

# IL RESTAURO DELLA TORRE DI PISA

UN CANTIERE DI PROGETTO PER LA CONSERVAZIONE DELLE SUPERFICIE

# THE RESTORATION OF THE TOWER OF PISA

A PROJECT WORKSITE FOR THE CONSERVATION OF THE SURFACES





Comitato di Coordinamento per la Salvaguardia della Torre di Pisa

· *Coordinatore*: Michele Jamiolkowski, Politecnico di Torino

Jean Barthelemy, Polytechnique de Mons, Belgio

John B. Burland, Imperial College, Londra

Remo Calzona, Università di Roma

Giorgio Creazza, Istituto Universitario di Architettura, Venezia

Giorgio Croci, Università di Roma

Michele D'Elia, Ministero per i Beni e le Attività Culturali

Roberto Di Stefano, Università di Napoli

Giorgio Macchi, Università di Pavia

Almamarca Mignosi Tantillo, Istituto Centrale per il Restauro, Roma

Luca Sanpaolesi, Università di Pisa

Salvatorio Settis, Scuola Normale Superiore di Pisa

Fernando Veniale, Università di Pavia

Carlo Viggiani, Università di Napoli

*in passato, ne hanno fatto parte:*

Michele Cordaro, Istituto Centrale per il Restauro, Roma

Mario Desideri, Università di Roma

Francesco Gurrieri, Università di Firenze

Renato Lancellotta, Politecnico di Torino

Gerald A. Leonards, Purdue University

Fritz Leonhardt, Università di Stoccarda

Raymond Lemaire, Università di Louvain

Angiola Maria Romanini, Università di Roma

Opera della Primaziale Pisana

· *Operaio Presidente*: Pierfrancesco Pacini

· *Segretario*: Antonio Lazzarini

· *Ingegnere Capo*: Giuseppe Bentivoglio

Commissione Europea, Direzione Generale X

· *Direttore Generale*: Antonios Kosmopoulos, e per la 1<sup>o</sup> fase, Spyros A. Pappas

Istituto Centrale per il Restauro, I.C.R.

· *Direttore*: Almamarca Mignosi Tantillo

Il Cantiere di Progetto

· *Ingegnere Capo*: Roberto Di Stefano

· *Direzione dei Lavori*: Armando Babbini

· *Responsabili Scientifici*: Almamarca Mignosi Tantillo, Michele D'Elia

· *Direzione Lavori per I.I.C.R.*: Gisella Capponi

· *Indagini Scientifiche*: Ulderico Santamaria, I.C.R., Costanza Miliani, Università di Perugia

· *Direttore di Cantiere*: Paolo Heininger, C.P.T.P. Consorzio Progetto Torre di Pisa

· *Restauro*: C.B.C. Conservazione Beni Culturali, Roma, responsabile tecnico Mark Gittins, Caterina Barnaba, Antonio Iaccarino, Doretta Mazzeschi, Antonella Radicchi, Eugenia Rocca, Sabina Vedovello. Hanno collaborato Anton Sutter, Massimiliano Bellomini, Stefano Lupo dell'Opera della Primaziale Pisana

· *Ponteggio*: Impresa Eredi Tabuani Geom. Alberto, Roma

· *Assistenza logistica al cantiere*: C.T.P.T Consorzio Progetto Torre di Pisa

· *Riprese Video*: Building Productions, Firenze

Realizzazione del sistema informatico "Akira GIS server"

· *Responsabili Scientifici*: Paola Barocchi, Michele Cordaro

· *Coordinamento e Direzione dei lavori per I.I.C.R.*: Gisella Capponi

· *Coordinamento e Direzione dei lavori per il Centro di Ricerche Informatiche per i Beni Culturali - SNS*:

Paola Barocchi, Umberto Parrini

· *Sviluppo e integrazione software*: Sistemi Informativi Srl - gruppo Liberologico, Pisa: Paolo Lanari, Claudio Magnatti, Massimiliano Sartor, Andrea Vecchi e Sandro Bonannini per la vettorializzazione dei dati; con la collaborazione di Giancarlo Buzzanca dell'I.C.R.

· *Assistenza all'immissione e alla gestione dei dati*: Stefania Lodola, Sabina Vedovello

Elaborazione delle basi grafiche, rilievo della scala interna

Sandro Bonannini, Ezio Virgili, Gianluca La Rocca

Mappatura dello stato di conservazione

· *Responsabili Scientifici*: Michele Cordaro, Michele D'Elia

· *Esecuzione della mappatura*: C.B.C. Conservazione Beni Culturali, Roma: Angiola Maroscia, Caterina Barnaba, Antonio Iaccarino, Gianluca La Rocca, Doretta Mazzeschi, Sabina Vedovello.

Studio delle tecniche di lavorazione

· *Responsabili Scientifici*: Almamarca Mignosi Tantillo, Michele D'Elia

· *Esecuzione dello studio*: Peter Rockwell, Sabina Vedovello

Studio e mappatura dei litotipi

· *Responsabile Scientifico*: Fernando Veniale

· *Esecuzione dello studio e della mappatura*: Marco Franzini, Stefania Lodola

Riprese Fotografiche

Gisella Capponi, Michele Cordaro, Mark Gittins, Rodolfo Fiorenza, Sario Manicone, Doretta Mazzeschi, Paolo Piccioni

Copyright: © 2000 Comitato di Coordinamento per la Salvaguardia della Torre di Pisa, Istituto Centrale per il Restauro

*Progetto Grafico*: Rodolfo Fiorenza

*Editing*: Sabina Vedovello

*Traduzioni di*: Cynthia Rockwell

Christopher Mc Dowell per il testo di U. Santamaria e C. Miliani

*Litotipi*: GI Grafica Internazionale, Via Rubicone, 18 Roma

*Stampa*: Litografica Iride, Via della Bufalotta, 224 Roma

*Foto di copertina*: Abbrescia e Santinelli, da "Animatour, Archivio Fotografico digitale della torre pendente di Pisa".

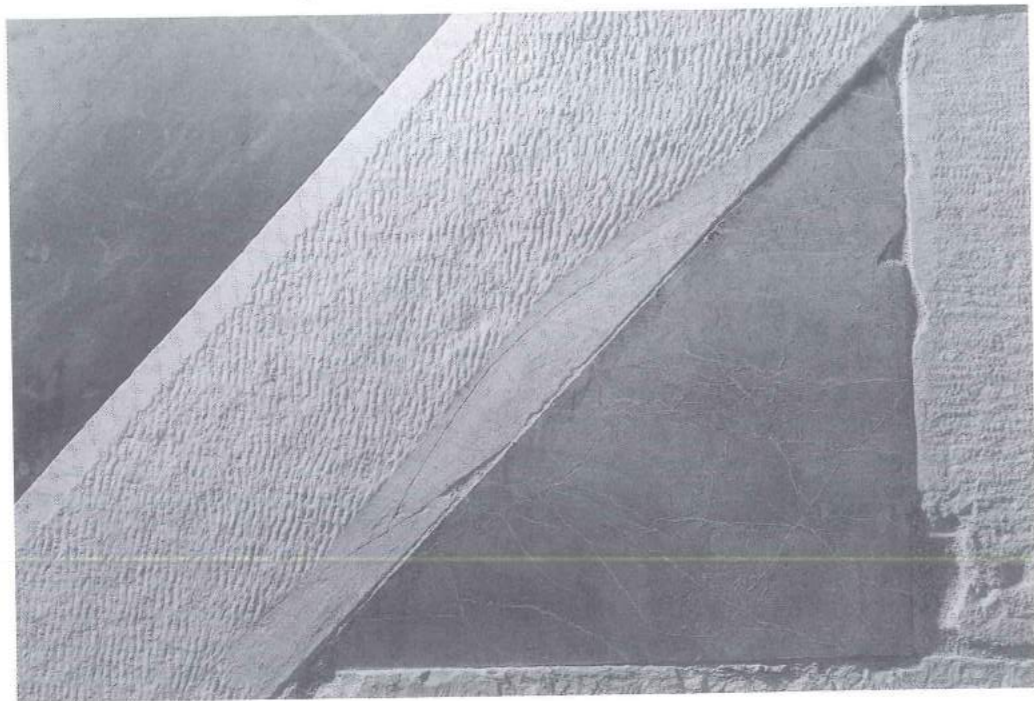


Peter Rockwell e Sabina Vedovello

La pulitura delle superfici ha consentito uno studio approfondito sulle tecniche esecutive, possibile infatti solo sulle superfici pulite; nelle altre zone i depositi di agenti inquinanti e di calcare rendono difficoltosa questa esplorazione e parziali ed imprecisi i suoi esiti.

Il riconoscimento delle tracce degli strumenti e della sequenza del loro uso, le distinte modalità di esecuzione sui diversi elementi architettonici e sui vari materiali costituiscono informazioni preziose per la ricostruzione di una storia del monumento e delle sue vicende conservative. Possono inoltre diventare un utile supporto alla lettura ragionata di documenti d'archivio e di immagini fotografiche storiche.

Quanto rilevato è stato identificato sulle superfici di marmi bianchi e grigi; invece su brecce, calcare di Filettole, granito e integrazioni in marmo Bardiglio delle decorazioni scure non si rintraccia alcun segno di lavorazione superficiale. Questo in parte, e per alcuni materiali, è legato al livello di erosione o disgregazione raggiunto; su altri, come il calcare di Filettole, è da attribuire alla volontà di restituire una superficie levigata



1°Ordine. Geometria 8\*, differenze di lavorazione tra la superficie di marmo apuano, con evidenti tracce di gradina e scalpello, e calcare di Filettole, perfettamente levigato.

*Once the surfaces were cleaned, it was possible to carry out an in-depth study of the carving techniques, which can best be seen on clean surfaces; elsewhere, the accumulation of pollutants and scale makes inspection difficult and leads to partial and imprecise results. Recognition of the tool marks and the sequence in which they were used, as well as the different kinds of carving on the various architectural elements and types of stone, all provide useful information for reconstructing the history of the monument and the treatments it has received. Moreover, such information can facilitate the intelligent reading of archive documents and period photographs.*

*The findings regard the surfaces of the white and gray marbles, whereas there are no signs of surface working on the breccias, Filettole limestone, granite and the Bardiglio marble repairs of the dark ornamentation. For some of the materials, this is because of the degree of erosion or disintegration; on others, such as the Filettole limestone, it can be attributed to the desire to achieve a smooth surface to emphasize the stone's dark coloration for*

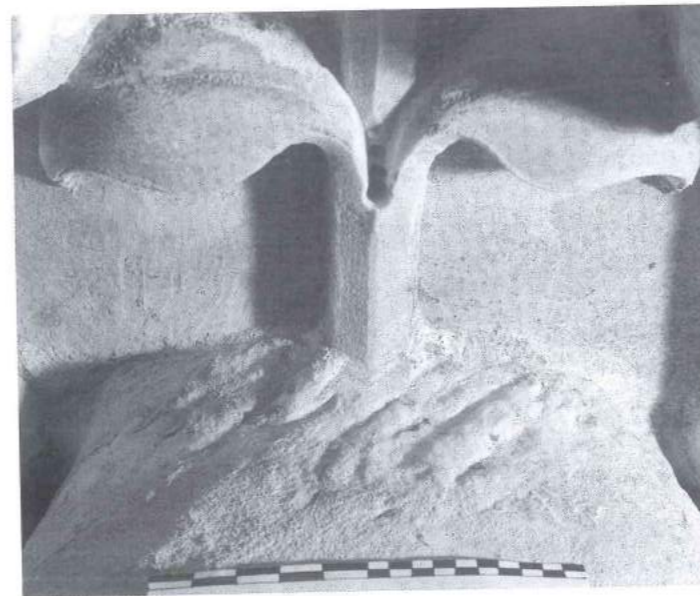
*Level 1, geometric pattern 8\*, differences in working between the surfaces of Apuan marble, with clear traces of the tooth chisel and flat chisel, and Filettole limestone, perfectly smoothed.*

che esaltasse la colorazione scura della pietra, in relazione alle esigenze decorative.

Gli strumenti riconoscibili per il permanere delle tracce d'uso sulle superfici sono:

#### Subbia

La subbia è uno scalpello a punta, costituito da un'asta che varia dai 20 e i 30 centimetri di lunghezza e con



1°Ordine, capitello 9, esempio di lavorazione a subbia sul piano superiore di una delle foglie. Sul fondo tracce di rifinitura a scalpello e, tra i piccioli delle foglie più piccole, fori di trapano ad intensificare la linea di separazione.

*Level 1, capital 9, example of point-chisel work on the upper level of one of the leaves. In the background, traces of finishing with the flat chisel and - between the stalks of the smallest leaves - drill holes to intensify the line of separation.*

diametro compreso tra i 10 e i 25 millimetri; la punta in genere è di forma piramidale, più raramente conica. Sulle superfici studiate si sono ritrovate tracce lasciate da uno strumento tenuto quasi perpendicolarmente alla superficie della pietra (gli strombi della finestra del tamburo e le facce superiori ed inferiori delle mensole del 2°Ordine) e di uno strumento tenuto angolato (sul fronte delle mensole, in alcuni sottosquadri delle foglie dei capitelli e in zone di rilavorazione dei fusti delle colonne del 1°Ordine). Quest'ultima modalità di lavoro, a livello delle nostre conoscenze, risulta relativamente recente: viene in genere riscontrata solo su manufatti databili dal '500 in poi.

#### Picchiarello

Si tratta di un piccolo piccone, con la testa dotata di punte su entrambe le estremità. È uno strumento molto

decorative purposes.

*Traces of tool marks remaining on the surfaces come from the following tools:*

#### Point chisel

*The point chisel is a pointed tool with a shaft varying from 20 to 30 cm in length and a diameter ranging from 10 to 25 mm; the point is generally a pyramidal shape or, more rarely, conical. On the surfaces studied, we found traces left by a tool held almost perpendicular to the stone surface (the jambs of the window of the inner drum and the upper and lower sides of the beams on Level 2 and of a tool held at an angle (on the front of the sills, in some undercuts of the leaves on the capitals and in areas of reworking of the column shafts of Level 1). To our knowledge, the latter type of carving is relatively recent: it is generally found only on objects dating from 1500 on.*

#### Sculptor's pick

*This tool is a small pickaxe with a point at each end of the head. It was used a great deal during the medieval period, instead of or in addition to the point chisel and the tooth chisel. Identified in the blocks of the window jambs, alternating with the point chisel, it leaves a surface pockmarked with small, irregular holes, varying in depth.*

#### Tooth chisel

*This hand tool is similar to the flat chisel but its cutting edge is incised with regular notches which form a series of teeth of various widths. It is used at an angle to the stone surface and leaves thin, parallel grooves, broken only by the sequence of blows.*

*On the Tower, the carving with this tool can be considered the final phase in the definition of the surfaces of the San Giuliano marble, both in the cornices and on the flat walls.*

#### Toothed axe

*This is an axe with a toothed cutting edge which leaves marks similar to those of the tooth chisel; the grooves, however, are shorter, and one sees the blow marks left in quick succession. On the Tower, it sometimes replaces the tooth chisel.*

#### Flat or round-headed chisel

*These tools are the best known and most commonly used for finishing work. The size of the shaft and the cutting*





1° Ordine, strombo della finestra del tamburo, segni di lavorazione a gradina.

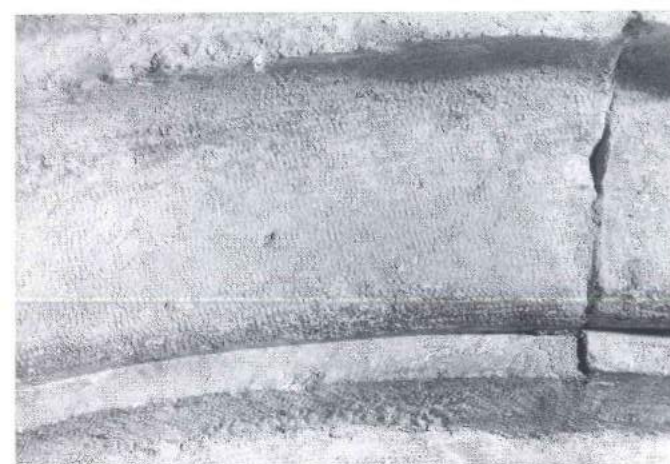
Level 2, embrasure of the window of the drum. Marks of the sculptor's tool.

Utilizzato nel periodo medioevale, in alternativa o a complemento della subbia e della gradina. Identificato sui conci degli strombi della finestra, alternato alla lavorazione a subbia, lascia una superficie costellata di piccoli colpi irregolari, di diversa profondità.

#### Gradina

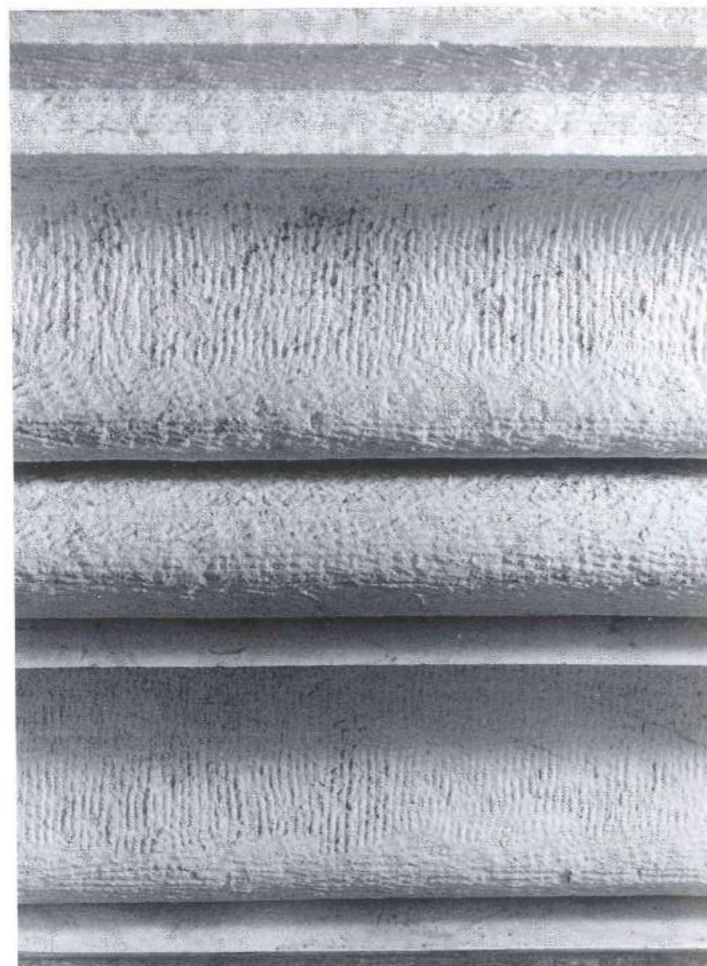
Strumento a mano simile allo scalpello, ma con il bordo di taglio inciso a tacche regolari fino a costruire una serie di denti più o meno appuntiti. Viene utilizzato principalmente sulla superficie della pietra, in modo da lasciare dei sottili solchi paralleli, interrotti solo dalla frequenza dei colpi.

Sulla Torre la lavorazione a gradina può considerarsi la fase finale nella definizione delle superfici in marmo di



1° Ordine, arco tra le colonne 8\* e 8, segni di lavorazione a gradina sulla gola della cornice.

Level 2, arch between columns 8\* and 8, tooth-chisel marks on the molding.



1° Ordine, cornice superiore, lavorazione a gradina, probabilmente montata su uno strumento pneumatico. Gli spigoli sono rifiniti a scalpello.

Level 1, upper cornice, marks of the tooth chisel, probably used with a pneumatic hammer. The sharp edges are finished with a flat chisel.

edge can vary greatly, depending on the form to be finished. On the round-headed chisel, the outer parts of the cutting edge are smoothed and rounded. These tools were used for the decoration of the capitals, to square the edges of the blocks and for some corrections during assembly of all the areas inspected on the Tower. They leave small parallel marks corresponding to the cutting edge, and one can generally see the succession of the traces of the tool.

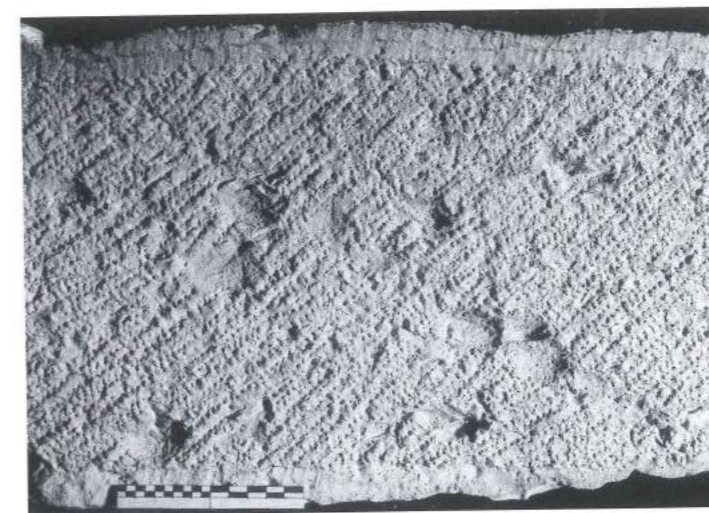
#### Bush Hammer

This hammer has a square head studded with pyramidal points. The working blows, perpendicular to the surfaces being worked, leave a regular series of small holes. The bush hammer was used on the flat surfaces of numerous blocks of the exterior walls and, in the interior drum, one can see its use for the reworking that runs

S.Giuliano, sia nelle cornici architettoniche che sui paramenti piani.

#### Martellina

Si tratta di un'ascia a taglio dentato che lascia sulla pietra tracce simili a quelle lasciate dalla gradina; i



2° Ordine, mensola della colonna 8, tracce di lavorazione a martellina. Level 2, beam of column 8, traces of working with a toothed axe.

solchi sono però più corti e si apprezza di più l'andamento dei colpi in successione frequente. Sulle superfici della Torre sostituisce a volte la lavorazione a gradina.

#### Scalpello e/o ferro tondo

Sono gli strumenti più noti e quelli maggiormente utilizzati per i lavori di rifinitura. Le dimensioni dell'asta e del bordo di taglio possono essere molto diverse, a seconda della forma da rifinire. Il ferro tondo è uno scalpello con gli angoli del bordo di taglio smussati e arrotondati.

Sono stati usati per la decorazione dei capitelli, per la definizione dei margini dei blocchi e per alcune correzioni in fase di montaggio su tutte le zone della Torre controllate. Lasciano piccoli segni paralleli corrispondenti al bordo del taglio e sono in genere ben individuabili i percorsi affiancati degli spostamenti successivi dello strumento.

#### Bocciarda

È un martello con una testa quadrata, modellata con punte piramidali. I colpi di lavorazione, perpendicolari alla superficie da lavorare, lasciano una serie regolare di piccoli fori.

Sono state trattate a bocciarda le superfici piane di

along the base of the wall.

#### Drill

This tool is used both in the initial roughing-out stage and for decorative finishes. Clear signs of drill work are seen on the capitals, with various sizes of drill bits: one of these, which is frequently found, is about 6 mm in diameter, and probably can be traced to the oldest working phase; another, smaller in diameter, can be seen on capital 9 of Level 1.

#### Rasp

Very few signs of this tool were found: it can be seen on a few faces of the cornices, in the external arches of the gallery on Level 2 and on capital 8 of Level 1, occasionally in relation to ascertained restoration work. The tool has a shaft with two rough ends, similar in shape to a spatula. It leaves thin, irregular scratches on the surfaces, with marks running in various directions, sometimes criss-crossing each other.

#### Work sequences

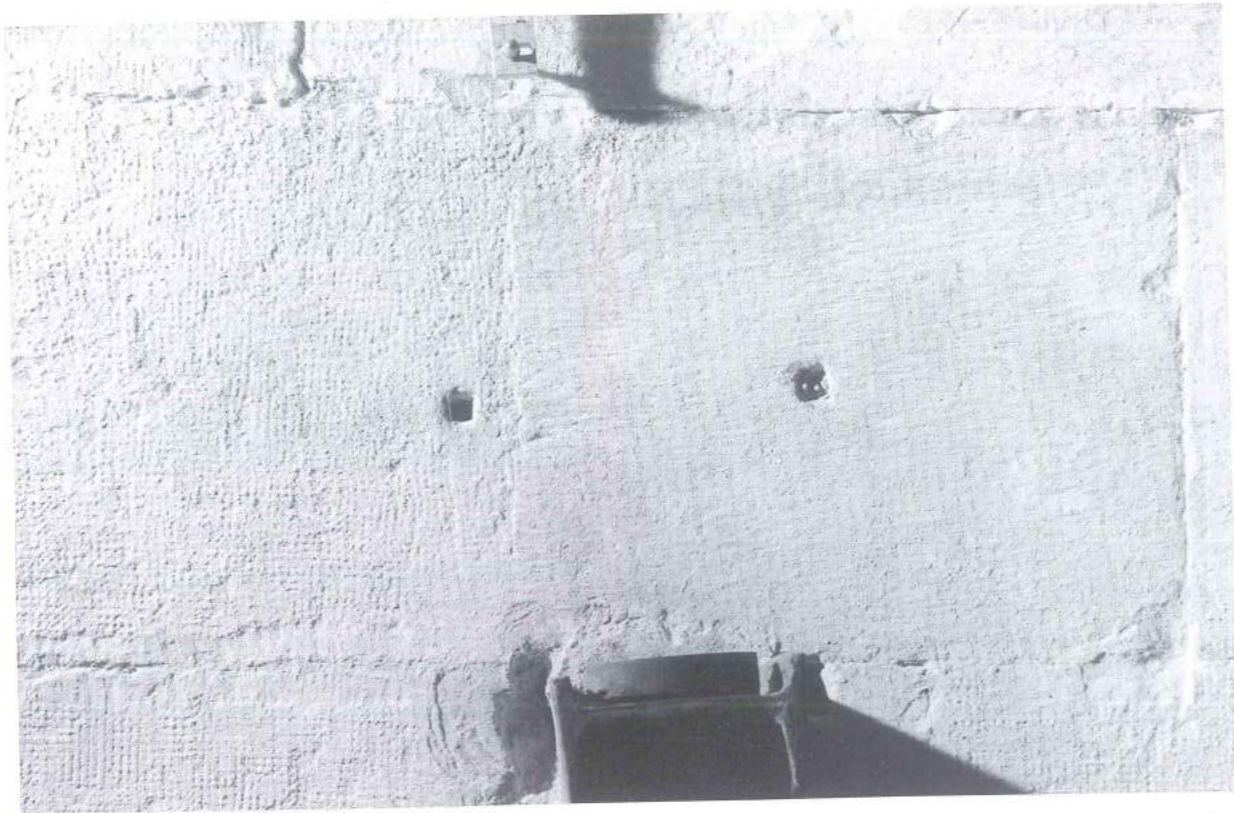
The tool use follows sequences linked to the progression of the work in the successive phases of defining forms and surface finishing.

