lati est e ovest
13. Cerchiature con barre inox filettate passanti
14. Sostituzione dei tiranti della cella campanaria con nuovi tiranti
15. Vasca di raccolta delle acque meteoriche
16. Cucitura di ancoraggio delle travi in legno
17. Cucitura delle lesioni della muratura del fusto



Il progetto di intervento strutturale

nulometria diversificata e resina sintetica; scuci e cuciture delle porzioni di muratura degradate di limitata estensione tramite accurata rimozione delle porzioni e ricostruzione con nuovi mattoni e malta composta da una miscela di calce aerea, idraulica e sabbia silicea, la sostituzione doveva avvenire interessando ogni mattone per tutto lo spessore (13-26 cm.) evitando di sostituire solo la cortina superficiale da cm.13.

Relativamente agli orologi collocati nel fusto,

si è previsto per quello in pietra (Biancone di Asiago) il lavaggio superficiale, la stuccatura delle giunzioni (con malta composta da una miscela di calce aerea, idraulica e polvere dello stesso marmo) e il rinnovo delle pellicole pittoriche dei numeri. Sugli altri orologi, realizzati in pasta cementizia e finitura a marmorino, si è previsto un lavaggio leggero per eliminare i licheni e i depositi di polveri presenti, ed inoltre, in relazione alle tipologie del degrado, l'esecuzione di interventi di consolidamento dell'intonaco e riprese localizzate delle porzioni consunte tramite malte di finitura dalle medesime caratteristiche di quelle in opera.

Completavano le operazioni di conservazione e consolidamento la pulizia della muratura, la stuccatura dei giunti previa scarnitura con malta costituita da calce aerea, idraulica bianca e sabbia silicea. È infine prevista la stesura di un protettivo superficiale su tutte le porzioni in muratura.

### La cella campanaria

Sulla cella campanaria si riscontravano tre distinte forme di degrado: un primo fenomeno interessava le catene poste tra gli archi che non garantivano più la reazione alla componente orizzontale di spinta, un secondo problema era dovuto alla poca correttezza costruttiva del telaio metallico che reggeva il sistema delle campane privo dei minimi requisiti per garantire lo smorzamento delle vibrazioni. Inoltre le tracce orizzontali e verticali, eseguite per fissare il telaio metallico al paramento murario, indebolivano non poco tutto il sistema. Il terzo fenomeno, apparentemente di minor importanza ma non trascurabile, era costituito dalla cattiva tessitura della muratura in corrispondenza dei capitelli ionici in pietra. Le porzioni angolari comprese tra i capitelli e le paraste erano state enucleate dalla struttura retrostante dalla quale si trovano distaccate da profonde fessurazioni. La causa andava ricercata, oltre che nell'imperfetta ammorsatura dei filari in fase costruttiva, nelle vibrazioni prodotte dalle campane.

È inoltre da tenere presente lo stato di stress al quale erano stati sottoposti dalle campane e dagli agenti atmosferici tutti gli elementi lapidei della cella (i parapetti, le cornici inferiore e superiore, gli archi). Si riscontrava infatti la presenza di fessure tra i singoli conci della cornice, distacchi tra le colonnine e la cimasa, corrosione dei perni, ecc.

Gli intonaci esterni con la relativa finitura erano estesamente degradati ed erosi in forme diverse, sia nel primo che nel secondo strato.

Nel progetto veniva previsto il restauro differenziato delle superfici ad intonaco (solo la finitura, la finitura e il secondo strato, reincollaggio di tutto l'intonaco alla muratura tramite incollaggio, ecc.) separando le porzioni recupe-

rabili (rappezzo con nuovo intonaco delle porzioni mancanti e stesura di finitura superficiale, ecc.) da quelle irrecuperabili. Analogamente alle restanti finiture superficiali l'intonaco è stato inteso come elemento da conservare, lì dove tecnicamente possibile, per motivi culturali sopra illustrati. Ritenendo l'intonaco un elemento indispensabile per la conservazione della muratura sottostante, se ne prevedeva il rifacimento nelle zone dove esso era assente o fortemente degradato. Il nuovo intonaco doveva possedere caratteristiche tecniche simili (miscela, percentuali degli aggregati, tipo di leganti, ecc.) per un problema di compatibilità tecnica.