On the surfaces of the architectural structure, three sequences were found, and appear to be related to the different types of stone.

The first sequence begins with the use of the point chisel – or sculptor's pick – to square the planes of the block, followed by more or less fine working with the tooth chisel or the toothed axe. Any finishing of the edges of the blocks is done with a thin flat chisel; sometimes this chisel seems to have been used on elements that are already in place, in order to adjust small defects of position or juncture, although getting the joins between the blocks just right was not carried to extremes. This sequence is always found in relation to the San Giuliano marble, and would seem to be the oldest working phase connected to the original materials. In support of this hypothesis, one can compare this technique to that used in the decoration with sea monsters, animals and ships flanking the entry gate: the backgrounds of the bas-reliefs show the same work sequence, as do the jambs of the window of the inner drum in the gallery on Level 2.

In the second sequence, one sees on the same block the use of the bush hammer in the central area and a wide flat chisel (cutting edge at least 2 cm) along the margins and edges. Occasionally the chisel is used in two passes





Interno della Torre, parete del tamburo, tracce di rilavorazione a bocciarda su un blocco in marmo di S.Giuliano. La lavorazione originale è a martellina.

*Inside the Tower, drum wall, traces of re-working with a bush hammer on a block of San Giuliano marble. The original working is with a toothed axe.*

numerosi blocchi dei paramenti esterni e, nel tamburo interno, se ne rintraccia l'uso per la rilavorazione che corre alla base della parete.

#### Trapano

Strumento usato sia nella fase di abbozzo iniziale che nelle rifiniture decorative finali. Segni evidenti di lavorazione a trapano sono rintracciabili sui capitelli, con diverse dimensioni delle punte: una, molto frequente, è del diametro di circa 6 millimetri, probabilmente riconducibile alle lavorazioni più antiche; un'altra di diametro inferiore è rintracciabile sul capitello 9 del 1° Ordine.

#### Raspa

Sono stati rilevati pochissimi segni di lavorazione con questo strumento: si rintraccia su alcuni piani delle cornici negli archi esterni del loggiato al 2° Ordine e sul capitello 8 del 1° Ordine, a volte in relazione accertata con lavorazioni di restauro.

È uno strumento formato da un'asta con due estremità rugose, della forma simile a quella di una spatola. Lascia sulle superfici dei graffi sottili, irregolari, con tracce che

*in order to double the size of the border. This technique is found on the white Apuan marble of the arches on both levels, and the vertical planes and floor of the gallery. The working method, the characteristics of the assembly and the traces of the bush hammer – a tool that entered common use no earlier than the 17th century – clearly point to a restoration, probably in the 19th century. A different working method is found on beams 8, 8\* and 9 of Level 2, done in Bardiglio marble. The horizontal faces are left roughed out, with irregular marks of the point chisel and numerous small areas of unsmoothed material. The side faces show the use of a flat chisel on the corners – also in order to regularize and 'adjust' cracks and breaks already created in the course of working or assembly – and a large toothed axe, with rather irregular marks both in depth and direction of the blows.*

*The front faces carry clear marks of the same type of working, always used on flat surfaces and following different and apparently casual angles. This carving technique could perhaps be traced to 18th-century interventions of maintenance and restoration. Particular attention was also paid to reconstructing how the building yard was organized and to the phases of*

seguono diverse direzioni, spesso incrociate una sull'altra.

#### Sequenze di lavorazione

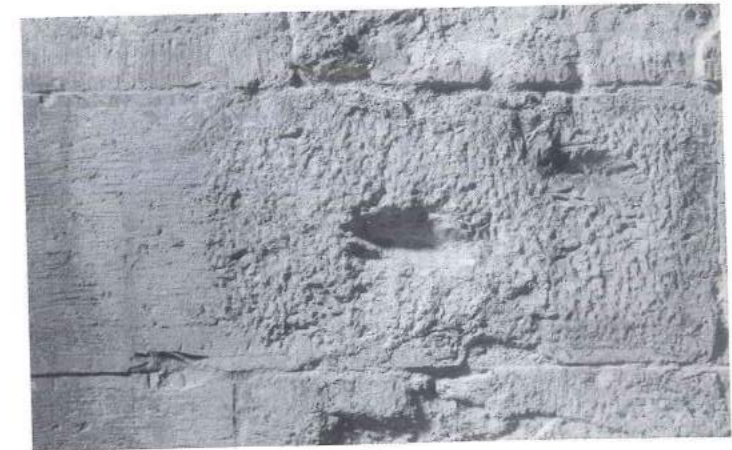
L'uso degli strumenti si compone in sequenze legate alla progressione del lavoro nelle fasi successive della definizione delle forme e della finitura delle superfici. Per quanto riguarda le superfici della struttura architettonica ne sono state rintracciate tre, che sembra di poter legare a diverse tipologie di materiale lapideo. Una prima sequenza vede l'uso della subbia - o picchiarello - per la definizione dei piani dei blocchi, seguita da una lavorazione più o meno fine a gradina o a martellina. L'eventuale rifinitura dei margini dei blocchi è eseguita con uno scalpello a taglio piccolo; a volte lo scalpello sembra usato su elementi già in opera, per aggiustare piccoli difetti di posizione o di raccordo, anche se non vi è un'attenzione maniacale per i giusti raccordi tra i conci. Questa sequenza si trova sempre in relazione al marmo di S.Giuliano e si ipotizza sia la lavorazione più antica, quella legata ai materiali originali.

A sostegno di tale ipotesi risulta il confronto con la tecnica utilizzata nella decorazione con mostri marini, animali e navi ai lati della porta di ingresso: i fondi dei bassorilievi mostrano la medesima sequenza di lavorazione, come pure gli strombi della finestra del tamburo, al loggiato del 2° Ordine.

Una seconda sequenza vede affiancati in uno stesso concio l'uso della bocciarda, o a volte della subbia, nella parte centrale e di uno scalpello a taglio piuttosto largo (almeno due centimetri) lungo i margini e gli spigoli. A volte lo scalpello è utilizzato in due passate successive, in modo da raddoppiare la dimensione del bordo; a volte invece il bordo è lavorato con lo scalpello sugli spigoli e la gradina lungo il perimetro più interno. Questa tecnica si trova su blocchi in marmo apuano bianco degli archi di entrambi gli Ordini, dei piani verticali e del pavimento del loggiato.

Le modalità esecutive, le caratteristiche del montaggio e le tracce della bocciarda, strumento entrato nell'uso comune non prima del '600, fanno chiaramente pensare ad un restauro, probabilmente ottocentesco.

Una lavorazione diversa si rintraccia sulle mensole 8, 8\* e 9 del 2° Ordine, realizzate in marmo bardiglio. Le facce orizzontali sono lasciate a livello di abbozzo, con tracce irregolari di subbia e numerose piccole scagliature di materiale non regolarizzate; le facce laterali mostrano l'uso dello scalpello sugli spigoli - anche per regolarizzare e "aggiustare" lesioni e rotture create già in fase di lavorazione o di montaggio - e di una martellina larga,



2° Ordine, strombo della finestra del tamburo, i diversi stadi di finitura dei blocchi permettono di ricostruire il processo di lavorazione. Nella parte più interna sgrossatura a subbia, vicino all'angolo esterno dello strombo lavorazione più fine a martellina. I margini dei blocchi sono definiti a scalpello, probabilmente già prima della posa in opera.

*Level 2, embrasure of a window of the drum. One can reconstruct the work process from the various states of finish of the blocks. In the innermost part, roughing with a point chisel, close to the outer corner of the embrasure, finer working with the toothed axe. The edges of the blocks are defined with a flat chisel, probably even before placement.*

*finishing the materials at various stages in the building of the monument.*

*A typical feature of medieval building yards, which continued throughout the entire 16th century, was to carve as much ornamentation and sculpture as possible on the ground, leaving final (and sometimes considerable) adjustments for the moment when the various parts were put together. Even on the outer surfaces of the parts that can be traced*



1° Ordine, a destra della porta di ingresso alla Torre, rilievo con mostri marini in marmo di S.Giuliano, lavorazione a martellina del fondo, evidente soprattutto sotto il collo del drago.

*Level 1, right of the entryway, relief with sea monsters in San Giuliano marble, toothed-axe work on the background, especially evident beneath the dragon's neck.*





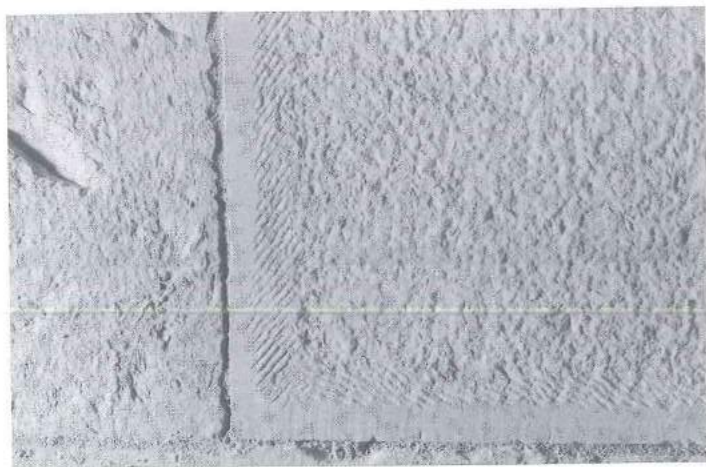
2°Ordine, sottarco tra le colonne 9 e 8\*, blocco in marmo di Carrara con lavorazione a bocciarda sul fondo e rifinitura a scalpello dei margini.

Level 2, underside of arch between columns 9 and 8\*, block of Carrara marble with bush hammer work on the background and of edges finished with a flat chisel.

con tracce piuttosto irregolari sia come profondità che come andamento dei colpi, che variano più volte e cambiano spesso direzione.

Le facce frontali riportano segni evidenti di queste stesse lavorazioni, sempre utilizzate su piani e secondo inclinazioni differenti e apparentemente casuali. Questa tecnica di lavorazione potrebbe essere ricondotta a interventi di manutenzione e restauro eseguiti nel corso del Settecento.

Particolare attenzione è stata dedicata anche alla



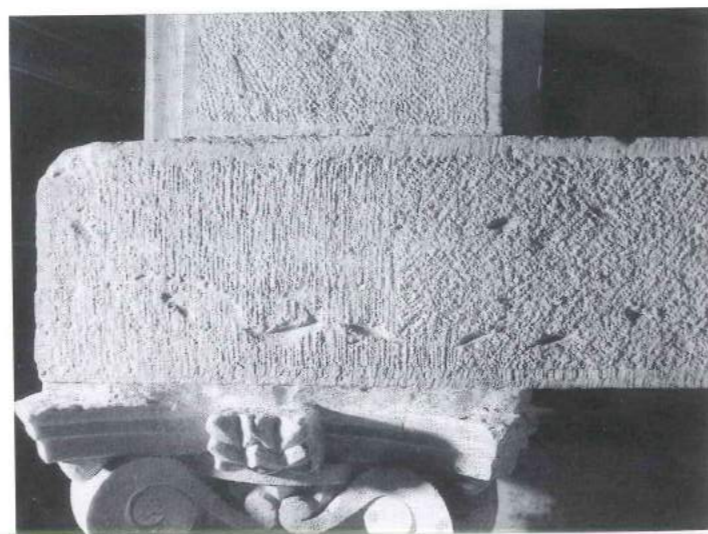
1°Ordine, paramento tra le colonne 9 e 8, lavorazione ascrivibile alla seconda sequenza individuata, con il fondo del blocco lavorato a picchiarello e i margini rifiniti a scalpello e gradina.

Level 1, wall between columns 9 and 8, working ascribable to the second sequence identified, with the background of the block worked with the sculptor's pick and the edges finished with the flat chisel and tooth chisel.

to the Tower's first construction phase, one notes a different approach. The surface finishing was done on blocks that were already in place: indeed, there is very little readjustment carving. The approximation of the block joins in the vault of the window of the drum at Level 2 is especially indicative, as they do not coincide even in the planes of the curvature. In contrast, use of the traditional technique is found in the walls of the internal staircase, where there are numerous traces of adjusting the blocks to each other and to the general curvature of the structure of the space.

Marks of reworking for restoration purposes can be noted on columns 8 and 9 of Level 1, where the upper parts of the shafts have been partially thinned – perhaps to eliminate an unsightly damaged surface – by carving with the bush hammer and point, over the original marks of the toothed axe and tooth chisel.

Another peculiarity in the carving is seen on these same columns, which are up against and partially inserted into the smooth wall face: during the preliminary restoration it was possible to note that the shafts are fully in the round, with the curvature continuing on the inside of the wall. This type of assembly method is most unusual, and should be studied further as the work proceeds, also in



2°Ordine, mensola della colonna 9, lato destro, sequenza di lavorazione attribuita ad un intervento probabilmente settecentesco. Il blocco, in marmo bardiglio, è lavorato a martellina, utilizzata secondo direzioni e con intensità di colpo diverse, sopra ad una sgrossatura a subbia di cui si individuano ancora i colpi più profondi. Gli spigoli sono rifiniti con un doppio passaggio di scalpello.

Level 2, beam of column 9, right side, work sequence attributed to an intervention, probably in the 18th century. The block, in Bardiglio marble, is worked with the toothed axe, employed in various directions and with different intensities of blows, on top of a roughing out with the point chisel where the deepest blows can still be seen. The edges are finished with a double passage of the flat chisel.

ricostruzione delle modalità di conduzione del cantiere e delle fasi di finitura dei materiali nei diversi momenti di realizzazione del monumento.

Una caratteristica tipica del cantiere medioevale, che si protrae fino a tutto il Cinquecento, era di condurre la lavorazione delle decorazioni e della scultura il più possibile a terra, rimandando al momento del montaggio delle diverse parti aggiustamenti anche consistenti. Nelle superfici esterne della Torre si verifica una modalità diversa già nelle parti riconducibili alla prima fase della costruzione. La rifinitura superficiale risulta condotta a blocchi già montati: vi sono infatti pochissime rilavorazioni di aggiustamento e, soprattutto, è indicativa l'approssimazione delle giunzioni dei blocchi nella volta della finestra del tamburo nel 2°Ordine, che non coincide nemmeno nei piani della curvatura. Il ricorso alla tecnica tradizionale si riscontra invece nelle pareti della scala interna, dove numerose sono le tracce di adeguamento dei blocchi ai conci vicini e alla curvatura generale della struttura del vano.

Tracce di rilavorazioni legate a interventi di restauro sono invece da notare sulle colonne 8 e 9 del 1°Ordine, dove la parte superiore dei fusti è stata parzialmente assottigliata – forse per eliminare una superficie ammalorata – con una lavorazione a bocciarda e subbia, che si sovrappone all'originaria lavorazione a martellina e gradina.

Un'altra particolarità esecutiva si riferisce a queste stesse colonne, addossate e parzialmente inserite nel paramento liscio: durante il restauro si è potuto verificare che i fusti sono a tutto tondo, con la curvatura che continua all'interno della parete. Si tratta di una modalità di montaggio del tutto anomala, che sarà da approfondire nella continuazione del lavoro anche in rapporto ad altri elementi, e forse da mettere in relazione al riutilizzo di elementi più antichi già in fase di costruzione.

### I capitelli

Un'analisi particolare e attenta è stata riservata agli apparati decorativi dei cinque capitelli inseriti nella zona sottoposta a restauro, tutti in marmo apuano bianco, realizzati con tecniche estremamente diverse.

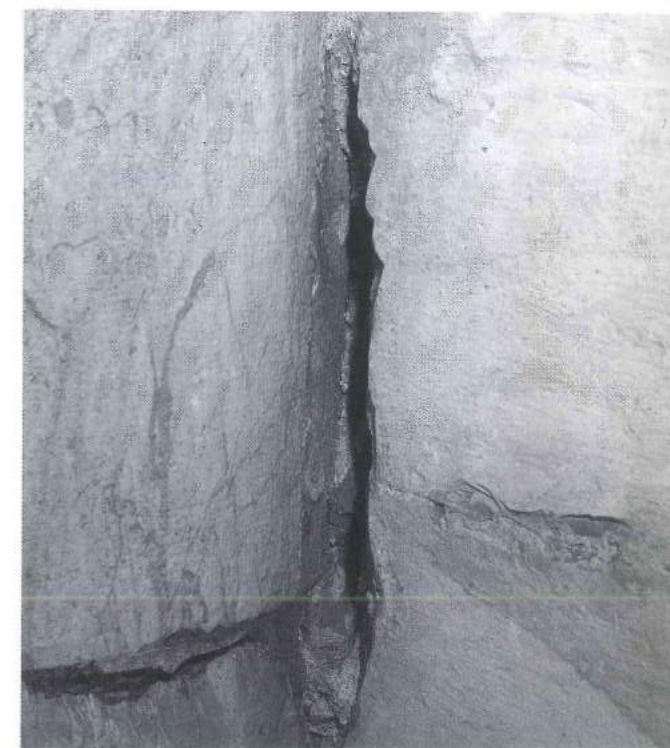
### Capitelli 9 e 8\*, 2°Ordine

Questi due capitelli sono straordinariamente unitari nella struttura decorativa, nelle dimensioni e anche nel sistema di realizzazione: la tecnica di lavorazione visibile è unicamente a scalpello e ferro tondo. Colpisce soprattutto la totale assenza di segni di lavorazione a



2°Ordine, volta dello strombo della finestra, dopo la rimozione delle stuccature di restauro risultano evidenti le diversità di curvatura dei vari blocchi e la mancanza di lavorazioni di raccordo e correzione.

Level 2, vault of window embrasure, after removal of restoration fills. One can see the difference in curvature of the various blocks and the lack of an attempt to join and adjust the edges.



1°Ordine, colonna 9, durante la rimozione di alcune stuccature di riempimento si è potuto verificare che i blocchi del fusto della colonna continuano, perfettamente integri nella curvatura e nella lavorazione superficiale, all'interno della sede di allettamento.

Level 1, column 9, during the removal of some fills, one could see that the blocks of the column shaft continue, with no change in curvature or surface working, into the background setting.



trapano; questo rende inoltre difficoltosa l'attribuzione ad uno specifico periodo storico.

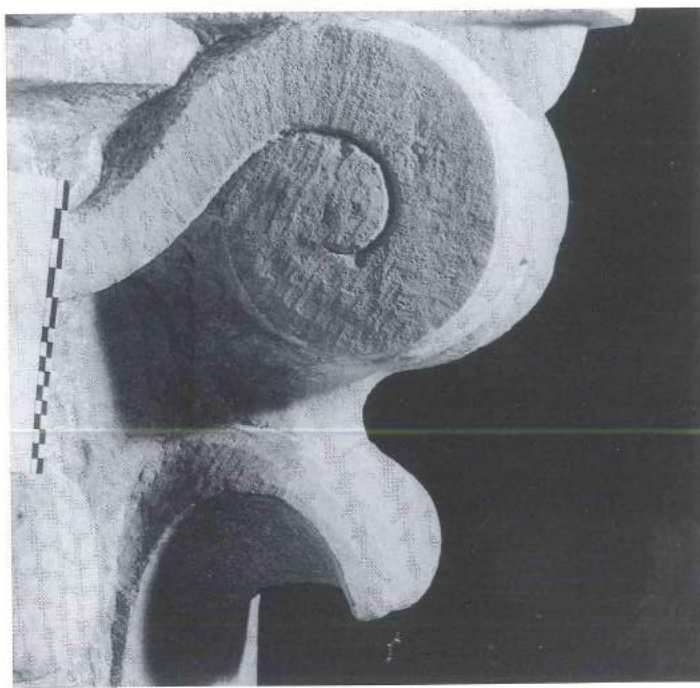
Non vi è traccia nemmeno di sistemi di finitura ad abrasivi o di levigatura finale: i segni di scalpello, precisi e regolari, sembrano quasi essere stati utilizzati come ulteriore decorazione.

#### Capitello 8, 2° Ordine

Capitello di impianto decorativo e dimensioni molto diversi dai precedenti. I fondi e il dado superiore recano tracce di lavorazione a scalpello; i sottosquadri delle foglie angolari sono stati creati con profondi fori di trapano, che hanno eliminato parte della pietra retrostante. Il disegno delle foglie, gli aggetti e le nervature sono stati segnati e scavati con il trapano, poi livellati a scalpello; fori netti, con intento chiaramente decorativo, sono realizzati alla base di ogni lobo. Questo uso del trapano e la modalità di realizzazione dei fori, praticati in perpendicolare alla superficie da trattare, risultano caratteristici del periodo medioevale.

#### Capitello 8, 1° Ordine

Il capitello, parzialmente inserito nella muratura del paramento, ha tre lati in vista, di cui quello frontale è il più completo: si può quindi ipotizzare una sua realizzazione a terra, con la definizione della posizione nel momento del montaggio delle diverse parti



2° Ordine, fronte destro del capitello 9, lavorazione a scalpello e/o a ferro tondo.

Level 2, right face of capital 9, working with a flat and/or round-headed chisel.

*relationship to other elements. It could be related to the reuse of older elements even in the construction phase.*

#### The capitals

*A particularly careful analysis was made of the decorative features of the five capitals in the test area under treatment, all of which are in white Apuan marble and carved with quite different techniques.*

#### Capitals 9 and 8\*, Level 2

*These two capitals are extremely similar in their decorative structure, in size and also in the way they were carved: the visible marks are left only by flat and round-headed chisels. What is particularly striking is the complete absence of drill marks – a fact that, moreover, makes it difficult to attribute the work to any specific historical period.*

*Also missing is any trace of abrasive finishing or final smoothing: the precise and regular chisel marks seem almost to have been used as decoration in themselves.*

#### Capital 8, Level 2

*The decorative scheme and size of this capital are quite different from the two above. The base and the upper cube show marks of the flat chisel; the undercuts of the corner leaves have been created with deep drill holes, which have eliminated part of the stone behind. The design of the leaves, extended parts and veins were marked and excavated with the drill, then smoothed with a flat chisel. Clean holes, clearly for decorative effect, are drilled at the base of each lobe. This latter type of drill work and the way the holes are drilled perpendicular to the surface are characteristic of the medieval period.*

#### Capital 8, Level 1

*This capital, partially inserted into the wall, has three visible sides, of which the front is the most complete: one can thus hypothesize that it was carved on the ground and its position decided when the various architectural elements were assembled, i.e., the wall and the bearing column.*

*It has two rows of smooth leaves and, above them, a final row of curly leaves which create the corner supports for the cube above. There are three small rosettes at the center along the upper edges.*

*All the leaf tips on the first two rows are restoration inserts.*

*The work sequence can be summarized as follows: the digging for the extended parts of the corner volutes was done mainly with the point chisel, perhaps after a first*

*architettoniche, ovvero del paramento e della colonna portante.*

*Presenta due registri di foglie lisce, sovrastate da un'ultima fila di foglie a ricciolo che creano i sostegni angolari del dado superiore. Al centro dei margini superiori sono realizzate tre piccole rosette. Tutte le punte delle foglie dei primi due registri sono inserti di restauro.*

*La sequenza di lavorazione si può così riassumere: gli scavi per gli aggetti delle volute angolari sono realizzati sostanzialmente a subbia, forse dopo una prima sgossatura eseguita con l'ausilio del trapano; l'individuazione dei piani di fondo più profondi, ad esempio dietro i riccioli laterali o tra le foglie e i fusti delle volute angolari, è realizzata con una serie di fori di*



2° Ordine, fronte esterno del capitello 8, lavorazione a scalpello e a trapano. Nel fondo, tra i lobi delle foglie, si indovina qualche traccia della iniziale sgossatura a subbia.

Level 2, external face of capital 8, working with a flat chisel and drill. In the background, between the lobes of the leaves, one glimpses a few traces of initial roughing out with a point chisel.