Per le porzioni in pietra delle balaustrate era previsto il restauro tramite smontaggio e rimontaggio, verificando e migliorando gli innesti tra gli elementi e realizzando la stuccatura finale dei giunti con malta di calce aerea, idraulica bianca e polvere di marmo.

Per tutti gli aggetti veniva prevista la protezione dalle acque meteoriche tramite lamiera di rame saldate a stagno, rivestite da dissuasori antipiccione.

#### *La cella ottagonale e la cuspide*

Le superfici esterne si presentavano in discreto stato di conservazione sui prospetti sud ed ovest e, salvo locali rappezzi, poteva essere conservato tramite puntuale consolidamento e ristesa di finitura superficiale. Sugli altri lati la soglia raggiunta dal degrado era tale che si rendeva necessario il rifacimento completo dell'intonaco. Internamente si conservano solo poche tracce dell'intonaco ed era quindi necessario rifarlo interamente.

La cuspide possedeva la struttura delle "ordinate" lignee principali e secondarie in discreto stato di conservazione; da un esame attento esse però risultavano costituite da più pezzi di legname saldati tra loro in modo assai labile e il loro aggancio all'anello della muratura sottostante era costituito da piccoli perni fissati in piombo. Il piano di tavole era invece marcito nei punti dov'era stato effettuato il sondaggio e pertanto giudicato immantenibile.

Gli interventi sugli intonaci erano previsti analoghi a quelli della cella sottostante. Relativamente alla cuspide, il mantenimento del rivestimento in rame non risultava possibile dato il cattivo stato di conservazione delle lamiere e la particolarità tecnologica della finitura superficiale che è stata realizzata con stagnatura in bagno. La saldatura di nuove porzioni di rame su vecchie lastre di spessore ridotto (6/10 di mm.) e rivestite di stagno non dava garanzie di tenuta. Era quindi necessaria la sostituzione delle lamiere che veniva proposta in lamiera sempre in rame stese sovrapposte e unite lateralmente da cordoletti coprigiunto. L'intera

operazione veniva prevista successivamente al consolidamento statico di tutto il complesso ligneo. Il traliccio metallico, posto negli anni Trenta, veniva sottoposto ad un ciclo manutentivo per ottimizzarne la durata nel tempo tramite decapatura saldatura di piccole porzioni d'integrazione e stesura di prodotto antiossidante.

#### *La statua e il basamento*

Da alcune verifiche eseguite direttamente in più punti lo stato di conservazione della trave in legno era buono sia superficialmente sia all'interno. Diversa situazione presentava invece tutto il tavolato che costituiva la base delle



*La statua dopo l'intervento*

sagomature che risultava marcito da infiltrazioni di acque meteoriche in più punti. La lamiera presentavano numerosi segni di restauri realizzati con rappezzi saldati, chiodature o cuciture di piccole o medie porzioni; era inoltre presente uno strato superficiale di stagno steso con funzione di protezione.

Il tavolato del basamento veniva sostituito con uno nuovo in abete dello spessore di 3 cm.

L'intervento sulla statua, modellata direttamente in opera con la lamiera di rame, prevede-



*Particolare prima dell'intervento di restauro*

va la ricopertura dell'elemento con nuove lamiera sagomate allo scopo di conservarne il modellato.

Questo intervento, analogamente a quello strutturale sulla cuspide, si prospettava molto complesso in ragione del sistema costruttivo, delle condizioni di degrado e dell'altezza alla quale il cantiere si doveva impostare.



*Particolare dopo l'intervento di restauro*