*trapano ravvicinati, in un secondo momento regolarizzati e aperti con lo scalpello. La rifinitura dei fondi e i piani delle foglie e delle volute sono eseguiti a scalpello, così come i dettagli delle rosette dove è rintracciabile un timido uso del trapano con intenti decorativi.*

*Sulle foglie lisce, soprattutto nella faccia frontale del capitello, si può rintracciare qualche segno di raspa, che è probabilmente da ricondurre ad una rilavorazione legata all'inserimento degli elementi di restauro.*

*Difficile è ipotizzare una datazione; l'unica cosa che si può affermare con sicurezza è che non si tratta di un*

*roughing out with a drill; the creation of the deepest planes – for example behind the side scrolls or between the leaves and stems of the corner volutes – was done with a series of drill holes close together. These were leveled out and opened with a flat chisel. The background and the flat planes of the leaves and volutes were finished with the flat chisel, as are the details of the rosettes, where one can see a bit of timid drill working decorative purposes.*

*On the smooth leaves, especially on the front face of the capital, one can find a few rasp marks, which were probably part of the reworking when the restoration elements were inserted.*

*It is difficult to ascribe a date to this capital. The only thing one can say for certain is that it is not a 19th-century piece.*

#### Capital 9, Level 1

*This capital is similar to the one above in the way it is placed but it has a few characteristics of greater refinement. First of all, the dimensions are very different: it is larger and less awkward in its placement. The decoration is similar, but carried out with greater detail: each rosette, for example, carries a depiction of a bird. The carving technique involved basically the same tool in the same sequence as capital 8, but there are characteristics that lead one to believe it was carved at a different time. The most curious feature is linked to drill use: there are marks of a drill bit that is much smaller than found on the preceding capitals, and the difference in the definition of details is very clear. In the veins of leaves and in the small animal figures, there is a confident and decisive use of the holes as decoration – unlike the other work methods. The separations between the various parts are deliberately carved with a continuous and regular series of small holes close together, which do not call for later chiselling to clear the channels. This technique has been noted only in the Florentine context, notably in the second half of the 15th century: for example, it is found as a particular trademark in the works of Desiderio da Settignano and Benedetto da Maiano.*

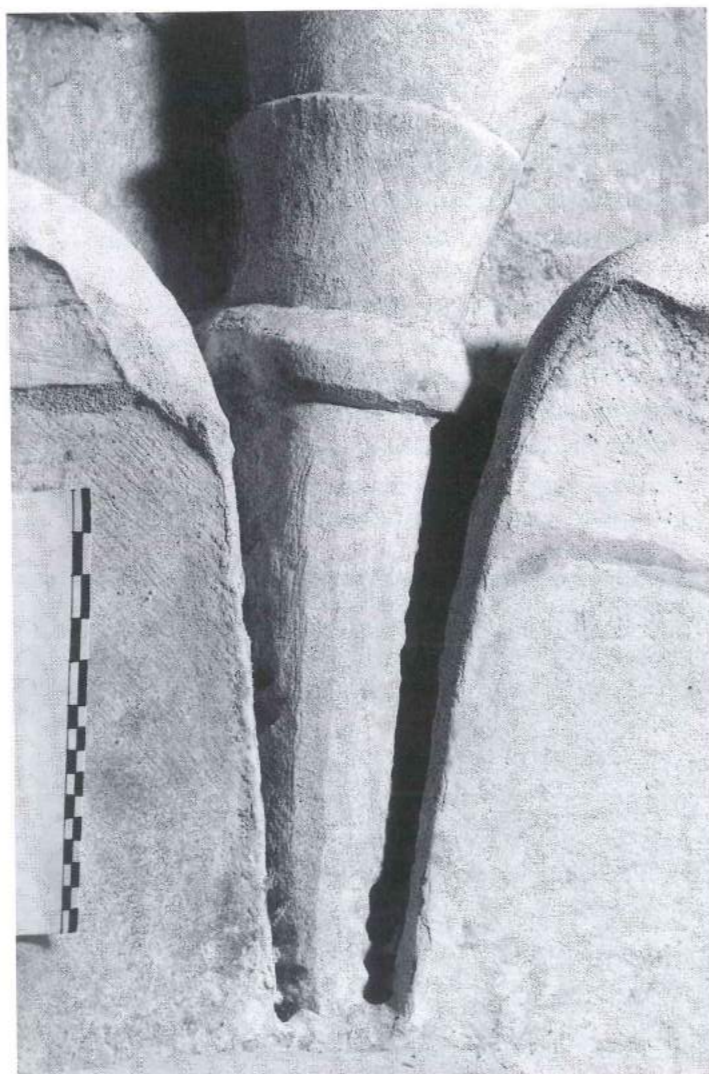
*Another difference is the use of the rasp for finishing the smooth leaves. Rasp marks are still visible, especially near the corners.*

*The hypothesis is that this capital was not carved before the 15th century.*





Ordine, capitello 8, particolare del lato sinistro.  
*vel 1, capital 8, detail of left side.*



1°Ordine, lato sinistro del capitello 8, particolare della decorazione con evidenti segni di scalpello e raspa, quest'ultima riferibile sia alla lavorazione originale che alla sistemazione degli inserti di restauro sulla punta delle foglie. I sottosquadri sono ottenuti con profondi fori di trapano poi parzialmente regolarizzati a scalpello.

*Level 1, left side of capital 8, detail of the decoration with clear signs of the flat chisel and rasp, the latter being both original work and connected to the adjustment of restoration inserts on the leaf tips. The undercuts are obtained with deep drill holes, subsequently partially cleared with a flat chisel.*

**Proposal for a study to accompany the general conservation project**

*This first, partial inspection of the surfaces of the Tower, and comparison with information about different specializations, has already begun to indicate themes of interest and offer an opportunity to deepen our knowledge about the Tower's characteristics and vicissitudes.*

*In the general project and the subsequent restoration of all the surfaces, one must decide on the data to be*

stessi strumenti nelle stesse fasi del capitello 8, ma con caratteristiche che portano a considerarlo eseguito in un'epoca diversa. La peculiarità di lavorazione più evidente è legata all'uso del trapano: innanzi tutto si rilevano tracce di una punta molto più piccola di quella ritrovata nei capitelli precedenti, e molto netta è la differenza nella definizione dei particolari. Nelle nervature delle foglie e nelle piccole figure di animali vi è infatti un uso sicuro e deciso dei fori come decorazione, che non appartiene agli altri sistemi esecutivi: le separazioni tra le diverse parti sono volutamente realizzate con una serie continua e regolare di piccoli fori affiancati che non prevedono alcuna successiva lavorazione a scalpello per la regolarizzazione dei tagli. Questa modalità è stata riscontrata solo in ambito fiorentino, segnatamente nella seconda metà del Quattrocento: ad esempio si ritrova, come caratteristica peculiare, nelle opere di Desiderio da Settignano e di Benedetto da Maiano. Altra differenza è l'uso della raspa o della gradina per la rifinitura delle foglie lisce, ancora visibile soprattutto vicino agli spigoli. L'ipotesi è che si tratti di un capitello eseguito non prima del XV secolo.

**Proposte per lo studio da abbinare al progetto di restauro generale**

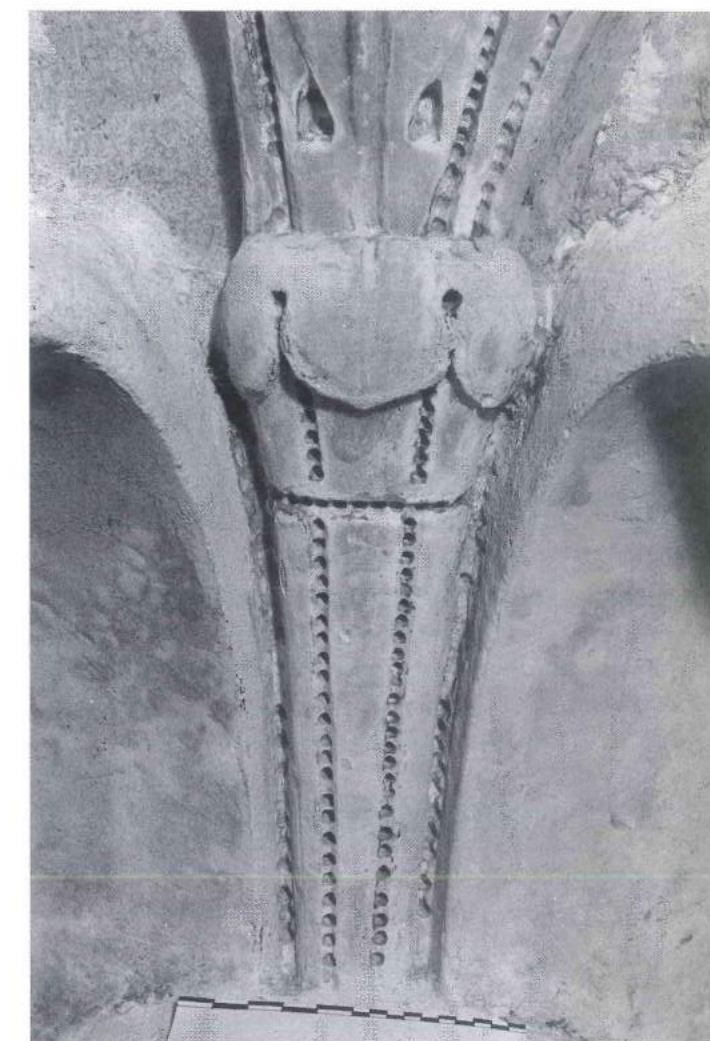
Già queste prime, parziali ricognizioni sulle superfici della Torre e il raffronto tra informazioni relative a specializzazioni diverse cominciano a delineare dei temi di interesse e la possibilità di approfondire le conoscenze sulle caratteristiche e le vicende della Torre.

Nel progetto generale e nel successivo restauro di tutte le superfici si tratterà di selezionare i dati da rilevare, individuarne le modalità di rilevamento e documentazione, e indicare gli obiettivi di ricerca che si vogliono perseguire.

La realizzazione dei lavori permetterà innanzi tutto di proseguire la ricognizione puntuale delle tecniche di lavorazione: più che la semplice indicazione delle tracce di ogni strumento sembra interessante indicare la presenza e la posizione delle diverse sequenze, sia quelle già descritte che altre che potranno essere individuate nel corso dell'attività. Sarà quindi necessario investire delle energie nella definizione delle modalità di inserimento di questi dati nel programma "Leaning Tower GIS": i sistemi di restituzione dei rilevamenti e le diverse possibilità di studio statistico andranno affrontati sia dal punto di vista aritmetico che grafico.

Un altro campo di approfondimento che si stima di estremo interesse è la possibilità, confrontando in modo

*studied, identify methods of survey and documentation and indicate the research objectives to be pursued. Above all, the scheduled works will allow careful inspection of the carving techniques to continue: more than a simple indication of all the tool marks, it should be interesting to indicate the presence and location of the various sequences, both those already noted and others that might be discovered in the course of the work. It will thus be necessary to spend some time in defining how to insert this data in the Leaning Tower GIS program; the systems of accessing the findings and the various possibilities of statistical study would be approached from both the numerical and the graphic point of view.*



1°Ordine, capitello 9, decorazione angolare dove il trapano, a punta piuttosto sottile, è stato utilizzato sia per la definizione dei piani di fondo sia con chiaro intento decorativo.

*Level 1, capital 9, corner decoration where a drill with a rather fine point has been used both to define the background planes and for deliberate decorative effect.*



stringente materiali costitutivi, tecniche di lavorazione, documenti d'archivio e foto storiche, di giungere alla configurazione di una storia delle vicende dei restauri e delle manutenzioni strettamente correlata alla struttura della Torre. In questo senso ci sembra sarà opportuno studiare con attenzione soprattutto tutti i capitelli dei diversi Ordini: in quanto elementi complessi conservano le maggiori tracce delle modalità di esecuzione in sequenza, e con maggiore facilità possono portare ad una datazione di riferimento. Non si esclude la possibilità di creare un vero e proprio abbecedario di questo tipo di decorazione nel corso dei secoli.

*Another area of in-depth study considered of great interest is to create a history of the restoration and maintenance events strictly correlated to the Tower's structure. This study would be done through close comparison of the constituent materials, stoneworking techniques, archive documents and period photographs. In this sense, we feel it would be useful to study carefully all the capitals of the various levels. As complex elements, they preserve the most marks of the sequential carving method and are most likely to lead to reference dating. It could well be possible to create a true primer of this type of decoration over the course of the centuries.*

## LO STATO DI CONSERVAZIONE

*Sabina Vedovello*

La definizione dello stato di conservazione della Torre e dei suoi materiali costruttivi ha richiesto la conduzione di studi e ricerche nelle più diverse discipline, come segnalato nei testi della Dott.ssa Mignosi, del Prof. D'Elia e dell'Arch. Capponi. Molto si è compreso, ma ulteriori verifiche e approfondimenti saranno ancora necessari in fase di restauro.

Parte importante di questo processo è stata l'individuazione della corretta sequenza e della migliore progressione delle fasi di osservazione, conoscenza e approfondimento dei problemi. La prima operazione, strumento indispensabile per la valutazione delle modalità delle alterazioni e base imprescindibile per una corretta impostazione degli approfondimenti scientifici, è consistita nell'esplorazione visiva di tutte le superfici. Questo si è tradotto, come strumento operativo, nella realizzazione di una mappatura grafica delle forme di alterazione individuabili sulle superfici dell'esterno e della scala interna. La difficoltà di questo approccio consiste nella necessità di interpretare e di razionalizzare situazioni complesse, in cui fenomeni diversi si assommano e si accavallano, rendendo difficile la comprensione dei dati, o fenomeni simili si manifestano visivamente dissimili, soprattutto se afferenti a materiali diversi. A questo si aggiunge l'inevitabile interpretazione dello schedatore, che fornisce la sua personale valutazione sia nel momento del riconoscimento che in fase di trascrizione grafica. Per contenere, per quanto possibile, queste variabili si è operato con una squadra fissa di cinque restauratori, specializzati in restauro di materiali lapidei. Il lavoro di rilevamento, preceduto da alcuni interventi sperimentali nel 1995-96, è durato complessivamente otto mesi, tra maggio 1998 e agosto 1999; sono state prodotte complessivamente 910 tavole grafiche, utilizzate poi per il trasferimento dei dati nel programma "Akira GIS Server".

Il completamento di questa operazione conoscitiva ha consentito da un lato la conduzione di studi scientifici e campagne di analisi correttamente ed espressamente mirate alle condizioni del monumento e alla comprensione dei suoi processi di degrado, dall'altra la creazione di uno strumento completo per la georeferenziazione dei dati e la visualizzazione quantitativa e qualitativa dei danni.

## THE STATE OF CONSERVATION

*Defining the condition of the Tower and its component parts required studies and research in a wide variety of disciplines, as indicated in the papers by our colleagues Mignosi, D'Elia and Capponi. Much has already been understood, but further verifications and in-depth study will still be necessary during the conservation phase. An important part of this process was identifying the proper sequence and the best progression for the phases of observation, consideration and further examination of the problems. The first reconnaissance, an indispensable tool for evaluating the alteration processes and a crucial instrument for follow-up studies, consisted of a visual inspection of all the surfaces. This was translated, as an operative tool, into a graphic mapping of deterioration factors noted on the surfaces on the outside of the Tower and on the staircase. The difficulty of this approach lies in the need to interpret and explain complex situations, in which various phenomena come into play – thus making the comprehension of data difficult – or in which similar effects seem to differ visually, especially if they involve different materials. To this must be added the inevitable interpretation of the person filling out the form, who supplies his or her personal evaluation both in reading the signs of decay and in transcribing them graphically. To contain these variables as much as possible, we operated with a stable team of five conservator-restorers specialized in stone conservation. The survey, preceded by a few experimental treatments in 1995-96, took eight months altogether, between May 1998 and August 1999; a total of 910 graphics were produced and subsequently used in transferring the data into the "Akira GIS Server" program.*

*The completion of this reconnaissance had two effects: on the one hand one could conduct scientific studies and analytical campaigns correctly and specifically aimed at understanding the monument's condition and at understanding its deterioration processes; on the other hand it enabled to create a complete tool for geo-referencing the data for quantitative and qualitative visualization of the damage.*



## ne di Alterazione

La natura delle forme di alterazione è stata eseguita in base ad una definizione secondo i criteri del documento "NORMAL 1/88 - Linee guida per la documentazione delle alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico" e adeguata alle caratteristiche dei fenomeni presenti. Per una migliore organizzazione dei temi generali si fornisce l'elenco delle voci di alterazione e delle tipologie di degrado.

**Alterazioni:** sono state raggruppate sotto questa dizione parti di varia natura, costituite da frammenti staccati oppure da materiale in condizioni conservative che tende a sfaldarsi in corrispondenza di strutture, di sollecitazioni meccaniche di vario tipo (come l'abrasione dei conci, o ossidazione di perni metallici) o lungo linee di discontinuità intrinseche del materiale costitutivo (venature, clasti). L'ultimo fenomeno è particolarmente ricorrente sulle decorazioni in scura, marmo di Filettolo o Bardiglio.

**Consumazione:** consumazione dovuta in genere a fenomeni di corrosione. Sono state segnalate quelle zone dove risultava evidente la perdita di coerenza dei cristalli in superficie, e con una leggera pressione della mano si provocava la loro caduta.

**Alterazione differenziale:** sono stati caratterizzati sotto questa voce i blocchi dove maggiormente significativa è la consumazione che causa le venature e i motivi strutturali del materiale.

**Alterazione:** fenomeni di decoesione avanzata, con perdita di coerenza e di materiale, uniti a distacchi superficiali dei cristalli di

**Alterazione:** si segnala laddove vi è un acutizzarsi evidente, soprattutto in profondità, dei fenomeni di cui alla voce precedente e caduta spontanea di materiale.

**Alterazioni:** degradazione che si manifesta con il rigonfiamento e il distacco di strati superficiali paralleli tra loro. Si tratta di un fenomeno ed esteso, che interessa piuttosto indifferentemente diversi materiali, soprattutto sul 1° Ordine;

**Alterazioni e fratture:** sono state segnalate soluzioni di continuità di varie entità legate sia alle condizioni specifiche e strutturali dei blocchi che agli spostamenti e alle sollecitazioni della struttura del monumento. Sono state segnalate anche le linee di rottura delle strutture.

**Alterazione:** si sono riportate, senza ulteriore differenziazione, la natura e la posizione di piante infestanti e muschi.

**Alterazione biologica:** sotto questa dizione è stata registrata la presenza di muschi e/o alghe depositati in uno strato sottile, aderente alle superfici o stratificato nelle discontinuità del materiale; patina calcarea stratificata è presente anche nei depositi calcarei.

**Alterazione nera:** depositi superficiali addensati in strati consistenti e tenaci; sono state fatte, all'interno di tale voce, ulteriori differenziazioni in base a eventuali disparità di spessore.

**Alterazione dendritica:** aggravarsi in spessore e consistenza, con alterazione della morfologia superficiale, dei depositi di cui al punto precedente.

**Alterazioni calcaree:** depositi provocati da scorrimento dell'acqua in superficie o da infiltrazioni dall'interno delle murature, quando i depositi sono ben evidenti e distinguibili.

**Alterazioni:** significative perdite di materia o di parti dovute a sollecitazioni meccaniche, caduta di frammenti, accentuati fenomeni di alterazione o polverizzazione. Sono state segnalate sia le mancanze che quelle già risarcite da stuccature; di quest'ultime, si è indicata l'estensione ipotetica.

**Alterazioni frammentarie:** si è preferito segnalare così le perdite di consistenza e le lacune evidenti delle varie malte di riempimento, i blocchi aperti o le stuccature molto fessurate. Non è stata riportata la differenziazione di materiale delle malte, in quanto al momento

## Forms of Alteration

The mapping of the forms of alteration was conducted on the basis of a legend defined according to the document "NORMAL 1/88 - Macroscopic alterations of stone materials: lexicon," and adapted to the characteristics of the phenomena present. To facilitate understanding of the general themes, we give below a list of the survey headings and the types of deterioration.

**Scaling:** under this heading were grouped parts of various sizes, composed of detached fragments or of material in good condition that tends to flake along structural cracks, mechanical stress of various types (compression of blocks or oxidation of metal pins) or long, intrinsic irregularities in the component materials (veins, clasts). The latter phenomenon occurs quite frequently in the decorations in dark stone, Filettolo or Bardiglio marble.

**Erosion:** wear due generally to physical corrosion. Places were noted where the loss of cohesion of surface crystals was evident and where they would fall at slight pressure from a hand.

**Differential decay:** this heading includes those blocks where the veins and structure of the material stand out due to wear.

**Decay:** advanced phenomena of disaggregation, with loss of the material's consistency, combined with surface detachment of calcite crystals.

**Powdering:** noted where there has been an intensification of decay (as above), especially at depth, and spontaneous loss of material.

**Exfoliation:** deterioration that occurs with the swelling and detachment of parallel surface layers. This is a serious and widespread phenomenon affecting various stone types, especially on Level I.

**Fissures and cracks:** all of these were recorded, regardless of size or length. They could be correlated either to specific and structural conditions of the various blocks or to movement and stress in the monument. Scaling break lines were also noted.

**Higher plants:** the presence and position of weeds and moss were recorded, without further distinction.

**Biological film:** recorded under this heading was the presence of lichens, mosses and/or algae deposited in a thin layer, adhering to the surface or stratified in breaks in the material; stratified biological film is also present in the lime encrustations.

**Black crust:** compact surface deposits in thick, tenacious layers; within this heading, no further distinction was made according to thickness.

**Dendritic crust:** a further intensification - in thickness and consistency - of the heading above, with changes in surface appearance.

**Lime encrustation:** deposits provoked by the flow of water on the surface or by seepage from within the walls, when such deposits are clear and easy to distinguish.

**Losses:** significant loss of material or of parts due to mechanical stress, the fall of fragments, accentuated disaggregation or powdering. Both visible losses and filled losses were recorded; of the latter, obviously, the hypothetical size was indicated.

**Fragmentary fills:** we preferred to record in this manner the loss of consistency and obvious gaps in the various filling mortars, as well as open joints or fills that were cracking. No distinction was made between the types of mortar, as this information was not necessary for planning the conservation treatment.

**Suitable fills:** fills that can be considered properly done, in terms of both material and execution.

**Metal elements:** this heading covers the position and shape of nails, hooks, shims, chains or bars in iron or copper, as well as lead bars or plugs. Differences in material were noted with the chemical symbol of the main element (Fe, Pb, Cu). Also recorded was the space occupied by the measuring equipment currently attached to the surfaces of the Tower. Given the significant presence of fragments of slate, clay or wood

non necessaria ai fini della progettazione degli interventi di restauro. **Stuccature idonee:** sono state segnalate quelle stuccature che possono essere considerate corrette sia come materiale che come criterio di esecuzione.

**Elementi metallici:** sono state riportate la posizione e la forma effettiva di elementi metallici come chiodi, grappe, cunei, catene o barre in ferro o rame, e di allettamenti o barrette in piombo; la differenza tra i materiali è stata segnalata con la sigla chimica dell'elemento principale (Fe, Pb, Cu). È stato riportato anche l'ingombro delle strumentazioni di controllo attualmente fissate alle superfici della Torre. Data la presenza significativa di frammenti di lavagna, o ardesia, e di legno usati come riempimento o come adeguamento di posizione dei vari elementi architettonici, si sono mappati anche questi, segnalando per esteso il materiale.

Alcune forme di alterazione non sono state registrate, in quanto non necessarie all'obiettivo proposto, come ad esempio l'alveolizzazione o il "pitting", fenomeni che non comportano alcuna necessità operativa particolare o specifica nell'intervento di restauro. Un altro evento che non è stato mappato in particolare è il deposito superficiale di polveri debolmente coerenti o di guano; si presuppone infatti che in caso di restauro tutta la superficie debba essere sottoposta a spolveratura e/o ad un leggero lavaggio iniziale, operazione in genere sufficiente a risolvere il problema.

Per quanto riguarda le volte dei loggiati, rivestiti di intonaci di diversa composizione riferibili ad epoche diverse, si è valutato che gli unici dati significativi potessero essere: le fessure; gli sbiancamenti legati all'affioramento in superficie di sali portati da acque di infiltrazione; gli elementi metallici. Sono state anche segnalate le mancanze provocate, probabilmente, dalla rimozione di vecchi strumenti di misurazione, applicati in genere alla sommità di alcune delle volte.

Le diverse forme di disgregazione del materiale lapideo, (Grafico A) considerate nel loro insieme, si ritrovano sul 25% della superficie totale esterna (calcolata in 5.660 mq).<sup>1</sup> Il settore maggiormente colpito è il lato Sud; una situazione solo leggermente migliore si ha a Nord e a Ovest, mentre più contenuta è la presenza di queste alterazioni nel settore Est (Tabella I). Va sottolineato che la distribuzione dei danni è fortemente influenzata, e non solo in questo caso, dalle sostituzioni avvenute in epoche diverse e dai diversi materiali utilizzati. Le parti architettoniche dove si concentrano in genere i fenomeni di disgregazione profonda sono i paramenti e i sistemi arco-mensola-capitello dei loggiati, mentre l'erosione di superfici estese è prerogativa degli Ordini superiori, dal 6° all'8°. Le cause di tali alterazioni vanno ricercate in processi di differente natura. Il problema delle "piogge acide" contribuisce sicuramente alla corrosione delle superfici, ma le alterazioni più incisive e importanti sono provocate dalle variazioni giornaliere e stagionali di temperatura - fenomeno cosiddetto del "marmo cotto" - e dalla ricristallizzazione di sali solubili, con conseguente formazione di efflorescenze superficiali, nella maggior parte costituite da cloruro di sodio. Quest'ultimo processo è da correlare all'azione degli aerosol marini,

used as fills or to adjust the position of various architectural elements these were also mapped, with the type of material written in full.

In terms of the objective set, it was not considered necessary to record some alteration forms, such as alveolization or pitting - phenomena that do not call for any particular attention during the conservation treatment. Another feature that was not mapped was surface deposition of light dust or guano. Indeed, one presumes that the entire surface will be dusted or lightly washed prior to treatment, and this should suffice to resolve the problem.

As for the vaults in the galleries, which have been covered with different plasters in different eras, the only data considered of significance were cracks; whitening due to surface salts carried by water seepage; metal elements. Also recorded were losses, probably caused by the removal of old measuring instruments, which were usually attached to the top of some of the vaults.

The various forms of stone deterioration, (Map A) considered as a whole, are found on 25% of the total external surface (calculated as 5,660 m<sup>2</sup>).<sup>1</sup> The sector most affected is the South side; North and West are only slightly better, whereas the East side has the fewest instances (Table I). It should be stressed that the distribution of damage is strongly influenced - and not only in this case - by the replacements that occurred in different eras and by the different types of materials used. The architectural parts that generally have suffered the greatest decay are the walls and the arch-beam-capital systems in the galleries, whereas extended surface erosion is the prerogative of the higher Levels, from the 6th to the 8th. The causes of such alteration should be sought in processes of different kinds. The problem of "acid rain" certainly contributes to the corrosion of the surfaces, but the most important alterations are caused by daily and seasonal fluctuations of temperature (the so-called "baked" marble phenomenon) and by the crystallization of soluble salts, with the resulting formation of surface efflorescence, most of which is sodium chloride. The latter process should be correlated to the action of marine aerosols, transported by the winds that blow prevalently from the South.



asportati dai venti che soffiano in prevalenza da Sud. La distribuzione delle scagliature si concentra nei settori Nord e Sud con una maggiorazione del 5% sul totale dei levamenti; con un forte contributo, quindi, delle llecitazioni causate dalla pendenza. Le croste nere e dendritiche ricoprono circa 930 metri quadrati, pari al 16,4% della superficie esterna (Tabella I); la maggior parte dei depositi si riscontra nelle zone rotette del settore Sud e degli Ordini inferiori, con un andamento legato parte alla pendenza e parte alla caratteristica struttura architettonica. (Schema 1) A questi depositi vanno aggiunte le incrostazioni calcaree provocate dalle colature di acqua piovana e da infiltrazioni migranti dall'interno delle murature. Ne sono state rilevate sull'1,5% della superficie esterna e la percentuale è destinata a salire per l'interno della scala; in questa fase di ricognizione generale, propedeutica all'intervento di restauro, la stima è sicuramente infetta, data la difficoltà di interpretare, con un semplice valutazione visiva e spesso da una certa distanza, l'entità, la stratificazione e le caratteristiche degli strati sovrapposti.

*The distribution of scaling is concentrated in the North and South sectors, with an increase of 5% over the total surveyed; thus there is a strong contribution from the stress caused by the leaning of the Tower. Black and dendritic crusts cover about 930 square meters, equal to 16.4% of the external surface; (Table II) the greater part of the deposits is found in the protected areas of the South sector and the lower Levels, with a development linked partly to the leaning and part to the characteristic architectural structure (Schema 1). Added to these deposits are the lime encrustations caused by the flow of rainwater and by seepage migrating from inside the walls. These were recorded on 1.5% of the external surface and the percentage is bound to rise for the inside of the staircase. In this general reconnaissance phase prior to conservation treatment, the estimate is certainly low, given the difficulty of interpreting – with only visual inspection and often from a certain distance – the extent, the stratification and the characteristics of the superimposed layers. Another phenomenon linked to the presence and movement of water in various forms is the growth of weeds and biological film. The survey of the*

Altro fenomeno legato alla presenza e agli andamenti dell'acqua nelle sue diverse forme è la crescita di vegetazione infestante e di patina biologica. Il rilevamento della presenza di vegetazione superiore, di muschi e di licheni ha dimostrato come queste forme di vita si concentrino soprattutto alla base del tamburo nei loggiati, tra mensole e capitelli, alle basi delle colonne, nelle zone aggettanti sull'esterno dei piani di calpestio e sui cornicioni marcapiano, sfruttando soprattutto le malte delle stuccature, gli interstizi dei giunti tra i blocchi o le fessure. I settori più colpiti dall'attacco biologico sono il Nord e, anche se in misura quasi dimezzata, l'Est; ad Ovest i casi segnalati sono sporadici, fino a scomparire quasi del tutto lungo il fronte a Sud. La stessa verifica rispetto all'altezza ha evidenziato come non vi siano sostanziali differenze tra i diversi Ordini, tranne che sull'8°, dove il dato sia numerico che di superficie interessata raddoppia.

*presence of higher plants, mosses and lichens has shown how these life forms are concentrated especially at the base of the drum, in the galleries, between beams and capitals, at the base of columns, the outer parts of the walkways and on the cornices, often exploiting the mortars in the fills, the interstices of the joints between blocks and the cracks. The sectors most affected by biological attack are the North and East (which is a half that of North); only sporadic cases are noted on West, and these almost completely disappear along the South face. On looking at the same situation in terms of height, it was found that there are no substantial differences between the Levels, except for Level 8, where the data double, whether in numbers or by surface affected. The study of biodeterioration with field samples and laboratory analyses has, moreover, shown the presence of numerous types of fungi and bacteria which, in contrast to the higher species, nest mainly in the carbon depo*

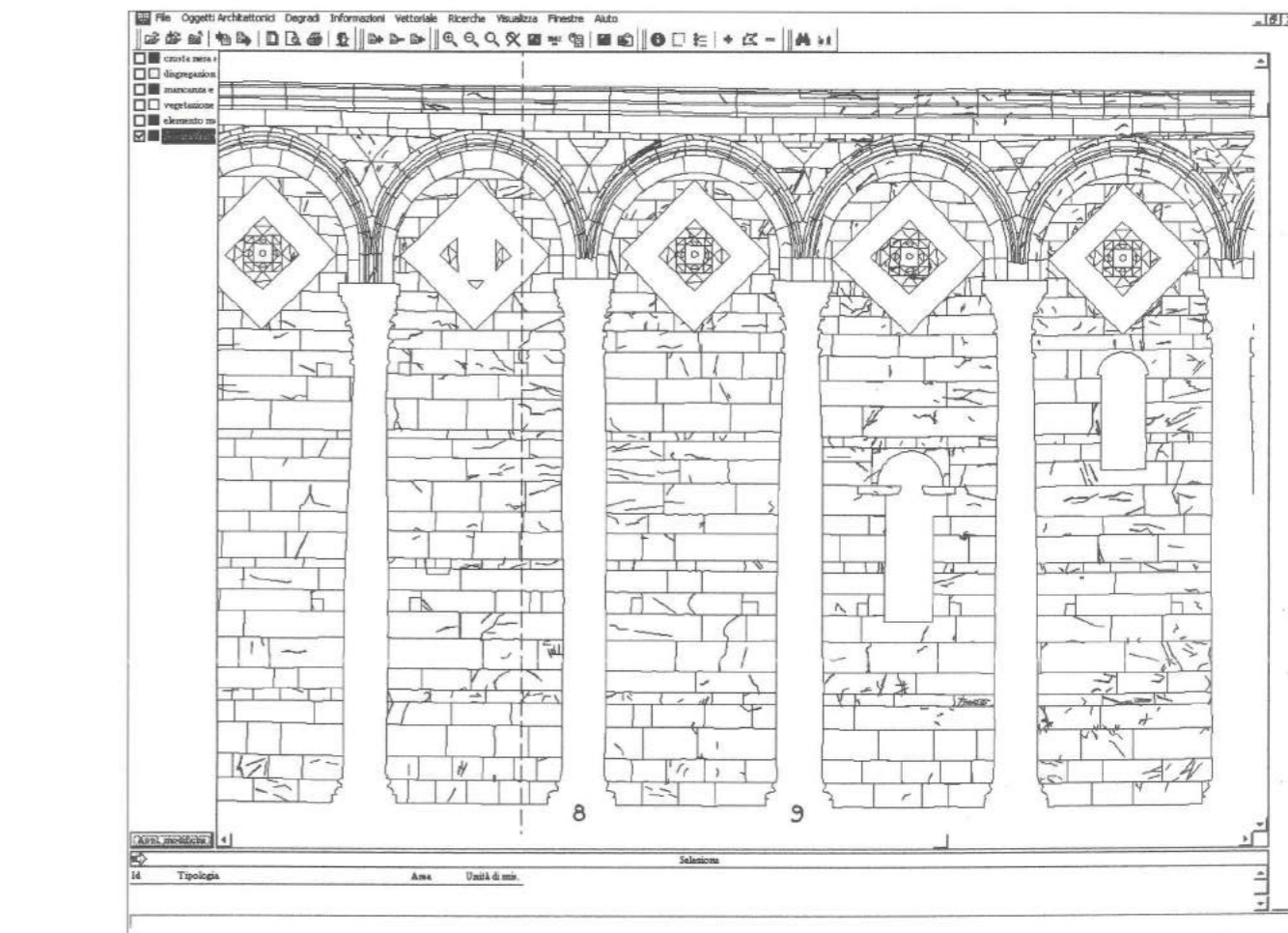


Grafico B - 1° Ordine, lato Est, mappatura delle fessure e delle fratture  
Map B - Level 1, East side, mapping of cracks and breaks.

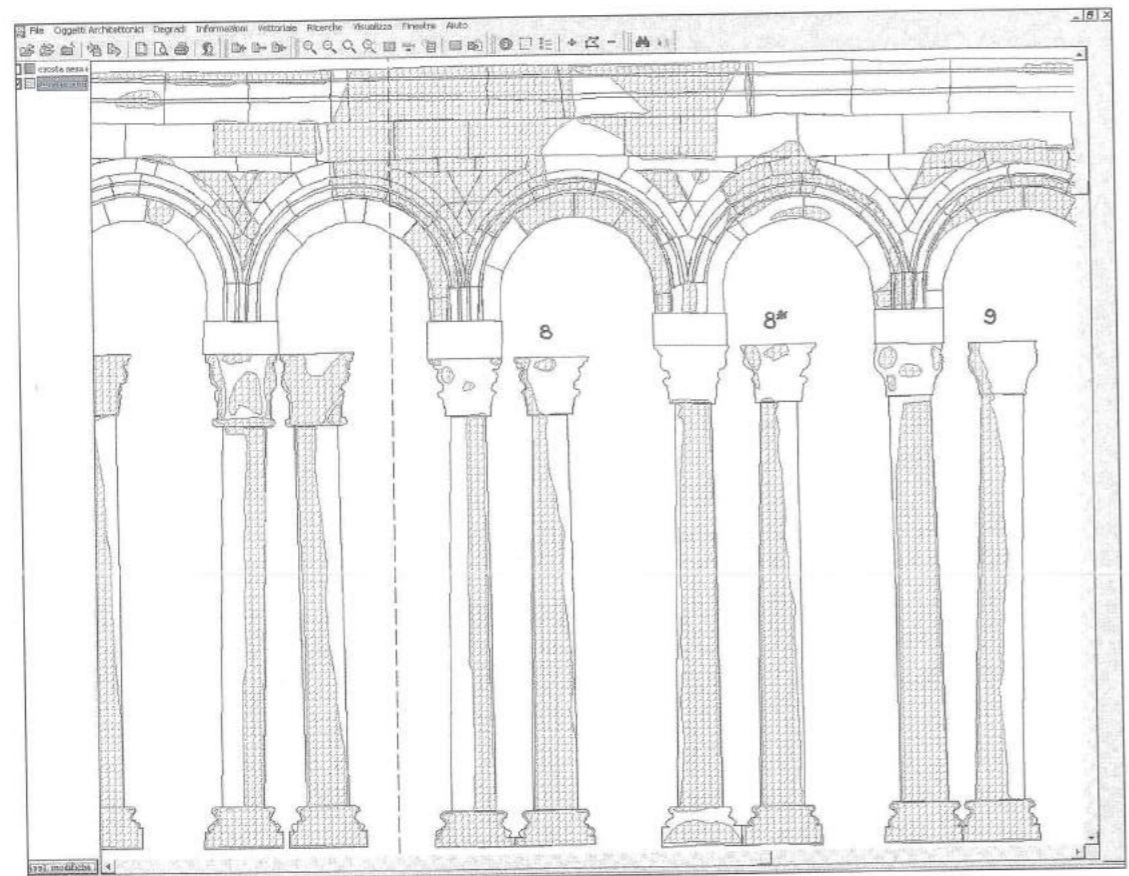


Grafico A - 2° Ordine, lato Est, mappatura delle zone disagiate  
Map A - Level 2, East side, mapping of deteriorated areas.



isi di laboratorio ha evidenziato inoltre la presenza  
 umerose tipologie di funghi e batteri che, al  
 rario delle specie superiori, si annidano  
 ipalmente nei depositi carboniosi e ne seguono  
 di la distribuzione, maggiore sui lati Sud e Sud-Est.  
 quadro fessurativo è complesso e naturalmente andrà  
 ofondito qualitativamente, confrontando in maniera  
 gente i dati ricavati dallo studio della struttura  
 tettonica e dei suoi dissesti con le condizioni  
 nseche dei materiali (Grafico B). Il rilevamento  
 llare ha portato ad identificare 18.750 linee di  
 ura, con uno sviluppo di oltre 4.000 metri lineari.  
 Ordine riporta il maggior numero di episodi, ma in  
 re si tratta di fratture di modeste dimensioni  
 ocate da cicli di gelo e disgelo o da scagliature di  
 ole dimensioni, mentre il 3° Ordine rivela fessure più  
 onde e di lungo cammino, tipiche di dissesti  
 tturali. In ordine di importanza segue il 7° Ordine,  
 e entrambe le forme sono presenti in modo  
 ificativo. Gli elementi architettonici più colpiti sono,  
 rdine di gravità, i paramenti lisci dei tamburi e dei  
 ci tra gli archi dei loggiati, i fusti delle colonne, le  
 isole e, infine, i cornicioni tra i diversi Ordini.  
 la comprensione della dinamica di tutti questi  
 omeni è importante considerare le condizioni in cui il  
 umento vive, quello che succede intorno alla  
 ttura, e relazionarlo alla forma architettonica e alla  
 malia della sua inclinazione.

studio dell'acqua nelle diverse manifestazioni  
 eorologiche e nell'impatto sulle superfici della Torre  
 individuato le principali direzioni di provenienza  
 e idrometeorologiche e le zone di maggiore bagnabilità,  
 portando i dati relativi al deposito delle particelle  
 uinanti. Pioggia, pioviggine, nebbia e neve  
 isticamente provengono in prevalenza da Est; con  
 viggine e nebbia si bagnano di più i settori Nord e  
 l, con pioggia e neve la superficie della Torre  
 ggiamente colpita è il lato ad Est. (Schema 2)  
 dinamica dei fenomeni è ulteriormente variata  
 l'incidenza dei venti, che interferisce vistosamente  
 l'inclinazione e nella modalità di penetrazione delle  
 gge, nei tempi dell'evaporazione rispetto all'altezza e  
 cicli di solubilizzazione e ricristallizzazione dei sali.  
 hema 3)

ro elemento importante, attentamente controllato, è la  
 antità della radiazione solare diretta: i dati di  
 peratura e il monitoraggio del tempo giornaliero di  
 osizione hanno permesso di valutare soprattutto i  
 dienti di dilatazione termica dei diversi materiali  
 le diverse parti architettoniche. Da quanto appurato si

and thus follow the greater distribution of same on the  
 South and Southeast sides.

The picture of the cracks and fissures is complex, and  
 naturally will be pursued qualitatively by closely  
 comparing the data derived from study of the  
 architectural structure and its failures with the intrinsic  
 conditions of the materials (Map B). The detailed survey  
 revealed 18,750 break lines, amounting to more than  
 4,000 linear meters. Level 8 has the highest number of  
 episodes, but they are relatively modest in size, caused by  
 freeze-thaw cycles or small-scale scaling. Level 3 shows  
 deeper and longer fissures, typical of structural failure.  
 Next in order of importance comes Level 7, where both  
 forms are present in a significant way. The architectural  
 elements most affected are, in order of seriousness, the  
 smooth walls of the drums and the blocks between the  
 arches of the galleries, column shafts, beams and, finally  
 the cornices between the various Levels.

To understand the dynamics of these phenomena, it is  
 important to consider the conditions in which the  
 monument lives, what happens around the structure, and

Settore	Numero	Area	% su 5.660 mq.	% su 1.402,9 mq.
Tutti	6.067	1.402,9 mq.	24,8	
Sud	1.687	418,1 mq.	7,5	29,8
Nord	1.629	349,6 mq.	6,1	24,7
Ovest	1.342	342,1 mq.	6	24,4
Est	1.409	293,1 mq.	5,2	20,9

Ordine	Numero	Area	% su 5.660 mq.	% su 1.402,9 mq.
Tutti	6.067	1.402,9 mq.	24,8	
6° Ordine	635	226,4 mq.	4,1	16,1
5° Ordine	752	213,1 mq.	3,8	15,2
4° Ordine	805	193,4 mq.	3,4	13,8
1° Ordine	805	186,4 mq.	3,3	13,3
7° Ordine	839	171,4 mq.	3	12,2
2° Ordine	698	153,2 mq.	2,7	10,9
3° Ordine	878	143,6 mq.	2,5	10,2
8° Ordine	655	115,4 mq.	2	8,2

Tipologia	Numero	Area	% su 5.660 mq.	% su 1.402,9 mq.
Tutti	6.067	1.402,9 mq.	24,8	
Paramenti	2.424	678,9 mq.	12,4	16,1
Fusto	840	314 mq.	5,6	15,2
Mensola	561	81,3 mq.	1,5	13,8
Capitello	1.308	75,4 mq.	1,3	13,3
Modanatura	489	59,6 mq.	1	12,2
Cornicione	316	54,8 mq.	0,9	10,9
Base	901	52 mq.	0,9	10,2
Arco	576	46,4 mq.	0,8	8,2
Geometria	122	21,9 mq.	0,4	1,6
Gradino	111	18,1 mq.	0,3	1,3
Peduccio	23	0,4 mq.		

Tabella I: distribuzione delle forme di disgregazione rispetto ai settori, agli Ordini e alle diverse tipologie architettoniche, indipendentemente dal litotipo.

Table I: distribution of decay forms with respect to sectors, Levels and different architectural features, regardless of the type of stone.

Settore	Numero	Area	% su 5.660 mq.	% su 929,5 mq.
Tutti	4.309	929,5 mq.	16,4	
Sud	1.112	310,9 mq.	5,5	33,4
Est	1.030	238,3 mq.	4,2	25,6
Nord	1.215	200,4 mq.	3,5	21,5
Ovest	952	179,9 mq.	3,2	19,5

Ordine	Numero	Area	% su 5.660 mq.	% su 929,5 mq.
Tutti	4.309	929,5 mq.	16,4	
2° Ordine	506	194,2 mq.	3,4	20,9
3° Ordine	578	171,1 mq.	3	18,4
4° Ordine	543	151,5 mq.	2,7	16,3
1° Ordine	454	129,7 mq.	2,3	13,9
5° Ordine	436	104,9 mq.	1,9	11,3
6° Ordine	545	103,5 mq.	1,8	11,2
7° Ordine	764	61,9 mq.	1,1	6,6
8° Ordine	483	12,7 mq.	0,2	1,4

Tipologia	Numero	Area	% su 5.660 mq.	% su 929,5 mq.
Tutti	4.309	929,5 mq.	16,4	
Paramenti	1.142	449,7 mq.	7,9	48,4
Mensola	469	144,7 mq.	2,6	15,6
Arco	432	96,5 mq.	1,7	10,4
Capitello	1.385	88,7 mq.	1,6	9,5
Fusto	467	46,5 mq.	0,8	5
Modanatura	326	39 mq.	0,7	4,2
Cornicione	754	34,9 mq.	0,6	3,8
Geometria	76	27,4 mq.	0,5	2,9
Base	106	1 mq.		
Gradino	23	0,8 mq.		
Peduccio	28	0,4 mq.		

Tabella II: distribuzione delle croste nere rispetto ai settori, agli Ordini e alle diverse tipologie architettoniche, indipendentemente dal litotipo.

Table II: distribution of black crusts according to sector, level and various architectural elements, independent of the type of stone.

suppone che siano le colonne e i capitelli le strutture più deboli: sono elementi esili -quindi facilmente riscaldabili- e sono esposti a irraggiamento diretto per un tempo molto lungo. Tendono quindi a dilatarsi molto più che la struttura muraria del corpo della Torre e degli anelli marcapiano, maggiormente inerti perché più spessi e ombreggiati dall'aggetto dei loggiati. Sulle colonne, il continuo ripetersi di cicli di dilatazione della pietra e di compressione provocata dalla costrizione dei piani dei loggiati porta facilmente a situazioni di collasso fisico e

connect that to the architectural form and to the anomaly of its leaning.

The study of water in its various meteorological manifestations and its impact on the surfaces of the Torre has revealed the principal directions of provenance of the wet weather and the areas most greatly affected, supporting the data on deposits of polluting particles. Statistically, rain, drizzle, fog and snow come prevailing from the East; drizzles and fog primarily wet the North and South sectors, whereas with rain and snow the

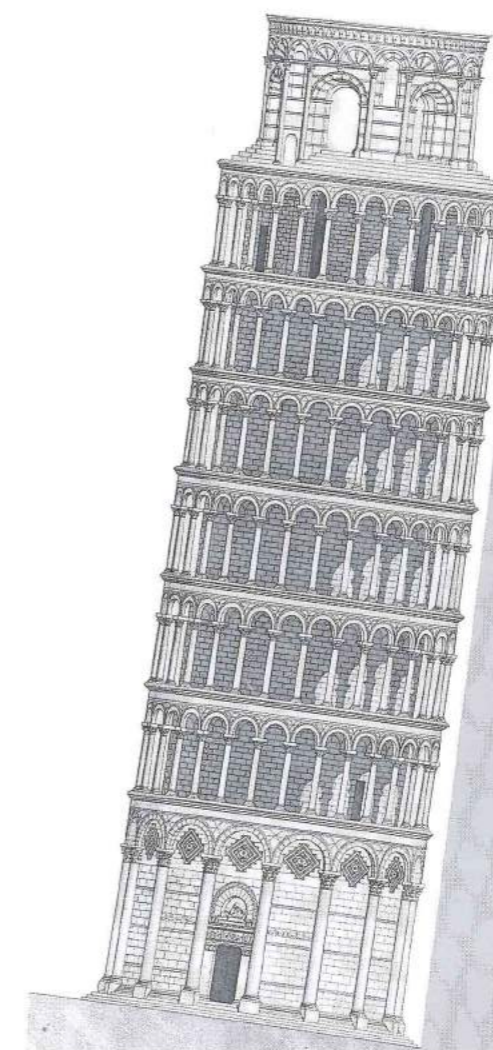


ad un acuirsi dei fenomeni di degrado. Rispetto ai settori di esposizione, il lato sottoposto a maggiore radiazione solare diretta è certamente il Sud, dove si registrano le temperature più alte e la massima quantità di ore di esposizione in tutte le stagioni, tranne l'estate; in questa stagione i gradienti maggiori si spostano nei settori Est ed Ovest.

*surface most affected is the East side (Diagram 2). The dynamic of the phenomena is further complicated by the direction of the wind, which noticeably affects the slant and penetration of the rain, evaporation times in relation to height, and cycles of salt dissolution and crystallization (Diagram 3). Another important element, carefully studied, is the amount of direct solar radiation. Temperature readings and monitoring of the daily exposure time enabled us to evaluate especially the gradients of thermal expansion of the various materials in the various architectural parts. From what has been ascertained, it would appear that the columns and capitals are the weakest structures: they are thin elements – thus easily heated – and are exposed to direct radiation for a very long time. They thus tend to expand much more than the wall structure of the body of the Tower and of the circular walkways, which are more inert because they are thicker and shaded by the galleries. On the columns, the repeated cycles of expansion of the stone and its compression in the storeys of the galleries easily lead to situations of physical collapse and aggravation of decay. With regard to sectors of exposure, the side subjected to the greatest direct solar radiation is certainly the South, where one registers the highest temperatures and the longest hours of exposure in every season except summer; in this season the greatest gradients move to the East and West sectors.*

1 Al momento della stesura di questo libro rimangono ancora da ultimare i controlli statistici e riassuntivi dei dati delle pareti interne della scala; pertanto la sintesi operata in queste pagine si riferisce principalmente alle superfici architettoniche esterne.

*1 As this book was being drafted, there remained some things to be finalized, notably the statistics and summaries of the data of the inner walls of the staircase. Therefore, the summary provided in these pages refers principally to the external architectural surfaces.*



Zona protetta dalle precipitazioni  
l'effetto di autoschermo della Torre

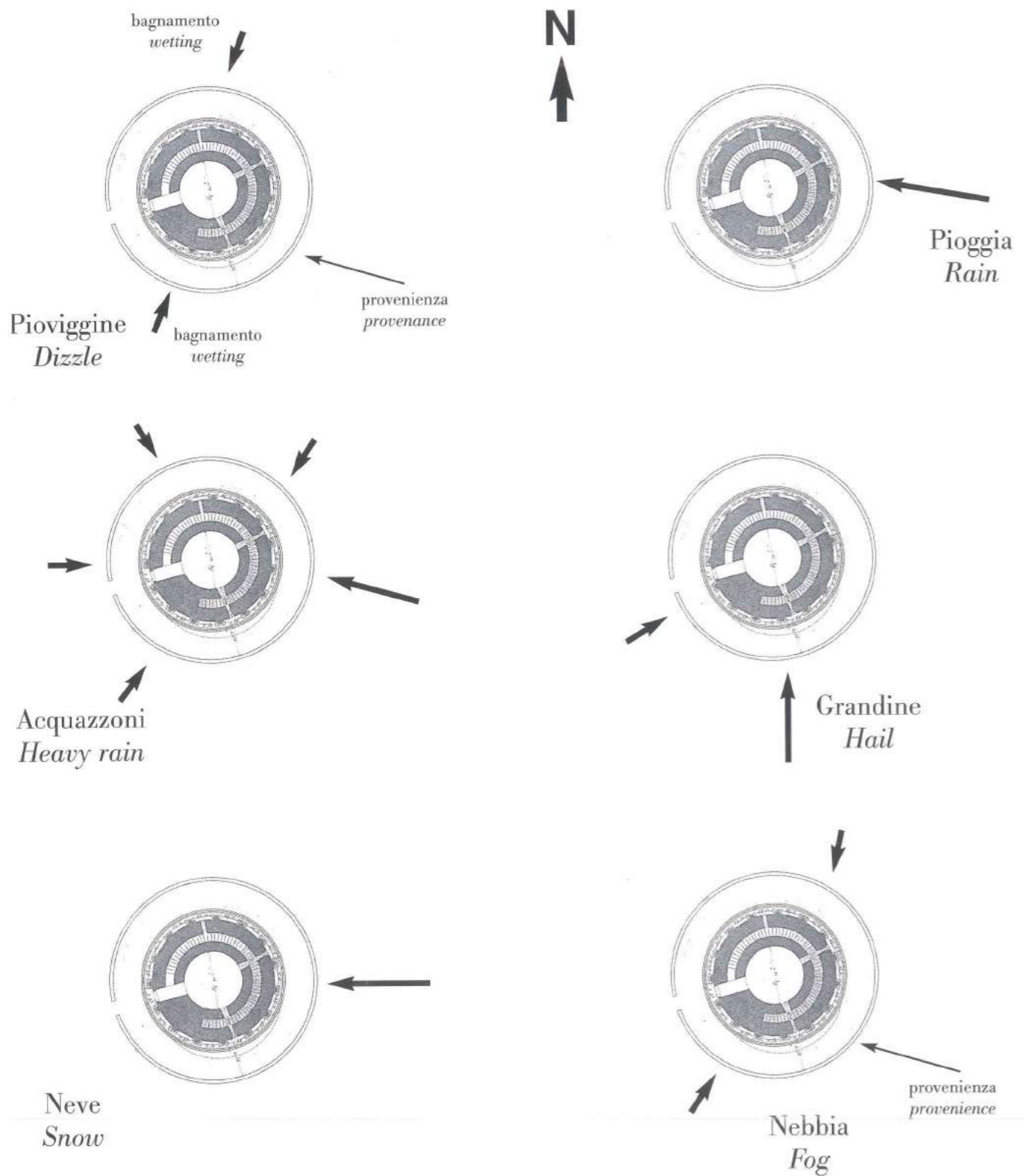
**1. Schema riassuntivo per il maggior deposito di particelle esistente nella parte in basso, all'esposizione sud della Torre**

La pendenza della Torre è rivolta verso sud e raggiunge circa il 10% dell'altezza. Il corpo della Torre fa ombra, o meglio ombrello, alla parte sud, impedendo che le precipitazioni raggiungano la superficie, specie ai livelli più bassi dove l'effetto schermo si fa più importante. Questo spiega la patina di sporco nella parte più bassa della Torre, all'esposizione Sud, mentre nelle parti più elevate, e soprattutto all'esposizione Nord, il dilavamento diviene più probabile e più efficace per l'inclinazione esistente.

**1. Diagram summarizing the heavier deposition of particulate in the lower part of the South exposure of the Tower.**

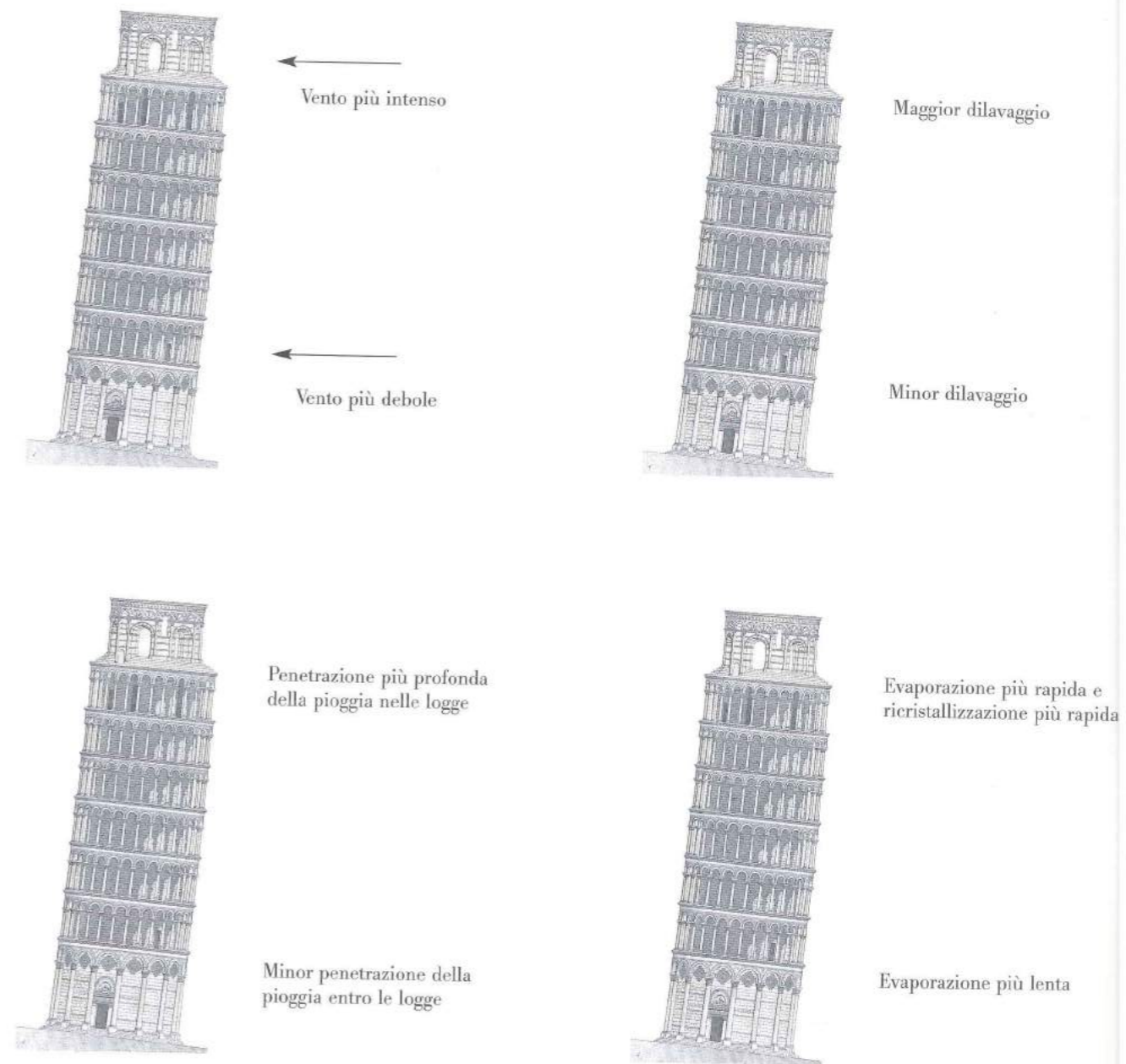
*The Tower leans to the south with the lean reaching about 10% of the height. The body of the Tower creates shade, or better, an umbrella effect on the South side, impeding rainwater from reaching the surface, especially at the lower levels where the shield effect is greater. This explains the heavy deposition of dirt in the lowest part of the Tower, to the South, whereas the higher parts, especially on the Northern exposure, are more likely to be washed given the existing tilt.*





Schema riassuntivo dell'impatto delle idrometeorie sulla Torre di Pisa. Freccia sottile indica la direzione di provenienza dell'idrometeorica, la freccia grossa la parte della Torre che viene maggiormente bagnata; in assenza di freccia sottile, la freccia grossa indica che direzione di provenienza ed esposizione di bagnamento coincidono.

Diagram summarizing the impact of wet weather on the Tower of Pisa. Thin arrow shows the direction from which the weather arrives, the large arrow the part of the Tower that is most heavily wetted; if there is no thin arrow, the large one indicates that both the provenance and exposure to wetting coincide.



3 Schema riassuntivo dell'impatto delle idrometeorie sulla Torre di Pisa. La maggior ventilazione nella parte più elevata porta a maggior dilavaggio, a penetrazione più profonda delle piogge entro i loggiati, a un'evaporazione più veloce con più rapida ricristallizzazione del carbonato di calcio andato in soluzione.

3 Diagram summarizing the impact of wet weather on the Tower of Pisa. The greater ventilation of the higher parts leads to heavier wetting, deeper penetration of rain in the galleries and faster evaporation with more rapid crystallization of dissolved calcium carbonate.



**IL CANTIERE: SAGGI OPERATIVI PER IL PROGETTO\***

Sabina Vedovello

Per la definizione dei metodi e delle tecnologie operative è stato organizzato un cantiere su un'area campione, che ha visti impegnati dieci restauratori tra luglio e dicembre del 2000.

Per rispondere alle necessarie caratteristiche di rappresentatività sono state selezionate sei zone in diverse parti della Torre:

- un tassello di mq.6,1 nella sala a piano terra, sulla parete del tamburo interno a sinistra della finestra rivolta verso Est (**tassello A**);
- una fascia che include parete-soffitto-parete-gradini nel vano scale, tra i gradini 24 e 26 della prima rampa, con una superficie di sviluppo di mq.10,13 (**tassello B**);
- una zona di mq.2,1 sulla parete sinistra del vano scale, tra il 4° e il 5° Ordine all'altezza dei gradini 14 e 17 (**tassello C**);
- due zone sulla parete sinistra del vano scale tra il 5° e il 6° Ordine, con una superficie di sviluppo complessiva di mq.1,24, tra i gradini 25 e 27 l'una e al gradino 31 l'altra (**tassello D-E**);
- la parete interna della cella campanaria, all'8° Ordine, tra le colonne 3 e 4, per un totale di mq. 8,98 di superficie (**tassello F**);

**THE WORKSITE: OPERATIONAL PROJECT TRIALS**

*A worksite was organized on a sample area of the Tower, in order to define methods and operative technologies. Ten conservator-restorers were engaged in this work between July and December 2000.*

*To provide appropriate representation, six test areas were chosen in different part of the Tower:*

- *a section of 6.1 m<sup>2</sup> in the room on the ground floor, on the inner drum wall to the left of the window facing east (sector A);*
- *a strip that includes wall-ceiling-wall-stairs in the staircase, between stairs 24 and 26 of the first flight, with a surface area of 10.13 m<sup>2</sup> (sector B);*
- *an area of 2.1 m<sup>2</sup> on the left wall of the staircase, between Level 4 and Level 5, at the height of stairs 14 and 17 (sector C);*
- *two areas on the left wall of the staircase between Level 5 and Level 6, with a total area of 1.24 m<sup>2</sup>, one between stairs 25 and 27, the other at stair 31 (sectors D-E);*
- *the internal wall of the bell chamber, at Level 8, between columns 3 and 4, total surface area 8.98 m<sup>2</sup> (sector F);*
- *a section including columns 8 and 9 of Levels 1 and 2, including - apart from the external front - the zone*

\* In occasione della pubblicazione di questo testo vorrei ringraziare le persone che più da vicino hanno seguito e partecipato alle vicende professionali ed umane di questo lungo lavoro: Veniero Lugli, capo delle maestranze, Luca Donati e, con un grazie particolare, Anton Sutter, Massimiliano Bellomini e Stefano Lupo dell'Opera della Primaziale; Decimo Marchi e il personale della Ditta Grandi di Pisa; Francesca Gebri, Ilaria Mancini, Stefano Franconi, Daniele Minozzo, Andrea Firpo, Vincenzo Tirozzi con tutto lo staff del CPTP e, naturalmente, l'Ing. Paolo Heininger. Un grazie particolare al Prof. D'Elia, che ha sempre creduto nella nostra professionalità e ci ha sostenuto nell'impresa, e alla Dott. Mignosi Tantillo per la stima e l'amichevole affetto; infine al Prof. Giorgio Torraca per il sostegno sapiente nell'approccio scientifico ai complessi problemi della Torre. Al di là delle persone della C.B.C. che di fatto hanno condotto l'intervento, e in particolare Doretta Mazzeschi che dal 1994 ha vissuto con me ogni avvenimento e responsabilità, vorrei ricordare il contributo di organizzazione, pazienza e partecipazione di tutti gli altri componenti del gruppo: Giovanna Martellotti, Cinzia Silvestri, Carla Bertorello, M.Grazia Chilosì, Rosanna Coppola, Lucia Tito, Sibylle Nerger, Assja Landau, Veronique Albaret, Matilde Migliorini, Paola Mancini, Angela Amendola, Elena Mercanti, Laura Vagaggini e Roberta Balducci. E infine un grazie particolare a Cisella Capponi: una straordinaria compagna di avventure e punto di riferimento insostituibile, ben oltre il ruolo istituzionale.

\* On the occasion of the publication of this volume, I would like to thank those who have most closely followed and participated in the professional and personal events involved in this long effort: Veniero Lugli, Foreman, Luca Donati and, with a particular thanks, Anton Sutter, Massimiliano Bellomini and Stefano Lupo of the Opera della Primaziale; Decimo Marchi and the personnel of the Grandi Company of Pisa; Francesca Gebri, Ilaria Mancini, Stefano Franconi, Daniele Minozzo, Andrea Firpo, Vincenzo Tirozzi with all the staff of the CPTP and, naturally, Ing. Paolo Heininger. Particular thanks go to Prof. D'Elia, who has always believed in our professionalism and has sustained us during the work, and to Dr Mignosi Tantillo for her solidarity and friendship; finally to Prof. Giorgio Torraca for his wise support in the scientific approach to the complex problems of the Tower. Apart from the C.B.C. members who actually carried out the work, especially Doretta Mazzeschi who since 1994 has shared every event and responsibility, I would like to note the contribution in organization, patience and participation of all the other members of the group: Giovanna Martellotti, Cinzia Silvestri, Carla Bertorello, M.Grazia Chilosì, Rosanna Coppola, Lucia Tito, Sibylle Nerger, Assja Landau, Veronique Albaret, Matilde Migliorini, Paola Mancini, Angela Amendola, Elena Mercanti, Laura Vagaggini and Roberta Balducci. Finally, special thanks to Cisella Capponi: an extraordinary companion in adventure and an irreplaceable reference point, well beyond her institutional role.

- un settore che comprende le colonne 8 e 9 del 1° e del 2° Ordine, considerando oltre al fronte esterno la zona corrispondente del piano di calpestio, del tamburo, della finestra e delle volte intonacate del loggiato. La superficie sviluppata, calcolata con il programma di gestione dei dati grafici, è pari a mq.103 (**tassello G**).

**Metodo di Lavoro**

Al di là degli aspetti peculiari delle singole zone prescelte, il lavoro è stato condotto seguendo un medesimo procedimento e, soprattutto, un sistema univoco di registrazione dei dati. Ogni intervento è stato preceduto da test di prova, eseguiti con prodotti diversi e/o con diverse modalità di applicazione. Ogni prova è stata registrata per i dati caratteristici, localizzata su base grafica e documentata fotograficamente quando necessario.

*corresponding to the walkway, the drum, the window and the plastered vaults of the gallery. The total surface area, calculated by the graphic data program, is equal to 103 m<sup>2</sup> (sector G).*

**Work Method**

*Beyond the particular features of the individual test zones chosen, the work was carried out following a standard procedure and especially with a single system for data recording. Every intervention was preceded by testing, performed with different products and/or different application methods. For each test, characteristic data were noted, and it was located on the base map and photographed where necessary.*

RIMOZIONE DEGLI STRATI SOVRAMMESSI	
Saggio/i n°:	_____
Operazione di:	_____
Localizzazione:	_____
Misura della zona trattata:	_____
Data di esecuzione:	_____
Documentazione fotografica di progetto n°:	_____
Documentazione grafica di progetto n°:	_____
Riferimento schede diagnostica n°:	_____
Tipologia del materiale da rimuovere:	_____
Morfologia e aspetto	_____
Estensione	_____
Metodologia di intervento:	_____
Fase di intervento:	
Preliminare a:	_____ Fase finale _____
Successiva a:	_____ Fase unica _____
Operazioni preliminari di protezione	si no
Dati ambientali	
Temperatura _____	Umidità _____
Condizioni generali	_____
Operatore:	
Restauratore:	_____
Assistente restauratore:	_____
Operaio:	_____

Tabella 1: scheda di registrazione riassuntiva per prove di pulitura.

Table 1: summary recording form for cleaning tests.



Chimica e chimico-fisica (soluzioni attive, tensioattivi, solventi)			
Prova N°			
Dimensione prova			
Ispessente			
Composizione/ concentrazione liquido			
Preparazione superficie			
Interposizione strato filtrante			
Spessore impacco			
Tempo impacco			
Tempo verifica			
N° applicazione			
Metodo di rimozione			
Risultato			
Note*			

NOTE: copertura/sigillatura impacco, intervallo minimo fra applicazioni, estrazione residui/conducibilità dell'estratto

Tabella 2: scheda di lavoro per la trascrizione rapida dei dati durante le prove di pulitura.

Table 2: working form for rapid recording of data during cleaning trials.

#### Registrazione delle Prove di Lavoro

Per la registrazione dei dati di ogni test preliminare, dalla prassi di conduzione agli esiti finali, sono state messe a punto delle schede mutate dai modelli in corso di sperimentazione per i Capitolati Speciali di Appalto per i Beni Culturali. Partendo dai modelli definiti per il restauro e la manutenzione dei dipinti murali, sono state create schede specifiche per le seguenti fasi di lavoro:

1. operazioni ausiliarie o preliminari;
2. trattamento biocida;
3. rimozione di strati sovrammessi, con suddivisioni interne per pulitura chimica e chimico-fisica, biochimica, chimico-fisica, fisica e meccanica;
4. preconsolidamento e consolidamento;

#### Test Recording

To record the data of every preliminary test, from the procedure to final results, forms were adapted from the models being developed for the Specifications for Cultural Heritage Contracts. Starting from the models defined for conservation and maintenance of wall paintings, specific forms were created for the following phases of the work:

1. preliminary or auxiliary operations;
2. biocide treatments;
3. removal of overlying layers, with internal subdivisions for different types of cleaning: chemical and chemico-physical, biochemical, chemico-physical, physical and mechanical;
4. preconsolidation and consolidation;
5. readhesion of flakes or detached fragments;

Chimica e chimico-fisica (soluzioni attive, tensioattivi, solventi)	Saggio/i
Modalità di esecuzione: _____	
(impacco, lavaggio, tampone, ecc.)	
- Fase solida, ispessente _____	
- Componente liquida, componenti e concentrazioni: _____	
Modalità di applicazione: _____	
preparazione della superficie: _____	
(bagnatura, spolveratura, ecc.)	
interposizione di strati filtranti: _____	
(veline, garze)	
spessore dell'impacco (mm): _____	
copertura dell'impacco con: _____	
sigillatura dell'impacco con: _____	
- Numero di applicazioni: _____	
- Tempi di applicazione: _____	
- Tempi di verifica ogni: _____	
- Intervallo minimo tra le applicazioni: _____	
- Metodo di rimozione: _____	
- Estrazione di eventuali residui con acqua deionizzata: _____	
conducibilità dell'estratto: _____	
(tra 10 e 100 nS)	
<b>Note, commenti</b>	
avvertenze: _____	
Tempi di esecuzione: allestimento: _____	
esecuzione: _____	
documentazione: _____	
chiusura: _____	
media al metro quadro _____	

Tabella 3: scheda di dettaglio per le specifiche modalità di operazioni di pulitura con sostanze solventi.

Table 3: detailed form for specific methods of cleaning with solvents.

5. riadesione di scagliature o frammenti staccati;
6. rimozione di stuccature;
7. rimozione di elementi impropri;
8. stuccatura;
9. protezione superficiale;
10. prodotti utilizzati.

Ogni scheda è costituita da una pagina iniziale che fornisce le informazioni generali di riferimento, e da una pagina di dettaglio per l'analisi delle modalità di esecuzione e dei risultati. Per le operazioni più articolate e complesse, come ad esempio la pulitura, ci si è dotati anche di uno schema per la registrazione di tutte le variabili interne ad una stessa prova. Le schede sono state utilizzate sia in fase di definizione di un metodo di lavoro sia per la redazione delle disposizioni definitive delle procedure prescelte. A titolo di esempio si allegano alcune delle schede per la pulitura.

6. removal of fills;
7. removal of inappropriate elements;
8. fills;
9. surface protection;
10. products used.

Each form is composed of a first page that supplies general referential information, followed by a detailed page for analysis of the method used and the results. For more complex operations, such as cleaning, a scheme was also adopted to record all the variables within the same test. The forms were used both in defining a work method and in drafting the definitive parameters of the procedures chosen. One of the cleaning forms is attached as an example below.



Una volta decisi prodotto e metodo, l'operazione è stata tradotta in procedura definitiva, applicandola su superfici più vaste.

Le articolate forme di degrado, che trovano espressioni diverse sui vari materiali lapidei, e la casistica delle loro compresenze e sovrapposizioni hanno reso piuttosto complesso l'intervento; inoltre l'articolazione degli elementi architettonici - nonostante la relativa semplicità decorativa delle superfici - unita alle dinamiche insolite dei piani di pendenza ha incrementato le attività organizzative di predisposizione dello spazio di lavoro. Tutti i diversi momenti sono stati registrati, calcolando modalità e tempi di allestimento e di esecuzione, quantità di prodotti, caratteristiche delle attrezzature, e modalità della documentazione. Da questo regesto potranno quindi essere ricavate, con le opportune valutazioni di contesto, le tipologie d'intervento e i costi applicativi a metro quadrato per il progetto di restauro dell'intera Torre.

Particolare cura è stata riservata alla documentazione grafica, progettata con il fine di ottenere dettagliate correlazioni, esattamente misurabili, tra interventi eseguiti e superfici interessate. Sono state messe a punto 28 voci di legenda, che rendono conto delle diverse operazioni, con i prodotti o le attrezzature eventualmente utilizzate; in cantiere si è ancora una volta preferito ricorrere ad un sistema di trascrizione su carta, con le voci accorpate in 9 tavole tematiche, che sono state inserite nel programma informatico a fine intervento.

#### La Documentazione Grafica del Saggio di Progetto

Le numerose voci di legenda corrispondono alla varietà di prove e alle necessità complesse degli interventi eseguiti in questo saggio. Alle tavole realizzate per documentare l'attività di restauro vanno aggiunte quelle relative alla localizzazione delle aree dei tests e dei punti di prelievo per l'esecuzione di indagini e controlli di laboratorio. L'estrema puntigliosità del rilevamento è risultata necessaria per ottenere una precisa correlazione tra la schedatura, le forme di alterazioni presenti, le superfici trattate e il futuro calcolo di incidenza del lavoro sulle diverse zone della Torre.

Tavola 1: riduzione di spessore delle vecchie stuccature  
rimozione totale delle vecchie stuccature

Tavola 2: pulitura con semplice risciacquo  
pulitura con acqua atomizzata

Tavola 3: pulitura chimica con carbonato di ammonio  
pulitura chimica con altre miscele

Tavola 4: pulitura meccanica con strumenti manuali  
pulitura meccanica con strumenti pneumatici a percussione  
pulitura meccanica con vibroincisori  
pulitura meccanica con microtrapani a punta abrasiva

Tavola 5: pulitura meccanica con microsabbatura  
pulitura meccanica con sabbatura

Tavola 6: stuccatura  
microstuccatura

*Once the product and method are decided upon, the operation is translated into a definitive procedure and applied to larger surfaces.*

*The various forms of deterioration, which occur differently on the various types of stone, and the history of their joint presence and superimpositions made the treatment rather complex; moreover, the articulation of the architectural features - despite the relative decorative simplicity of the surfaces - combined with the unusual dynamics of the leaning storeys, increased the organizational activities for preparing the work space. Every phase was recorded, calculating methods and times for preparation and execution, quantity of products, characteristics of the equipment and documentation procedures. Thus, from this record one can extrapolate - with suitable evaluation of the context - the types of treatment and application costs per square meter for the conservation project for the entire Tower.*

*Particular care was devoted to graphic documentation, planned with the aim of obtaining detailed, exactly measurable correlations between treatments performed and surfaces involved. Twenty-eight legend headings were developed to describe the various operations, with the products or equipment used. For the worksite, we reverted to a system of recording on paper with the headings grouped into 9 thematic maps, which were then inserted in the computer at the end of the intervention.*

#### Graphic Documentation During Project Trials

*The numerous legend headings correspond to the variety of tests and the complex necessities of the treatments performed during the trial. Added to the maps documenting the restoration are those indicating test areas and places where samples were taken for study and laboratory analysis. This highly punctilious survey was necessary to obtain a precise correlation between the recording, the forms of alteration present, the surfaces treated and the calculation of future work on the various areas of the Tower.*

Map 1: reduction of thickness of old fills  
complete removal of old fills

Map 2: cleaning with simple rinsing  
cleaning with atomized water spray

Map 3: chemical cleaning with ammonium carbonate  
chemical cleaning with other mixtures

Map 4: mechanical cleaning with hand tools  
mechanical cleaning with pneumatic percussion tools  
mechanical cleaning with micrograver  
mechanical cleaning with microdrills with abrasive bits

Map 5: mechanical cleaning with micro air abrasion  
mechanical cleaning with air abrasion

Map 6: fills  
micro-fills  
lime wash and glazing

scialbature e velature

Tavola 7: elementi metallici: trattamento  
elementi metallici: rimozione  
gomme e resine: rimozione  
colorazioni: rimozione

Tavola 8: consolidamento con Eurostac, prima della pulitura  
consolidamento con Albaria, prima della pulitura  
consolidamento con Primal WS 24 E, prima della pulitura  
consolidamento con scialbatura o stuccatura, prima della pulitura

Tavola 9: consolidamento con silicato (VP5035), prima della pulitura  
consolidamento con resina epossidica, dopo la pulitura  
consolidamento con malta idraulica, dopo la pulitura  
consolidamento con Eurostac, dopo la pulitura  
consolidamento con Albaria, dopo la pulitura

Per dar conto del lavoro fatto si descrivono nei capitoli seguenti i problemi principali e le soluzioni adottate. Per rendere scorrevole la lettura si identifica in ognuno dei tasselli un momento caratteristico degli interventi; ovviamente, nella realtà, tutte le diverse operazioni sono state condotte a compimento in ogni zona.

#### Tassello A

Varcato l'ingresso della Torre ci si trova in un piccolo atrio con, a sinistra, l'accesso alla scala elicoidale e, poco più avanti, un locale circolare che corrisponde alla base della vasta canna interna. Se nel corso del tempo lo spazio non fosse stato suddiviso per creare diverse stanze sovrapposte, da questo locale si potrebbe avere la visione dell'intera altezza della Torre, con al culmine il lucernario che costituisce il pavimento della cella campanaria.

Le pareti sono ricoperte da uno spesso strato di polveri coerenti che nascondono vastissime colature stratificate di calcare, spesse svariati millimetri e con una superficie corrugata che ricorda proprio lo scorrimento dell'acqua; in alcuni punti, dopo giornate di pioggia particolarmente intensa, si può notare tuttora il lento ruscellamento delle acque di infiltrazione. In corrispondenza delle colature di maggiore entità si sono addensate, e parzialmente inglobate nella struttura, croste nere di tipo dendritico. Tutti questi depositi nascondono quasi completamente la presenza di numerosi strati colorati, dal giallo al bruno, costituiti prevalentemente da ossalati di calcio a diretto contatto delle superfici.

Nella parte inferiore, lungo tutto il perimetro, si possono rilevare ad una visione ravvicinata consistenti accumuli e incrostazioni di terra, residuo dei lunghi periodi di interrimento della base del monumento<sup>1</sup>.

Isolati fenomeni di decoesione, disgregazione ed esfoliazione del marmo, legati alla presenza di

Map 7: metallic elements: treatment  
metallic elements: removal  
glues and resins: removal  
coloration: removal

Map 8: consolidation with Eurostac, before cleaning  
consolidation with Albaria, before cleaning  
consolidation with Primal WS 24 E, before cleaning  
consolidation with lime layer or fills, before cleaning

Map 9: consolidation with silicate (VP5035), before cleaning  
consolidation with epoxy resin, after cleaning  
consolidation with hydraulic mortar, after cleaning  
consolidation with Eurostac, after cleaning  
consolidation with Albaria, after cleaning

*To report on the work accomplished, the following paragraphs will describe the main problems and the solutions adopted. To facilitate the reading, we will identify a characteristic moment of the treatment for each test area; in reality, all the various operations were carried out to completion in every zone.*

#### Sector A

*On entering the Tower you find yourself in a small atrium with, to the left, the access to the spiral staircase and, ahead, a circular space which corresponds to the base of the vast internal drum. Over the years, the space was subdivided to create various superimposed rooms. Had this not been the case, you would be able to look up the entire height of the Tower, and see the skylight which constitutes the floor of the bell chamber at the top.*

*The walls are covered by a layer of thick, coherent dust which hides vast, stratified deposits of lime, often several millimeters thick, with a corrugated surface that reminds one of a flow of water; in some places, after days of particularly intense rainfall, one can still see the slow trickle of infiltrating water. Corresponding to the largest deposits and partially enclosed in the structure, there are dense black, dendritic crusts. All these deposits virtually hide the presence of numerous colored layers - from yellow to brown - composed primarily of calcium oxalates in direct contact with the surfaces.*

*In the lower part, along the entire perimeter, close examination shows thick accumulations and encrustation of dirt, a residue of the long periods when the base of the monument was buried.<sup>1</sup>*

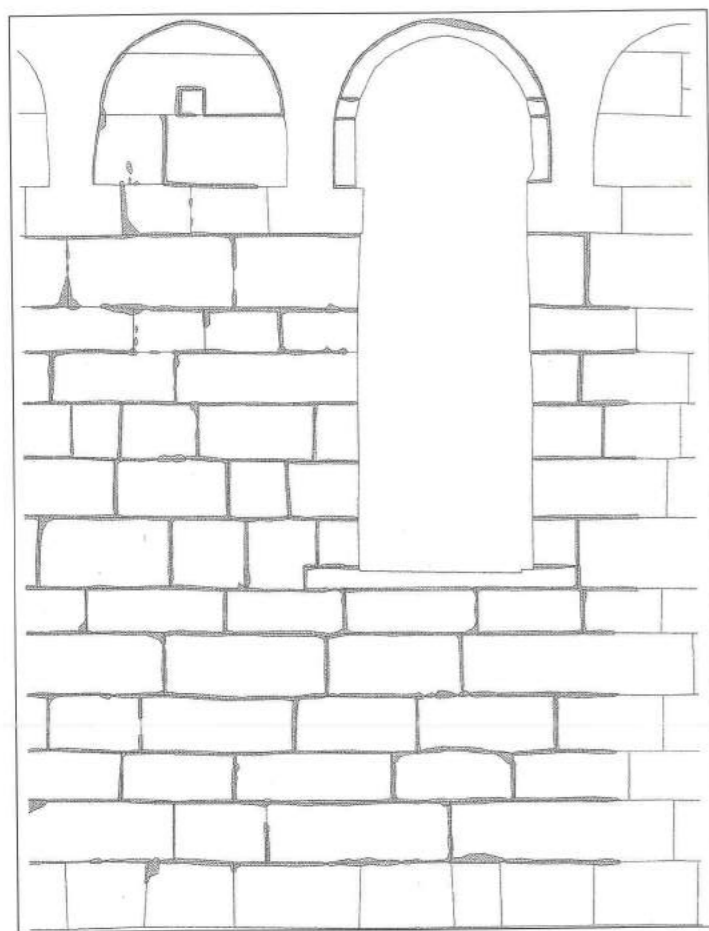
*Isolated phenomena of disaggregation, decay and exfoliation of the marble, connected to the presence of water infiltration and the particular shapes of the stone, are found on some blocks, whereas the minor flaking along the edges of the blocks can probably be traced to problems of compression due to the leaning of the Tower.*



infiltrazioni di acqua e a particolari morfologie strutturali delle pietre, si riscontrano su alcuni blocchi, mentre le piccole scagliature sui bordi dei conci si possono probabilmente ricondurre a problemi di compressione legati alla pendenza.

#### Interventi di restauro sul tassello A<sup>2</sup>

Il problema principale da affrontare e risolvere in questa zona della Torre era la definizione del metodo di pulitura, strettamente correlato non solo al tipo di sostanze da rimuovere ma anche al livello che si voleva raggiungere. E' sembrato consono alla vastità delle superfici da affrontare, alla natura di ambiente confinato e alla sostanziale mancanza di fenomeni di alterazione in atto, la messa a punto di un sistema di pulitura che garantisse soprattutto un risultato esteticamente corretto. Già il solo lavaggio ad acqua con una pistola ad aria



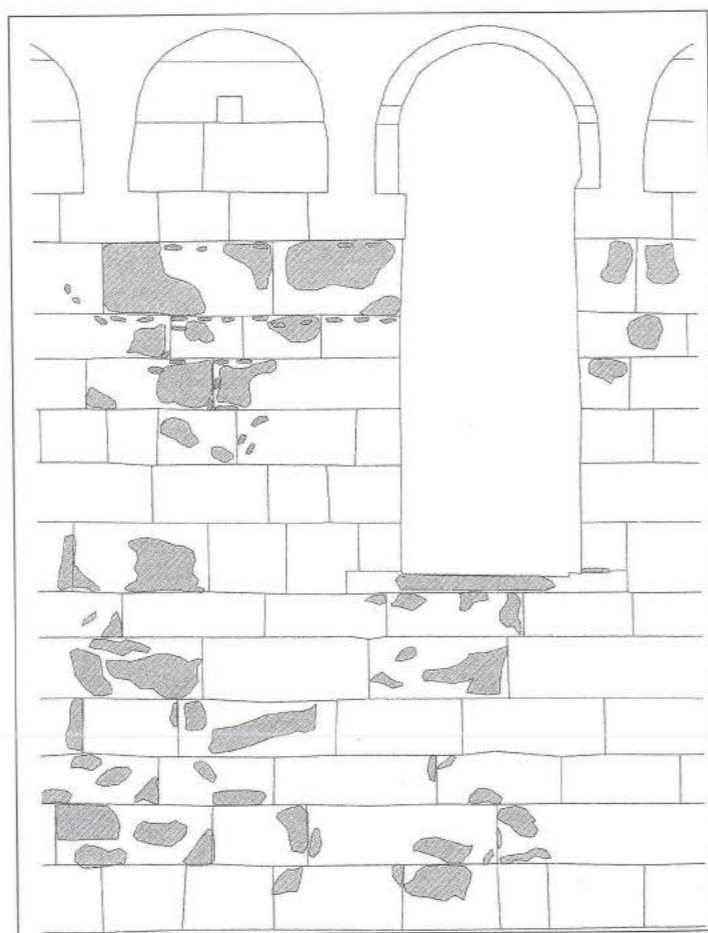
2° Ordine Paramento del tamburo - rimozione delle vecchie stuccature (Tav. 1)

Level 2, wall of drum, removal of old fills (Map 1).

#### Conservation treatments on Sector A<sup>2</sup>

*The main problem to be faced and resolved in this area of the Tower was to define a cleaning method that was closely correlated not only to the type of substances to be removed but also to the level desired. Given the vast extent of the surfaces to be treated, the confined nature of the space and the lack of alteration phenomena in progress, it seemed appropriate to develop a cleaning system that would primarily guarantee a proper aesthetic result.*

*Merely washing with water from a compressed-air gun, accompanied by the mechanical action of scrub brushes and sponges (obviously avoiding the rare zones of disaggregation) permitted the removal of a good part of the surface deposits and recovery of legibility of the layers beneath.<sup>3</sup> The removal of the lime and black crusts was conducted with basically aesthetic criteria: with the use of*



2° Ordine Paramento del tamburo consolidamento dopo la pulitura (Tav. 9)

Level 2, wall of drum, consolidation prior to cleaning (Map 9).

compressa, accompagnato dall'azione meccanica di spazzolini in setola e spugne - evitando ovviamente le rare zone di decoesione - ha consentito la rimozione di molti dei depositi superficiali, recuperando una buona leggibilità degli strati sottostanti<sup>3</sup>. La rimozione del calcare e delle croste nere è stata condotta con criteri sostanzialmente estetici: con l'uso di strumenti pneumatici e con diverse polveri abrasive si è riusciti a raggiungere un'omogeneità dei toni più che degli spessori, adeguandosi alla colorazione generale data dagli strati ad ossalato.

#### Tasselli B, C, D e E

Il vano della scala in corrispondenza del Tassello B è ricoperto in maniera piuttosto uniforme di polveri compatte, a tratti interrotte da rilavorazioni delle pietre, raschiature, gore di sostanze oleose, gomme o scoloriture dovute ai reiterati interventi di manutenzione o alla semplice frequentazione. In genere è in vicinanza degli accessi ai loggiati che si manifestano forme di alterazione dei materiali e depositi più simili a quelli rilevabili all'esterno.

Un fenomeno particolare si registra invece sul soffitto e ai lati dei gradini, dove si è creato un vero e proprio ruscello pietrificato, con tanto di cordoli e stalattiti, costituito dai depositi di calcare rilasciati nello scorrimento dell'acqua piovana proveniente dalle aperture e dalle infiltrazioni interne alle murature. In queste zone l'acqua ruscella ancora, e non è difficile rintracciare muschi o attacchi algali ancora attivi, insieme alle tracce scure di vecchie colonie biologiche ormai inglobate nella stratificazione del calcare.

Il Tassello C è stato selezionato come zona rappresentativa dei problemi di degrado del marmo di S. Giuliano, problemi che interessano sia l'interno che l'esterno della Torre. Nella zona scelta la polverizzazione raggiunge in media i cinque centimetri di profondità e si manifesta con cristalli totalmente liberi, della consistenza e del colore del talco, intervallati dal materiale compatto delle venature della pietra; in alcune parti la disaggregazione è accompagnata, e aggravata, da fenomeni di esfoliazione e di scagliatura.

Arrivati in corrispondenza del 5° Ordine della Torre, sulle pareti della scala cominciano ad apparire intere zone realizzate con blocchi di breccie di varie tipologie, colorazione e consistenza<sup>4</sup>.

Nei Tasselli D e E, selezionati come rappresentativi di questa tipologia costruttiva, i diversi conci sono caratterizzati da livelli diversi di erosione, che in alcuni casi arriva ad una decina di centimetri di profondità,

*pneumatic tools and various abrasive powders, it was possible to arrive at a certain homogeneity of the tones (more than the thickness) and match the general coloration provided by the oxalate layers.*

#### Sectors B, C, D and E

*The stairwell corresponding to sector B is covered fairly uniformly with compact dust, occasionally interrupted by reworking of the stone, scraping, channels of oily substances, glues or deposits due to repeated maintenance operations or simply to wear. In general, it is near the access to the galleries that one finds alteration forms and deposits more similar to those found on the outside.*

*A particular phenomenon, instead, is noted on the ceiling and on the sides of the steps, where a petrified stream has been created, with stalactites composed of calcium deposits created by the flow of rainwater coming from the openings and infiltrations within the walls. The water still flows in these areas, and it is not difficult to find moss or algae attacks still in progress, together with the dark traces of old biological colonies, by now encapsulated in the stratification of the lime.*

*Sector C was chosen as a representative zone for the problems of deterioration of the San Giuliano marble problems that affect both the inside and outside of the Tower. In the area chosen, the pulverization reaches an average of five centimeters in depth and is seen with crystals completely free, of the consistency and color of talcum, alternating with the compact material of the veins of the stone; in some parts the disaggregation is accompanied and exacerbated by phenomena of exfoliation and flaking.*

*On arriving at Level 5 of the Tower, one finds the staircase walls have entire zones built with breccia block of various types, colors and consistency.<sup>4</sup> In Sectors D and E, chosen as representative of this construction typology, the various blocks are characterized by different levels of erosion, which goes some 10 cm deep in a few cases, transforming the block into a hole. The distribution of the phenomenon does not seem to be directly related to environmental conditions or to the progress of humidity and infiltrations, but has a casual look, perhaps related to the intrinsic nature of the material itself. The wear on the matrix and the loss of clasts do not lead to obvious disaggregation: the visible surface is generally perfectly compact.*

#### Conservation treatments on the sectors of the internal staircase

*Tests for removing surface deposits, principally applied in*



trasformando il blocco in un buco; la distribuzione del fenomeno non sembra direttamente riferibile alle condizioni ambientali o all'andamento dell'umidità e delle infiltrazioni, ma ha un'apparenza casuale, forse legata alle caratteristiche intrinseche del materiale. L'usura del cementante e la caduta dei elasti non portano a fenomeni evidenti di disgregazione: la superficie in vista è in genere perfettamente compatta.

#### Interventi di restauro sui tasselli della scala interna

Le prove di rimozione dei depositi superficiali, testati principalmente nel Tassello B, si sono indirizzate immediatamente verso la messa a punto di un sistema che riducesse al minimo i tempi di applicazione e l'utilizzo dell'acqua: l'ambiente infatti è troppo stretto, poco e stranamente areato, con poche uscite sia sull'esterno che sull'interno del tamburo per poter immaginare l'impianto di sistemi quali la nebulizzazione, che pure potrebbero dimostrarsi validi dal punto di vista conservativo e del risultato. Si è operato quindi con impacchi di sostanze solventi a debole concentrazione, rimosse sciacquando la superficie con pistola da verniciatura ad aria compressa e leggera spazzolatura. Questo sistema ha permesso anche la rimozione di numerose scritte a matita, a inchiostro e a pennarello.<sup>5</sup> La rimozione del calcare dal soffitto è avvenuta con mezzi meccanici sia manuali che pneumatici: l'operazione è stata relativamente semplice, a parte le difficoltà dovute all'inclinazione e all'altezza del vano, che rendevano precari la stabilità di piccole strutture di supporto e il senso di equilibrio dell'operatore. Il calcare infatti è risultato accumulato in strati lamellari, con poca adesione tra l'uno e l'altro, tranne che negli spessori più sottili, di consistenza quasi vetrosa. Più tenaci gli strati sui gradini, alterati anche da sovrasmistioni di malte e mastici, e compressi variamente dal calpestio dei visitatori. Per le prove di consolidamento sul Tassello C sono stati eseguiti test con due diverse resine acriliche in dispersione acquosa e con una resina acril-siliconica. Le applicazioni sono avvenute per percolazione lenta con siringhe e pipette da laboratorio o a pennello, eseguite in più applicazioni successive e a concentrazioni diverse. I primi due prodotti hanno dimostrato una buona capacità di penetrazione e una restituzione soddisfacente della coesione del materiale, senza comportare alcuna alterazione della tonalità della pietra; scarsa invece la resistenza meccanica a fine trattamento. La terza ha nettamente migliorato coesione e resistenza del materiale, ma ha dimostrato una penetrazione meno

*Sector B, were immediately aimed at developing a system that reduced the application time and the use of water to a minimum. Indeed the space is so narrow and so poorly and strangely ventilated, with few exits either to the outside or to the inside of the drum, that the use of equipment such as nebulizers was out of the question. Otherwise, they might have been a good choice for conservation purposes and results. The approach was thus to use poultices of solvents in a weak concentration, removed by rinsing the surface with water from a spray gun run on an air compressor and by light brushing. This system also helped to remove numerous writings in pencil, ink and colored pens.<sup>5</sup>*

*Removal of the lime from the ceiling was done by mechanical means, whether manual or pneumatic: the operation was relatively simple apart from the difficulties involved in the tilt and height of the space, which made for precarious working platforms and affected the operators' sense of balance. The lime was found to have accumulated in sheets, with little adhesion between them, except for the thinnest ones, which were almost vitreous in consistency. The layers on the stairs were more tenacious, also altered by spilled mortar and adhesives, and compressed by foot traffic.*

*Consolidation tests on Sector C were performed with two acrylic resins in aqueous dispersion and with an acrylo-silicone resin.*

*The resins were applied by slow percolation with syringes and laboratory pipettes or by brush, using several coats and various concentrations. The first two products showed a good penetration capacity and satisfactory restitution of the material's cohesion, without changing the color of the stone; mechanical resistance at the end of treatment, however, was poor. The third product clearly improved the cohesion of the material but did not penetrate as well; moreover, it tended to attract deposits of dust and slightly alter the color of the surfaces.*

*As a result of these observations, we decided to use the acrylic resins for operations prior to cleaning and to complete the consolidation - once deposits were removed - with the acrylo-silicone resin.*

*The treatment of Sectors D and E focused on developing mortars to fill losses, cracks and joints. The problem was not only to find a color compatible with the various tonalities and types of breccias, but also to identify the proper grain size of the mix and the level of reconstruction to propose. The idea was to re-establish a smooth surface, with its breaks sealed to oppose the exit of water, leaving legible the spaces between the blocks and, in part, the 'hardships' of the monument's life. Thus*

efficace; inoltre tende a fissare i depositi di polvere e ad alterare leggermente la colorazione delle superfici. Sulla scorta di queste osservazioni si è deciso di utilizzare le resine acriliche per le operazioni preliminari alla pulitura e di completare il consolidamento, dopo la rimozione dei depositi, con la resina acril-siliconica. L'operazione caratterizzante dell'intervento sui Tasselli D e E è stata la messa a punto delle malte per la stuccatura di mancanze, lesioni e giunti. Il problema non era solo trovare una colorazione compatibile con le diverse tonalità e tipologie delle breccie, ma individuare la giusta granulometria dell'impasto e il livello di ricostruzione da proporre.

L'idea era di riconsegnare una cortina risanata, con le soluzioni di continuità sigillate a contrastare la fuoruscita dell'acqua, ma di lasciare leggibili le fughe tra i blocchi e, in parte, le "traversie" della vita del monumento. Così i piani delle stuccature non sono stati portati al livello della superficie delle pietre, ma nemmeno sono stati mantenuti ad un identico, omogeneo sottolivello: si è cercato di accompagnare piani e livelli già determinati dalle differenze di lavorazione e di posa in opera, dalle preesistenti stuccature e dalle perdite di materiale. Questo criterio reintegrativo è stato adottato su tutte le superfici restaurate nel saggio di progetto, sia interne che esterne.

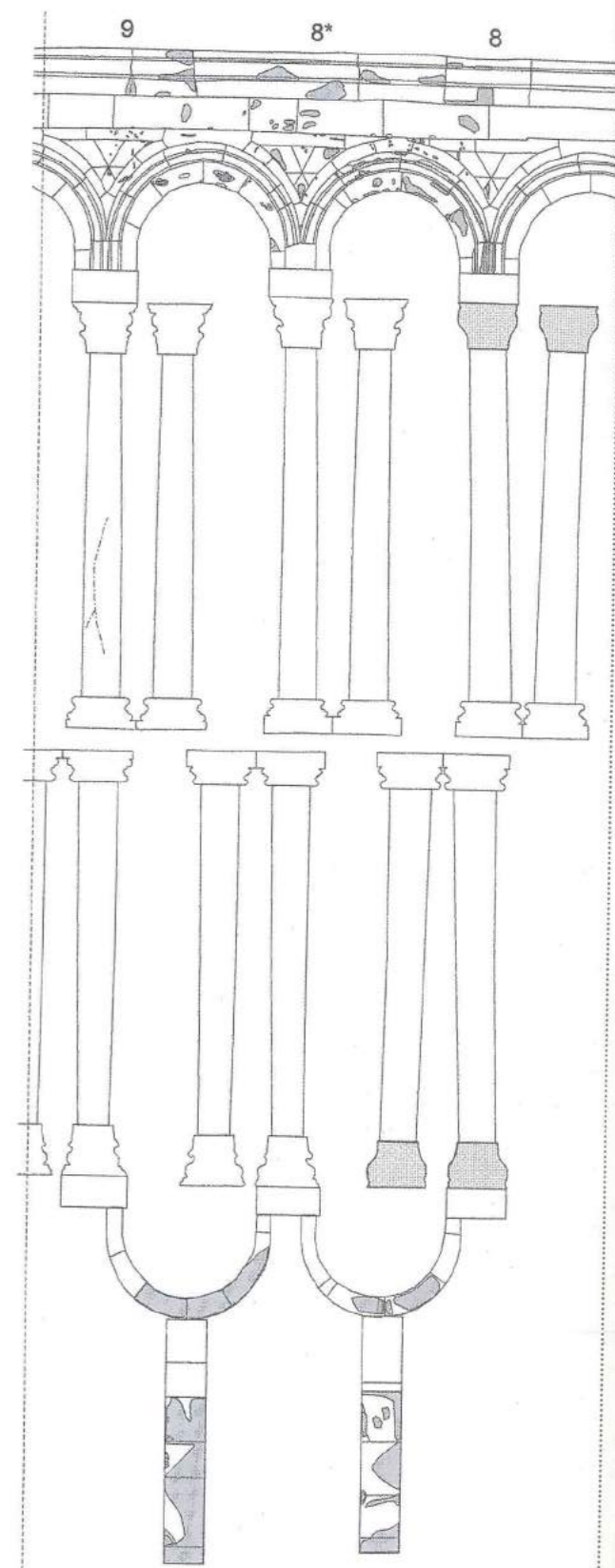
#### Tassello F

La parete interna della cella campanaria scelta per le prove di intervento è quella rivolta a Sud, a sinistra dei gradini di accesso; data la posizione si trova estremamente esposta alle rapide variazioni legate agli eventi climatici.

In questa parte del monumento è molto evidente la presenza di microflora e di attacchi biologici, resi più visibili dall'assenza di depositi consistenti di polveri o agenti inquinanti; nonostante la stagione invernale si trovavano ancora piante infestanti nelle parti protette o negli aggetti degli elementi architettonici.

La superficie, omogeneamente erosa, è ricoperta da vaste e spesse colature di calcare che alterano la percezione dei filari alternati di pietre grigie e bianche. Altro elemento deturpante è la gran quantità di chiodi, perni, cavi, placche di misurazione, frammenti di apparecchi e attrezzature che sono rimasti in opera e che si stanno pian piano corrodendo, provocando macchie, piccole lesioni e distacco di frammenti.

Data l'assenza di croste nere e depositi compatti si potevano apprezzare la vastità delle reintegrazioni in malta e i diversi materiali utilizzati per le stuccature, che



2° Ordine, doppiato - Consolidamenti prima della pulitura (Tavole 8)

Level 2, gallery, consolidation prior to cleaning (Map 8).



costellavano la zona di inserti delle più diverse colorazioni.

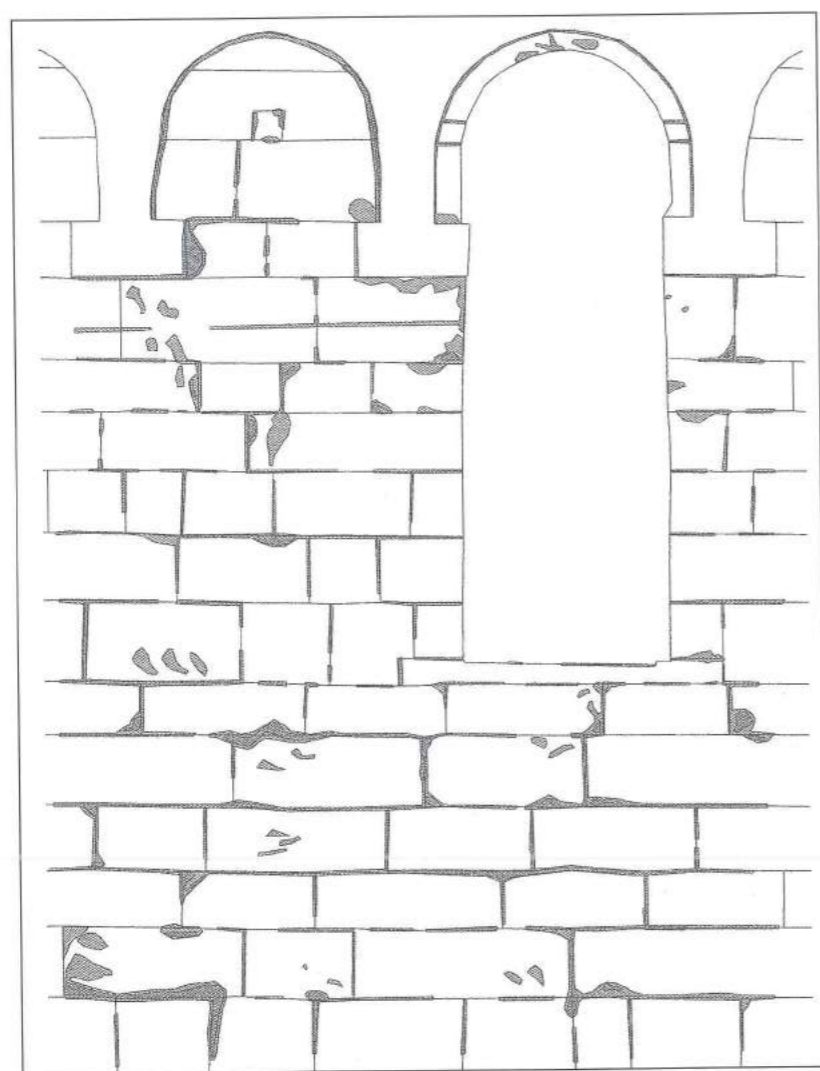
#### Interventi di restauro sul tassello F

La prima operazione eseguita è stata la debiotizzazione: il tassello è stato irrorato con una soluzione di un biocida ad ampio spettro, diffusa con un erogatore manuale. Dopo 15 giorni si è proceduto ad una spazzolatura della superficie che ha consentito la rimozione dei microrganismi e della microflora ormai devitalizzata. Per ulteriore cautela, l'irrorazione è stata ripetuta una seconda volta. Le piante infestanti sono state invece estirpate manualmente, cercando di eliminare il più possibile gli apparati radicali infiltrati in stuccature o lesioni.

*the level of the fills was not taken as high as the stone surfaces, but neither were the fills kept always at the same, homogeneous sub-level: we attempted to follow the planes and levels already determined by differences in working and placement, by the pre-existing fills and by the loss of material. This criterion for reintegration was adopted for all the surfaces restored in the preliminary project, inside and out.*

#### Sector F

*The interior wall of the bell chamber chosen for treatment tests is the wall facing south, to the left of the access stairs; given this position, it is highly exposed to the rapid fluctuations connected with the weather.*



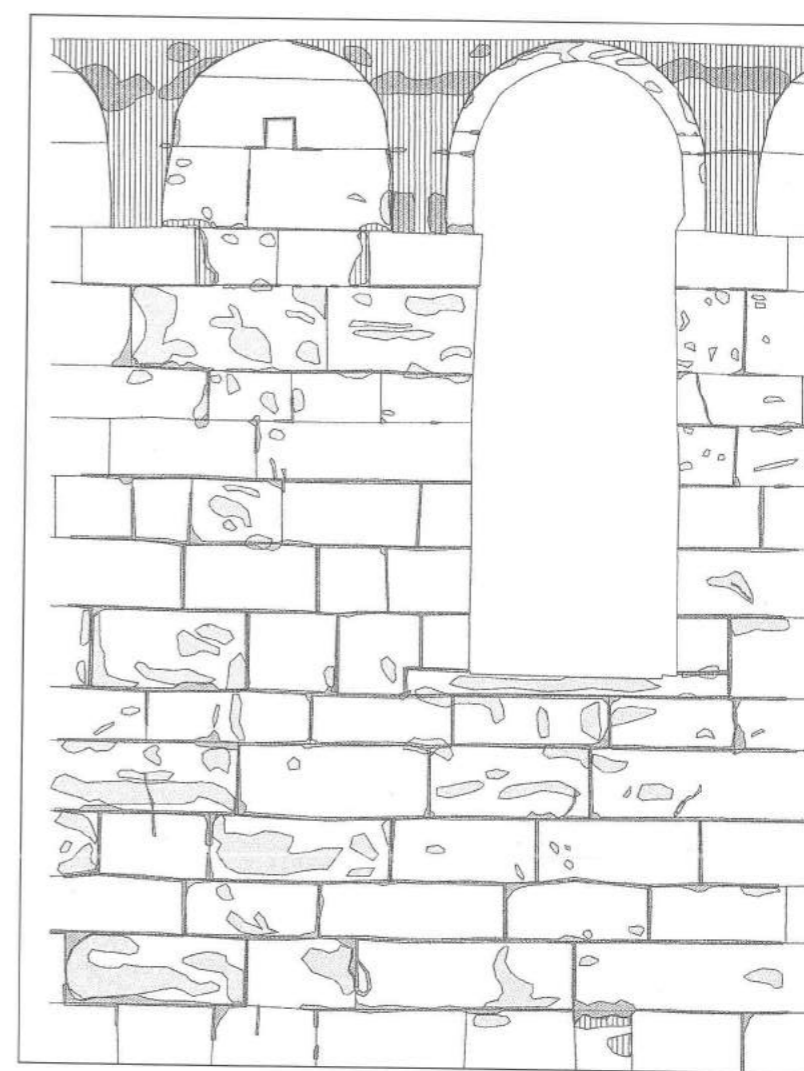
2° Ordine, paramento del tamburo, pulitura meccanica (Tavola 4)  
Level 2, wall of drum, mechanical cleaning (Map 4).

La rimozione del calcare è stata condotta con un criterio simile a quello adottato nelle zone interne della Torre: dato che non si tratta in specifico di una alterazione pericolosa ai fini conservativi, ma piuttosto di un deposito superficiale che disturba soprattutto una corretta lettura, si è scelto di procedere ad una rimozione totale unicamente sulle superfici grigie del calcare di Filettole o del marmo Bardiglio, mentre sulle pietre chiare ci si è limitati ad abbassare il livello e a smussare il corrugamento superficiale dei depositi. Anche la rimozione delle vecchie stuccature ha seguito in parte questa logica: si è deciso di procedere con una asportazione completa delle parti sovrapposte ai materiali originali e delle stuccature ormai lesionate, con

*The presence of microflora and biological attacks is extremely obvious in this part of the monument. They are made even more visible by the absence of heavy deposits of dust or polluting agents; even in the winter there were still weeds growing in sheltered areas or in the extended parts of architectural elements.*

*The evenly weathered surface is covered by vast, thick flows of lime, which change the perception of the alternating rows of gray and white stone. Another disturbing element is the large amount of nails, pins, wires, measuring plates, and bits of equipment that are still there and that are slowly rusting, causing stains, small cracks and detachment of fragments.*

*Given the absence of black crusts and compact deposits,*



2° Ordine, paramento del tamburo: stuccatura, microstuccatura, scialbatura e velatura (Tavola 6).

Level 2, wall of drum: filling, microfilling, coatings and glazing (Map 6).



l'abbassamento di livello delle sigillature dei giunti tra i blocchi, e con il mantenimento di qualche traccia degli interventi di integrazione più consistenti per non cancellare completamente la possibilità di riconoscere e ricostruire gli eventi passati.

Si è cercato invece di eliminare gli elementi metallici e non che costellavano le superfici: sui nove metri quadrati sottoposti a restauro ne sono stati rintracciati ed eliminati 64; ne sono stati lasciati in opera solo tre, opportunamente trattati e protetti, perché impossibili da asportare.<sup>6</sup>

### Tassello G

La zona scelta per il saggio di intervento sui paramenti esterni della Torre – il tassello più vasto ed articolato – si configurava come rappresentativa di una situazione di difficoltà media, completa di tutte le forme di alterazione già registrate in fase di mappatura; qui dunque si sono potuti testare il tempo complessivo di lavoro e le procedure scelte, da riportare, in fase di progetto, alle diversità tipologiche e metriche dell'intero monumento. I depositi coerenti e le croste nere ricoprivano circa i due terzi della superficie, con aspetto e consistenza che variavano dallo strato compatto e liscio dei piani orizzontali delle mensole del 2° Ordine alle spesse croste dendritiche nei sottosquadri delle decorazioni e degli archi al deposito sottile e poco consistente delle zone protette del tamburo del loggiato. Numerosi anche i depositi calcarei, dovuti al ruscellamento dell'acqua e soprattutto alle percolazioni di fuoriuscita dalla struttura muraria.

Fenomeni di decoesione, disgregazione, polverizzazione, esfoliazione e scagliatura della pietra si raggruppavano soprattutto sugli archi, i cornicioni marcapiano dei due ordini, sulla geometria al 1° Ordine, sui capitelli 8 e 9 del 1° Ordine e sul capitello 8 del 2° Ordine. Le situazioni più gravi vedevano l'estendersi della polverizzazione per diversi centimetri di profondità, sia sul marmo di S. Giuliano che nei blocchi in marmo apuano: la pietra, completamente zuccherificata, non presentava la seppur minima coesione dei cristalli mentre in molti casi, soprattutto nel 1° Ordine, lo strato superficiale era tenace e compatto, caratterizzato da strati ad ossalato ricoperti di spessa crosta nera, e totalmente distaccato dalla pietra disgregata sottostante, con un effetto di forte deformazione.

Attacchi biologici di alghe, licheni e muschi erano ben individuabili sul fronte aggettante e le modanature dei cornicioni, ma sono stati anche ritrovati nel corso dell'intervento sotto le stuccature tra i blocchi e tra le

*one could note the vast extent of the mortar reintegrations and the various materials used for the fills, which dotted the area with inserts of all colors.*

### Conservation treatment on Sector F

*The first operation was to remove the biological agents: the area was sprayed with a solution of a wide-spectrum biocide, using a hand-held sprayer. After 15 days, the surface was brushed, thus removing the dead microorganisms and microflora. As a precaution, the area was sprayed a second time. The weeds were pulled out by hand, with care to remove as many roots as possible from between the fills and cracks.*

*The lime removal was conducted with a criterion similar to that adopted on the inner areas of the Tower: given that the lime in itself is not dangerous to the conservation but is a surface deposit that mars the reading of the stripes, we chose to completely remove it only from the gray surfaces of Filettole limestone or Bardiglio marble. On the light stones, we limited ourselves to lowering the level and to rounding off the surface corrugation of the deposits.*

*The removal of old fills also partly followed the same logic: we decided to completely remove the parts covering original materials, to lower the level of pointing between the joints of blocks and to keep a few traces of more extensive integration, so as not to completely cancel the option of recognizing and reconstructing past events. In contrast, the elements – metallic or otherwise – that dotted the surfaces were candidates for elimination: on the nine square meters under treatment, 64 of these were found and eliminated; only three were left in place – suitably treated and protected – as they were impossible to remove.<sup>6</sup>*

### Sector G

*The area chosen for treatment on the external walls of the Tower – the largest and most complicated sector – appeared to represent a situation of typical difficulty, involving all the forms of alteration already recorded in the mapping phase; thus, here, we could test the total time involved and the procedures chosen and then extrapolate them, in the planning phase, to the various typologies and measurements of the entire monument. Solid deposits and black crusts covered about two-thirds of the surface in various forms, ranging from a smooth, compact layer on the horizontal planes of the beams on Level 2 to thick dendritic crusts beneath the decorations and arches, and to thin, light deposits in protected areas of the drum of the gallery. There were also numerous*

diverse stratificazioni del calcare.

Le stuccature riferibili a precedenti restauri erano numerose e di svariate tipologie e colorazioni: le più recenti, in cemento grigio, ricoprivano impasti di colore rosato, probabilmente contenenti della polvere di mattone, e altre malte chiare, di diversa granulometria, contenenti calce e/o gesso.

### Interventi di restauro sul tassello G

Come per il tassello F, la prima operazione è consistita nel processo di disinfezione di tutte le superfici sane. Per le zone di forte decoesione, esfoliazione o polverizzazione del materiale è stato eseguito un preconsolidamento localizzato con resine acriliche. In ogni caso, prima delle operazioni di pulitura, queste stesse zone sono state temporaneamente protette con stuccature eseguite con grassello di calce, polvere di marmo e sabbia in proporzione 1:5. Queste protezioni sono state rimosse al termine delle operazioni di pulitura, di consolidamento e di riadesione definitivi.

### Consolidamento per Immersione di un Capitello

Il consolidamento del capitello 8 del 2° Ordine ha comportato l'uso di un prodotto diverso e modalità di applicazione particolari. Si è voluta verificare la possibilità di eseguire un consolidamento in profondità mediante l'immersione totale dell'elemento architettonico.

La sacca di contenimento, realizzata in PVC come un tronco di cono rovesciato, è stata costruita intorno alla sua struttura. Il giunto nella parte bassa, tra PVC e marmo della colonna, è stato eseguito con guarnizioni adattabili alle asperità della pietra fermate da fascette metalliche a vite, e munito di una gronda di scolo per eventuali fuoriuscite di liquido.

Il volume interno della sacca è stato ridotto al minimo indispensabile, adattando la forma del contenitore al capitello con delle bende impregnate di resina poliesterica, del tipo normalmente usato in ortopedia.

Una volta versato il consolidante, le variazioni di livello sono state monitorate con un sistema a vasi comunicanti, costituito da un tubicino immerso nella soluzione e collegato ad una siringa graduata. La sacca è stata vuotata dopo quattro ore: la differenza tra il volume di consolidante immerso e quello ricavato dallo svuotamento della sacca è stato di ca. 700 ml., per cui si può assumere che questo sia il volume assorbito dal marmo; l'evaporazione, infatti, risultava praticamente trascurabile, visto il limitatissimo ricambio d'aria sulla superficie libera del liquido.

La struttura di contenimento è stata aperta nella parte bassa dopo 24 ore, e gradualmente eliminata nel corso delle 72 ore successive, cercando così di limitare la migrazione del consolidante e del solvente verso la superficie esterna del marmo. L'effetto iniziale di evidente alterazione cromatica del materiale si è affievolito nel corso dell'evaporazione e della polimerizzazione del consolidante, fino a sparire quasi completamente. La pulitura non è avvenuta per nebulizzazione, in quanto il trattamento ha fissato anche i depositi e le croste nere; si è dovuti intervenire con mezzi meccanici e qualche impacco solvente.<sup>7</sup>

*lime deposits due to the flow of water and especially to places where water seeped out from the wall structure. The arches, the cornices delimiting the two levels, the diamond pattern on Level 1, capitals 8 and 9 of Level 1 and capital 8 of Level 2 were particularly subject to phenomena of stone decohesion, disaggregation, powdering, flaking and scaling. In the most serious situations, the powdering went as deep as several centimeters on both the San Giuliano and Apuan marble blocks: the stone, turned to sugar, lacked even the minimum cohesion of crystals while, in many cases – especially on Level 1 – the surface layer was tenacious and compact, characterized by oxalate layers covered by a thick black crust and totally detached from the weak underlying stone, with an effect of strong deformation. Biological attacks of algae, lichens and mosses were easily seen on the outer face and the modelling of the cornices, but were also found in the course of treatment beneath the fills between blocks and between the various layers of lime.*

### Consolidation of a Capital by Immersion

*The consolidation of capital 8 of Level 2 involved the use of a different product and a special means of application. The idea was to examine the possibility of deep consolidation through total immersion of the architectural element.*

*A container, made of PVC like an upside-down cone, was built around the structure. The joint at the bottom, between the PVC and the marble of the column, was made with gaskets that could be adjusted to the shape of the stone, fastened with metal screw clamps and provided with a gutter to catch any liquid that came out.*

*The internal volume of the bag was reduced to the indispensable minimum, adapting its form to that of the capital with strips impregnated with polyester resin – the type normally used for making orthopedic casts.*

*Once the consolidant was poured in, the variations in level were monitored with a system of communicating chambers, composed of a thin tube immersed in the solution and connected to a graduated syringe. The bag was emptied after four hours; the difference between the volume of consolidant used and that left over was ca. 700 ml, so one can assume that this was the volume absorbed by the marble. Evaporation, in fact, was almost nil, given the limited air exchange on the free surface of the liquid. The supporting structure was opened at the bottom after 24 hours and gradually eliminated in the course of the subsequent 72 hours, thus attempting to limit the migration of the consolidant and solvent towards the outer surface of the marble. The initial effect of chromatic alteration gradually attenuated during the evaporation and setting of the consolidant, until it disappeared altogether. Cleaning was not done by nebulization because the treatment had also fixed the deposits and black crusts; it was necessary to use mechanical means and solvent poultices.<sup>7</sup>*



I metodi utilizzati per rimuovere depositi carbonatati e concrezioni di polveri ed inquinanti sono stati diversi e articolati in sequenza, a seconda delle tipologie dello strato da rimuovere e delle condizioni di coesione del materiale lapideo:

- iniziale risciacquo delle superfici in buono stato di conservazione con spazzolatura, eseguita con pennelli o spazzole morbidi e acqua, nebulizzata con pistola ad aria compressa a due atmosfere;

- solubilizzazione con acqua atomizzata: questa operazione è stata eseguita dopo le operazioni di preconsolidamento, disinfezione e protezione provvisoria già descritte. I tempi di applicazione sono variati dalla mezz'ora alle otto ore consecutive, a seconda delle zone. Quello che è stato piuttosto difficoltoso e lungo da organizzare è stato il sistema di raccolta e deflusso dell'acqua: si è dovuto tenere conto non solo delle dimensioni e dei margini del tassello, ma anche del singolare andamento dei percolamenti, legati all'accentuata pendenza;<sup>8</sup>

- impacchi di sostanze solventi, miscelate a varie concentrazioni, applicate con tempi di contatto diversi, valutate attraverso una serie di test e definite in base alle sostanze da rimuovere e al livello di pulitura individuato come ottimale: sulle superfici delle arcate esterne ad esempio, dove i depositi di crosta nera erano più spessi e tenaci, l'impacco è stato mantenuto anche per qualche ora;

- rimozione, con mezzi meccanici manuali o con strumentazioni di precisione, di depositi coerenti di notevole spessore, quali croste nere o strati di calcare dovuti a percolazione. Per queste operazioni sono stati utilizzati secondo necessità: microtrapani con punte di corindone di diverse granulometrie, usati soprattutto per assottigliare gli spessori di calcare e ridurne la scabrosità superficiale; microscalpelli o bisturi; microscalpelli a percussione; vibroincisori; micromartelletti pneumatici; microsabbiatrici caricate con inerti abrasivi per microsabbatura.

Per la rimozione delle vecchie stuccature e la stuccatura successiva ci si è comportati secondo il criterio già adottato nel Tassello F, mettendo a punto malte idonee per colorazione e granulometria. Particolare cura è stata riservata alle operazioni di microstuccatura di fessurazioni, fratturazioni ed esfoliazioni, eseguita con miscele a granulometria fine. In totale sono stati messi a punto 18 diversi tipi di malte.<sup>9</sup>

Le operazioni di pulitura sono state condotte rispettando il più possibile gli strati ad ossalato, che si presentano con colorazioni varie dal giallo al bruno soprattutto nelle

*Fills from previous restorations were numerous and of various types and colors: the most recent, in gray cement, covered mixtures of a pink color, probably containing brick dust, and other light-colored mortars of different grain size, containing lime and/or plaster.*

#### **Conservation treatment on Sector G**

*As was done for sector F, the first operation consisted in disinfection of all the healthy surfaces.*

*In areas of heavy decohesion, flaking or powdering of the material, a local pre-consolidation with acrylic resins was carried out. In any event, before cleaning, these same areas were temporarily protected with fills made of slaked lime, marble dust and sand in a proportion of 1:5. Such protection was removed after the operations of cleaning, consolidation and definitive readhesion.*

*The methods used to remove carbonated deposits and concretions of dust and pollutants were varied and developed in sequence, depending on the type of layer to be removed and on the condition of the stone:*

*- initial rinsing of surfaces in good condition which were brushed either with paintbrushes or medium-hard scrub brushes and water, sprayed with an air-compressor gun at two atmospheres;*

*- dissolution with atomized water: this operation was carried out after the operations of preconsolidation, disinfection and provisional protection described above.*

*The application times varied from half an hour to eight consecutive hours, depending on the area under treatment. What was rather difficult and time-consuming was organizing the system to collect and eliminate the water runoff: we had to bear in mind not only the dimensions and margins of the sector but also the singular flow of the water, linked to the accentuated tilt;<sup>8</sup>*

*- poultices of solvent substances were mixed at various concentrations, applied for different contact times, evaluated through a series of tests and defined on the basis of the substances to be removed and on the level of cleaning considered optimum. On the surfaces of the external arcades, for example, where the deposits of black crust were the most thick and tenacious, the poultice was even kept on for several hours;*

*- removal, with manual mechanical means or precision tools of hard deposits of notable thickness, such as black crusts or layers of lime due to seepage. For these operations, the following were used according to need: micro-drills with corundum bits of various grain sizes, used especially to reduce the thickness of the lime and smooth surface roughness; micro-chiselling tools or scalpels; mini-percussion tools; microgravers; small air*

zone protette, e che ormai risultano strettamente compenetrati alla struttura superficiale della pietra, tanto da riproporre perfettamente le tracce di lavorazione. Sempre per non creare ulteriori danni al materiale lapideo si è scelto di non procedere alla rimozione di quelle stuccature, soprattutto a cemento, che risultavano ancora in buone condizioni di consistenza o particolarmente aderenti alla pietra. I disturbi visivi creati dalle vecchie stuccature mantenute in opera nonché da alcuni strati ad ossalato sono stati corretti con un ritocco realizzato con polveri o inerti colorati miscelati a una resina acrilica. Queste operazioni sono state eseguite principalmente negli strombi della finestra,

#### **Intonaci delle Volte del 2° Ordine**

Le volte del loggiato del 2° Ordine sono risarcite da intonacature di diversa composizione e tonalità, eseguite in momenti diversi e in successivi interventi di manutenzione.

Le volte inserite nella zona individuata come Tassello G risultavano intonacate con malte a base di calce idraulica, rivestite, come strato finale, da una rasatura in cemento grigio caricato con una graniglia grossolana. Alcune parti, soprattutto al centro e all'imposta delle volte, risultavano fortemente decoese in profondità, con cadute di materiale e sbiancamenti, provocati probabilmente da ricristallizzazione di sali solubili migrati in superficie.

In fase di intervento si è proceduto:

- alla rimozione meccanica delle parti completamente disgregate e della scialbatura superficiale a cemento;

- al consolidamento con impregnazioni di una resina acrilica in dispersione acquosa al 5%;

- al risarcimento dell'adesione dell'intonaco alla muratura, ove possibile, con iniezioni di malta idraulica;

- alla stuccatura delle lacune di profondità con una malta di grassello di calce addizionato a sabbia di fiume e polvere di marmo non setacciate;

- alla applicazione finale di uno strato sottile di malta, sempre costituito da grassello, sabbia di fiume e polvere di marmo di colorazione e granulometria opportunamente selezionate, applicato su tutte le superfici, e utilizzato in strato sottile anche sui peducci in pietra, per il necessario raccordo tonale.

sui capitelli, in alcune zone del tamburo e sull'arcata del 1° Ordine.

L'ultimo problema affrontato è stato la scelta del protettivo. Sulla base delle selezioni e delle sperimentazioni già illustrate nel testo del Prof. Santamaria e della Dott.ssa Miliani, sono stati selezionati tre prodotti, giudicati interessanti e compatibili.

In base all'esito di alcune prove applicative eseguite sugli archetti del 2° Ordine, è stato individuato come prodotto maggiormente idoneo, sia per caratteristiche di idrorepellenza sia per il rispetto delle tonalità delle

*hammers; micro-airbrasives loaded with inert abrasives. To remove old fills and for subsequent refilling, the criterion established for sector F was followed, developing mortars suitable in color and grain size. Particular care was taken with operations of micro-filling of cracks, breaks and exfoliation, carried out with fine-grained mixtures. All told, 18 different types of mortar were developed.<sup>9</sup>*

*Cleaning was carried out with particular respect for the oxalate layers, which vary in color from yellow to brown especially in protected areas, and which by now have blended so closely with the surface structure of the stone that one can read the tool marks perfectly.*

#### **Plaster of the Vaults on Level 2**

*The vaults of the gallery on Level 2 are covered by plasters of various composition and tonality, done at different times and in subsequent maintenance interventions.*

*The vaults in the area of sector G were found to be plastered with mortars made of hydraulic lime covered, as a final layer, with smoothing of gray cement charged with large grains. Some parts especially in the center and at the imposts of the vaults, were strongly and deeply deteriorated, with loss of materials and whitening, probably caused by recrystallization of soluble salts that had migrated to surface.*

*The treatment involved:*

*- mechanical removal of the completely deteriorated parts and of surface coating of cement;*

*- consolidation with impregnation by acrylic resin in a water dispersion at 5%;*

*- improvement of the adhesion of the plaster to the wall, where possible with injections of hydraulic mortar;*

*- filling of the deep gaps with a mortar of slaked lime with unsifted river sand and marble dust;*

*- application of a thin layer of mortar, again of slaked lime with unsifted river sand and marble dust of a color and grain size chosen to match applied on all the plastered surfaces and used also in a thin layer on stone corbels to provide uniform tonality.*

*Again, to avoid further damage to the stone, we chose not to remove fills – especially those in cement – that were still in good condition or particularly well attached to the stone. The visual disturbance created by the old fills that remained, as well as some oxalate layers, were corrected with retouching done with colored powders or inert substances mixed with acrylic resin. These operations were conducted principally on the window embrasures, capitals, a few areas of the drum and the arcade of Level 1. The last problem faced was the choice of protective coating. On the basis of the choices and tests illustrated*



superfici, il Rhoximat 224, applicato in dosaggi differenziati rispetto all'esposizione.

1 La definizione dell'attuale piano di calpestio e la sistemazione del catino sono da riferire principalmente all'intervento del Gherardesca. Probabilmente sempre a questi anni, e proprio ad un tentativo di rimozione delle incrostazioni e della colorazione giallo bruna che derivava dall'interamento, si possono ricondurre le tracce di lavorazione a bocciarda che intaccano la superficie della pietra in buona parte di questa zona (cfr. capitolo "Le tecniche di lavorazione").

2 - Per non appesantire il testo con indicazioni di dettaglio, si raggruppano qui le indicazioni sui prodotti utilizzati per le diverse prove e le operazioni definitive su tutti i tasselli. Per il consolidamento:

Albaria "Microemulsione acrilica" (resina acrilica in emulsione) della MAC (prodotto non ancora in commercio);  
Primal WS24 E (resina acrilica in emulsione) della Rohm and Haas;  
Eurostac ACS 2001 (resina acril-siliconica in soluzione) della STAC;  
VP5035 (esteri dell'acido silicico ed alchilalcoxi silani) della Degussa (ChemSpec).

Metatin N5810/101 (tributilstagnonaftenato + ammonio quaternario) della ACIMA Chemical Industries, per i trattamenti debiotizzanti.

Per la pulitura delle superfici, miscelati in vario dosaggio e composizione:

Tween 20 (detergente non ionico polioossietilene sorbitano monolaurate) della UNIQEMA;  
Carbonato d'ammonio;  
EDTA 2 Na, Sale bisodico di acido etilendiaminotetracetico;  
EDTA 4 Na, Sale tetrasodico di acido etilendiaminotetracetico;  
Citrato di ammonio.

Come supportanti sono stati utilizzati, a seconda delle necessità:  
Technocell 200 (polpa di cellulosa) della Cellulose-Fulstoff-Fabrik;  
Sepiolite (argilla: silicato di magnesio idrato) del Miriam Studio;  
HDK (silice micronizzata) della Wacker.

Gli abrasivi per la microsabbatura sono: Calcio carbonato precipitato della TRADECO; Carbonato di Calcio sferoidale di Bresciani; Ossido di alluminio della Carborundum Universal Corindone.

Come protettivi sono stati provati:  
SMK 1311 (microemulsione siliconica in acqua) della Wacker;  
Rhoximat 224 (resina polimetilsilossanica in soluzione) della Rhone-Poulenc;  
VP5035 (esteri dell'acido silicico ed alchilalcoxi silani) della

*the text by Prof. Santamaria and Dr Miliani, three products were selected as being interesting and compatible.*

*Based on the results of some application tests conducted on the arches of Level 2, Rhoximat 224 was found to be the most suitable product in terms both of water repellancy and of respect for the tonality of the surfaces. It was applied in differentiated doses depending on the exposure.*

*1 The definition of the current grade and the arrangement of the basin are mainly due to the work of Gherardesca. The traces of bush-hammer work probably occurred at the same time, and are related to an attempt to remove encrustations and the yellow-brown color deriving from them. The tool marks are visible on a good part of this zone (see chapter on "Stoneworking Techniques").*

*2 - To avoid weighing the text down with details, we group here the indications on products used for the various tests and definitive operations in all the sectors. For consolidation:  
Albaria "Acrylic Microemulsion" (acrylic resin in emulsion) produced by MAC (product not yet on the market);  
Primal WS24 E (acrylic resin in emulsion) produced by Rohm and Haas;  
Eurostac ACS 2001 (acrylosilicone resin in solution) produced by STAC;  
VP5035 (esters of silicic acid and alkyl alkoxy silanes) produced by Degussa (ChemSpec).*

*Metatin N5810/101 (tributylstagnonaphthenate + quaternary ammonium) produced by ACIMA Chemical Industries, for biocide treatments.*

*For surface cleaning, mixed in various dosages and compositions:  
Tween 20 (non-ionic detergent polyoxyethylene sorbitane monolaurate) produced by UNIQEMA;  
Ammonium carbonate;  
EDTA 2 Na, Bisodium salt of ethylenediaminetetracetic acid;  
EDTA 4 Na, Tetrasodium salt of ethylenediaminetetracetic acid;  
Ammonium citrate.*

*Depending on the need, the following were used as supports:  
Technocell 200 (cellulose pulp) produced by Cellulose-Fulstoff-Fabrik;  
Sepiolite (clay: hydrated magnesium silicate) produced by Miriam Studio;  
HDK (micronized silica) produced by Wacker.*

*The abrasives for micro-sandblasting are: Precipitated calcium carbonate produced by TRADECO; Spheroid calcium carbonate produced by Bresciani; Aluminum oxide produced by Carborundum Universal Corindone.*

*The protective coatings tested were:  
SMK 1311 (silicone microemulsion in water) produced by Wacker;  
Rhoximat 224 (polymethylsiloxane resin in solution) produced by Rhone-Poulenc;  
VP5035 (esters of silicic acid and alkyl alkoxy silanes) produced by*

ChemSpec.

3 È stata utilizzata una pistola da verniciatura attivata a una atmosfera di pressione in uscita. Il lavaggio di 6 mq. è stato eseguito con lt.1,5 di acqua, con il notevole vantaggio di non doversi preoccupare della raccolta delle acque di scolo.

4 Cfr. il capitolo "I materiali lapidei della Torre".

5 La pulitura è riuscita in buona parte perché le scritte sono state eseguite su strati di deposito piuttosto spessi e compatti. Una volta riaperto il monumento al pubblico e con le superfici pulite, il problema si riproporrà con modalità differenti e sarà indispensabile sia controllare le azioni dei visitatori sia individuare le necessarie protezioni.

6 Le deturpazioni causate dall'inserimento di elementi di vario genere non è un fenomeno localizzato, ma riguarda un po' tutte le superfici esterne e le pareti del tamburo interno; in buona parte è da correlare alle attività di misurazione e controllo in relazione ai problemi della pendenza.

7 Sul capitello 8 del 2° Ordine, dopo il consolidamento per immersione, è stata eseguita una prova di pulitura con strumentazione laser. Con questo strumento [EL.EN. Laser EOS Nd:YAG ( $\lambda=1064$  nm, Energia massima 500 mJ)] sono stati rimossi i depositi e le incrostazioni sulla faccia esterna del capitello.

8 Questo sistema consiste in un impianto complesso che fornisce acqua miscelata ad aria, nebulizzata da appositi dosatori. Gli ugelli, in genere posizionati perpendicolarmente alla superficie ad una distanza media di 40 cm., forniscono microparticelle di acqua che colpiscono la superficie da trattare solo per ricaduta. La pulitura quindi non avviene per azione meccanica ma per azione chimico-fisica, attraverso la formazione di una nebbia con gocce di dimensioni infinitesime, dotata di una capacità di solubilizzazione degli strati di deposito molto più elevata rispetto alla forma liquida normale.

9 Le malte adottate per stuccatura e microstuccatura sono impasti a base di calce idrata stagionata (Grassello di calce Sinopia), polveri di marmo e sabbie di diversa colorazione e granulometria. Per la stuccatura delle giunzioni e delle lesioni del pavimento del loggiato si è invece preferito ricorrere ad un cemento desalinizzato (C30 della Tecnoedile Toscana) addizionato ad una resina acrilica in emulsione ad alto peso molecolare (Chembond 006) diluita al 5% in acqua; si voleva infatti ottenere uno strato più resistente all'azione di calpestio di una malta tradizionale a base di calce idraulica.

ChemSpec.

*3 A paint spray gun was used, activated at one atmosphere of exit pressure. The washing of 6 m<sup>2</sup> was accomplished with 1.5 lt of water with the notable advantage of not having to worry about water run*

*3 See chapter on "The Stone on the Tower."*

*5 The cleaning was successful in good part because the writing was done on rather thick and compact layers of deposits. Once the monument with its cleaned surfaces is again open to the public, the problem will again arise under different circumstances, and it will vital both to control the actions of visitors and to define necessary protection.*

*6 The disfigurement caused by the insertion of elements of various kinds is not a localized phenomenon, but somewhat affects all the external surfaces and the walls of the inner drum; it can generally correlated to activities of measurement and control in relation to problems of the leaning.*

*7 A test of laser cleaning was conducted on capital 8 of Level 2, after consolidation by immersion. With this tool [EL.EN. Laser EOS Nd:YAG ( $\lambda=1064$  nm, maximum energy 500 mJ)] the deposits and encrustations on the outer face of the capital were removed.*

*8 This system consists of a complex plant that supplies water mixed with air, nebulized by specific means. The spouts, generally positioned perpendicular to the surface at an average distance of 40 cm, supply microparticles of water that strike the surface being cleaned only as they fall. Thus the cleaning does not occur through mechanical action but by chemico-physical action, through the formation of a fog with infinitesimal drops. This system has a much greater capacity to dissolve layers of deposits than the normal liquid form.*

*9 The mortars used for fills and micro-fills are mixes of seasoned slaked lime (Sinopia slaked lime), marble dust and sand of various colors and grain sizes. For filling joints and cracks in the pavement of the gallery, we preferred to use a desalinated cement (C30 produced by Tecnoedile Toscana) mixed with an acrylic resin in emulsion with high molecular weight (Chembond 006), diluted 5% in water. This was to obtain a layer that would be more resistant to foot traffic than the traditional hydraulic lime mortar.*



Sandro Bonannini, Sabina Vedovello

La realizzazione del Programma "Akira GIS server" e del rilevamento delle forme di alterazione sui materiali costitutivi della Torre necessitava la predisposizione di prodotti grafici espressamente strutturati, funzionali sia all'elaborazione informatica del sistema di gestione che ai sistemi tradizionali di trascrizione dei dati previsti per le operazioni di mappatura.

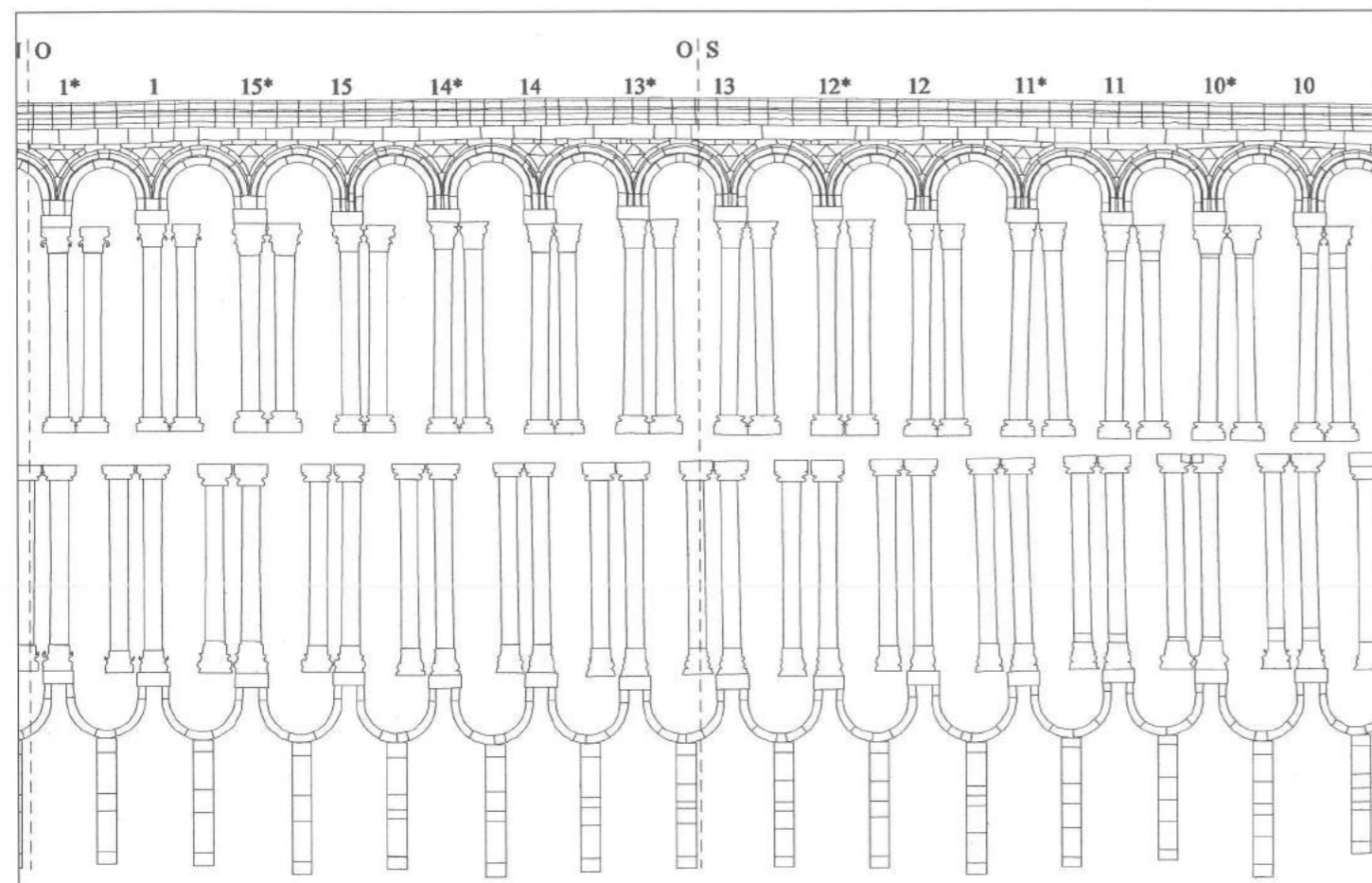
I materiali del rilievo fotogrammetrico<sup>1</sup>, già in formato vettoriale, si riferivano alle superfici proiettate dei piani di calpestio, dei paramenti esterni del tamburo e dei loggiati. Per consentire la realizzazione del progettato sistema di calcolo, si è dovuto procedere allo sviluppo di quelle superfici proiettate le cui misure erano ricostruibili attraverso gli altri dati del rilievo fotogrammetrico, soprattutto le sezioni. Sono stati così riportati sul piano:

- i piani inclinati e lo spessore della cornice più esterna

*The realization of the 'Akira GIS server' Program and the survey of the forms of alteration on the constituent materials of the Tower called for the predisposition of graphic products, expressly structured and usable both for computer processing by the management system and for traditional transcription of the data involved in the mapping.*

*The materials of the photogrammetric survey<sup>1</sup>, already in vector form, referred to the projected surfaces of the walkways, external walls of the drum and the galleries. To increase the reliability of the planned calculation system, it was necessary to develop those projected surfaces whose measurements could be reconstructed through other data available from the photogrammetric survey, especially the sections. Thus the following were carried over to the plan:*

*- leaning floors and the thickness of the farthest out*



Lo sviluppo dei loggiati come base grafica per la mappatura

*Development of the galleries, as a base map for mapping.*

dei piani di calpestio dei loggiati;  
 - i cornicioni modanati dei prospetti esterni della Torre;  
 - i capitelli, i fusti e le basi delle colonne, aperti in quattro quarti per riprodurre le superfici del fronte esterno, del retro e dei due fronti laterali;  
 - i sottarchi di collegamento tra una colonna e l'altra dei loggiati;  
 - le cornici delle geometrie del 1° Ordine;  
 - i tre fronti dei capitelli e delle colonne addossate nel 1° Ordine;

Si sono poi dovute creare, basandosi sulle misure esistenti, una tavola prototipo per le mensole, esplose in tutte le loro superfici, e una per le volte dei loggiati, per le quali è stata mantenuta la superficie proiettata. Le superfici proiettate sono state mantenute anche per le nicchie e la cornice ad ovuli sulla sommità dell'8° Ordine, per le cornici modanate degli archetti sui prospetti esterni, per gli archi addossati nel 1° Ordine e per il portale di ingresso.

Per le pareti, i soffitti, i gradini della scala interna, gli strombi delle finestre e delle porte ai diversi livelli, le arcate del 7° e 8° Ordine è stata affrontata l'integrazione del rilievo architettonico, eseguito con metodi di rilevamento tradizionali.<sup>2</sup>

#### La Base Grafica

La restituzione del rilievo come base grafica, cioè le diverse tavole tra cui dividere gli elementi architettonici per facilitarne l'osservazione e rendere completo il rilevamento, ha visto uno studio attento dei raggruppamenti e dei riferimenti alfanumerici, necessari per un corretto orientamento rispetto all'intera struttura e per una esatta interrelazione tra le diverse parti architettoniche rappresentate separatamente sul piano. Una volta ottenuti i grafici di lavoro si è proceduto ad una verifica puntuale delle partizioni dei conci, in modo da individuare con esattezza gli elementi conclusi di base all'interno dei quali posizionare la graficizzazione delle forme di alterazione; lavoro indispensabile anche per consentire, in fase di progetto, il calcolo delle diverse superfici dei litotipi e dei danni, nonché delle percentuali di incidenza sul totale. Sono state inoltre "personalizzate" le tavole prototipo dei piani delle mensole, controllando la loro reale conformazione nei diversi loggiati, dal 2° Ordine al 7° Ordine.

#### Il Rivelamento dei Dati

I restauratori hanno lavorato su supporti cartacei, trascrivendo con colori diversi le forme di alterazione identificate come necessarie a raffigurare lo stato di

*cornice of the gallery walkways;*  
*- the molded cornices of the external perspectives of the Tower;*  
*- the capitals and column shafts, opened into four quarters to reproduce the surfaces of the external face, back and the two lateral faces;*  
*- the underside of arches connecting one column to another in the galleries;*  
*- the frames of the geometry on Level 1;*  
*- the three faces of the embedded capitals and columns of Level 1.*

*It was then necessary to create, based on existing measurements, a prototype drawing for the beams, with all surfaces showing, and another for the vaults of the galleries, for which the projected surfaces were maintained. The projected surfaces were also maintained for the niches and the egg-and-dart cornice at the top of Level 8, for the molded cornices of the arches on the external faces, the blind arches of Level 1 and for the entryway.*

*For the walls, ceilings, steps of the inner staircase, window and door embrasures on the various levels, and the arcades of Levels 7 and 8, the architectural relief was completed using traditional survey methods.<sup>2</sup>*

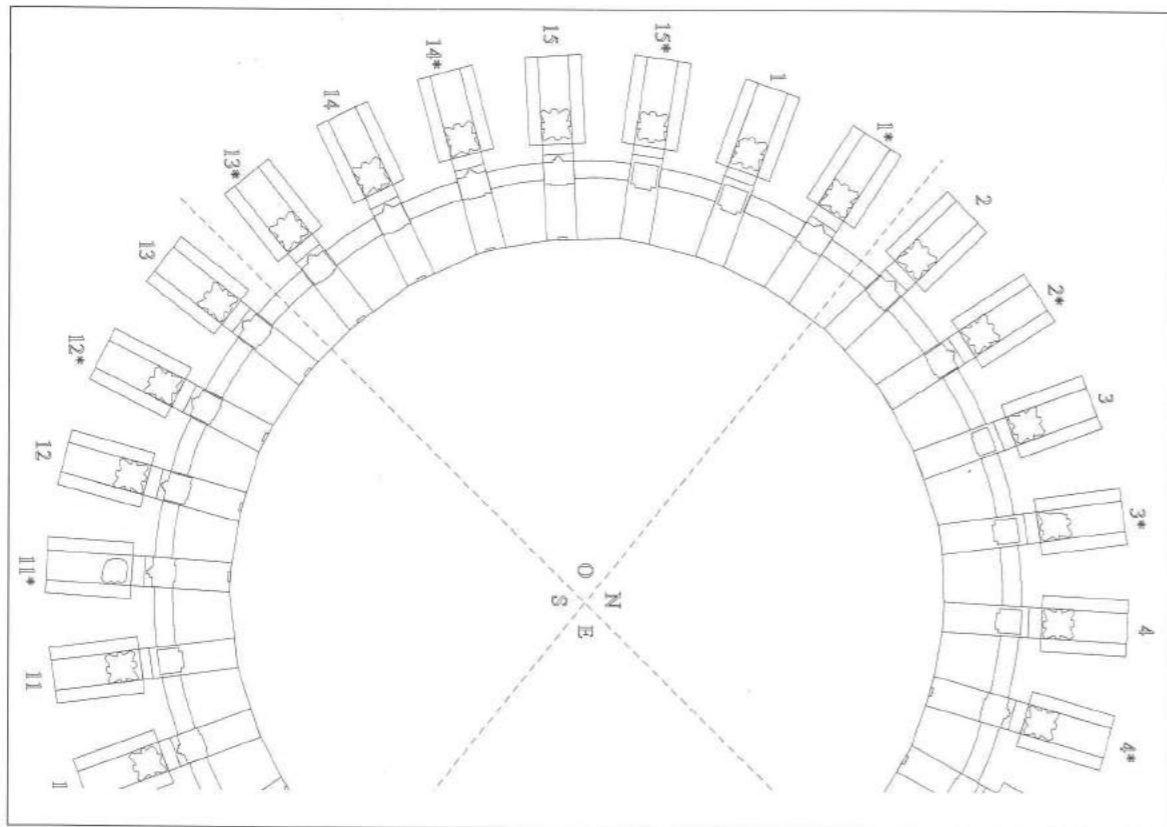
#### The Base Map

*The restitution of the survey as a base map, i.e. the various drawings dividing the architectural elements so as to facilitate observation and fill out the survey, involved a careful study of the groupings and alphanumerical references, necessary for proper orientation with respect to the entire structure and for an exact interrelation between the various architectural elements represented separately on the plan. Once the working drawings were obtained, we proceeded to a spot check of the block divisions, so as to identify precisely the delimiting elements within which to position the symbols depicting forms of alteration. This was also indispensable to permit, in the planning phase, a calculation of the various surfaces of the stones and the damage, as well as the percentages of occurrence related to the total. Moreover, the prototype drawings of the face of the beams were 'personalized', checking their real configuration in the various galleries, from Level 2 to Level 7.*

#### Data Collection

*The conservators worked directly on paper forms, transcribing with different colors the forms of alteration as needed to depict the state of conservation of the areas*





Sviluppo in piano delle mensole di un loggiato come base grafica della mappatura.

Plane development of the beams of a gallery, as a base map for mapping.

conservazione delle zone considerate. Le scale di restituzione giudicate funzionali sono state 1:15 per le zone più complesse o con dettagli costruttivi o decorativi minuti (colonne, mensole, geometrie) e 1:30 per gli elementi più semplici e piani.

Si è proceduto sia percorrendo i normali accessi della Torre, sia utilizzando un braccio elevatore per il controllo dell'esterno e delle parti alte dei loggiati (capitelli, mensole, archetti, volte).

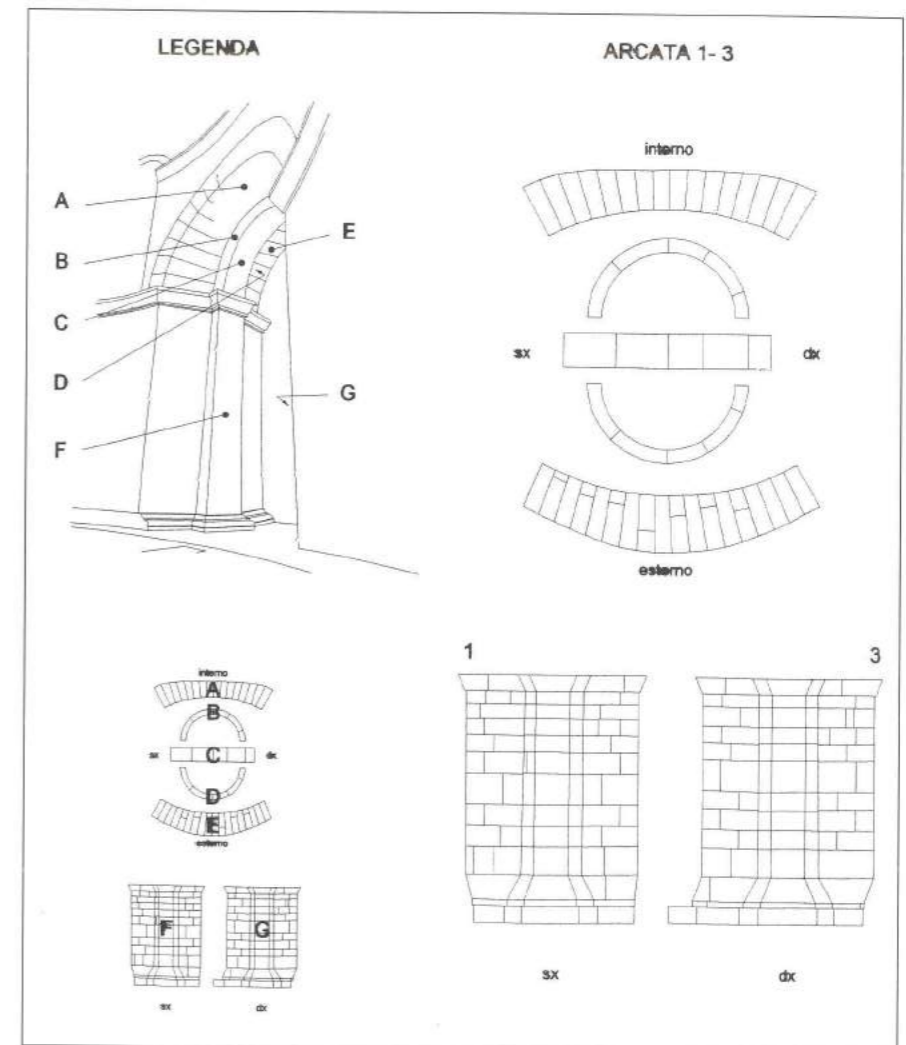
Per la documentazione grafica degli interventi del saggio di progetto si è invece preferito lavorare in Scala 1:20.

Per il rilevamento delle forme di alterazione individuate per la mappatura analitica sono stati predisposti i grafici in scala 1:15 di quattro strisce, verticali sui diversi orientamenti e complete di tutte le parti architettoniche. Esse corrispondono per il Nord all'intervallo tra le colonne 3\*-4 comprese; per l'Ovest alle colonne 1-15\*; per il Sud alle colonne 11-11\* e per l'Est alle colonne 7-7\*. Le strisce comprendono anche l'8° Ordine, sia all'esterno che nell'interno, con la prosecuzione geografica delle fasce individuate sul resto della Torre.

*under study. The scales of restitution considered useful were 1:15 for the more complex areas or those with small construction or decorative details (columns, beams, geometry), and 1:30 for the simpler, flat elements. The work was carried out either by using the normal accesses to the Tower or by using a mobile crane (cherry picker) to study the exterior and the upper parts of the galleries (capitals, beams, arches, vaults). For the graphic documentation of the preliminary project phase, we preferred to work at a scale of 1:20.*

*To survey the forms of alteration identified in the detailed mapping, drawings were prepared at a scale of 1:15 of four vertical bands on different exposures, complete with all the architectural parts. They correspond on the North to the interval between columns 3\*-4 inclusive; on the West to columns 1-15\*; on the South to columns 11-11\* and on the East to columns 7-7\*. The bands also include Level 8, both inside and out, with the geographic continuation of the bands identified on the rest of the Tower.*

*For the general mapping, base drawings at a 1:30 scale*



Scomposizione e sviluppo in piano delle complesse geometrie dell'8° Ordine.

Decomposition and plane development of the complex geometry of Level 8.

Per il rilevamento dei dati di mappatura sintetica sono state utilizzate delle basi grafiche in scala 1:30, e per ogni zona della Torre sono state realizzate in genere tre tavole.

Non sono stati mappati il paramento del 1° Ordine tra la colonna 2 e la colonna 6, coperto dai pesi in piombo, e la gradinata di base, sempre del 1° Ordine, inglobata nel cordolo in cemento. Inoltre non è stata eseguita la mappatura sintetica nelle zone già mappate analiticamente: il completamento grafico delle tavole della mappatura sintetica è avvenuto all'interno del programma informatico, unificando quelle forme di alterazione di cui si era previsto l'accorpamento in fase di definizione della legenda.

Il materiale cartaceo è stato acquisito utilizzando uno scanner AO poiché, vista la grandezza delle tavole, si è preferito ottenere direttamente un unico documento

*were used, and for every zone of the Tower, three drawings were made in general.*

*The wall of Level 1 was not mapped between columns 2 and 6, as it was covered by the lead weights, nor was the base flight of stairs, again at Level 1, which was encircled by cement. Moreover the general mapping was not carried out in zones already mapped in greater detail: the graphic completion of the general mapping drawing took place in the computer program, unifying the forms of alteration which had been clustered when the legend was being defined.*

*The material on paper was scanned with an A0 scanner because, given the large size of the drawings, it was deemed preferable to obtain a single digital document rather than a mosaic of several documents obtained through multiple scanning. Once the material was scanned in, it was put into vector form with appropriate*



digitale piuttosto che operare il montaggio di più documenti ottenuti da scansioni multiple. Una volta acquisito il materiale si è provveduto alla sua vettorializzazione tramite un software CAD appropriato (MICROSTATION 95 e/o SE).<sup>3</sup>

#### La Trascrizione dei Dati

La cadenza e la successione degli studi propedeutici al cantiere di progetto hanno comportato la necessità di continuare, nello sviluppo delle fasi di rilevamento, con una trascrizione diretta dei dati su carta, una successiva acquisizione via scanner degli elaborati e una trascrizione vettoriale con l'inserimento definitivo nel programma Leaning Tower.

E' stata quindi l'occasione per verificare sul campo l'interazione tra il sistema di rilievo diretto e la sua trasposizione in formato digitale, e soprattutto con quale trasmissione di errore. La necessità di rilevare il degrado da un punto di vista visivo e non metrico porta, già di per sé, ad un'interpretazione del dato da rilevare. La trasposizione su carta, l'acquisizione diretta e soprattutto la vettorializzazione del grafico impongono poi l'utilizzo di una seconda manualità e di conseguenza un certo grado di approssimazione, che è stato ridotto dalla costante collaborazione tra gli operatori coinvolti. Il ricorso allo strumento informatico anche come strumento grafico di restituzione comporta alcune differenze rispetto ai rilievi tradizionali dello stato di conservazione. Innanzi tutto scardina l'organizzazione rigida in tavole tematiche predefinite, svincolando la stampa dalla necessità di rappresentare in modo fisso gli stessi raggruppamenti di dati: le tavole grafiche possono ogni volta essere espressamente organizzate su temi, aree, accorpamenti, riscontri e verifiche legate a specifiche necessità conoscitive o a problemi diversi. Ma questo comporta una difficoltà ulteriore nella scelta delle campiture grafiche di rappresentazione dei dati: le possibilità di sovrapposizione e di confronto possono essere tutte quelle consentite dai layer disponibili, e pertanto ogni campitura o segno va confrontato con l'intera gamma predisposta.

Nel formato digitale sono state così create apposite convenzioni grafiche che riservano un'identificativo univoco ad ognuna delle voci delle varie legende, ricorrendo sia ai segni in bianco e nero che al colore, e utilizzando in parte quanto prodotto ad oggi nei documenti della Commissione NorMaL.

Un altro problema, al momento in fase di studio, è la possibilità di trovare un sistema di rappresentazione di sintesi dei dati su una visione d'insieme della Torre. Il

CAD software (MICROSTATION 95 and/or SE).<sup>3</sup>

#### Data Transcription

*The rhythm and succession of the preliminary studies for the project worksite involved having to continue, in developing the survey phases, with direct transcription of data onto paper, followed by scanning of the drawings and a vector transcription with definitive insertion into the Leaning Tower program.*

*This process provided the occasion to verify the interaction between the system of direct survey and its transformation into digital format, especially with regard to the transmission of errors. By itself, the need to highlight the decay from a visual and not metric point of view, already involves interpretation of the data by the operator. Transcription onto paper, direct acquisition and especially vectorization of the drawing then require a second manual skill and thus a certain degree of approximation, which was reduced by constant collaboration among those involved.*

*In comparison to traditional surveys, the use of the computer as a graphic restitution tool involves some differences. Notably, it opens up the rigid organization by thematic plates, and printouts no longer have to represent the same groups of data in a fixed way: each time, the drawings can be deliberately organized by theme, area, clusters, comparisons and verifications linked to specific things one wants to know or to different problems. But this feature involves a further difficulty in the choice of patterns to represent data: the options for superimposition and comparison are as many as there are available layers, so each fill or pattern must be compared with the entire range selected.*

*In the digital format, therefore, special graphic conventions were created, reserving a unique identifier to each of the headings of the various legends. Patterns in both black and white and color were used, as well as some of the indications produced to date in the Documents of the NorMaL Committee.*

*Another problem, now under study, is the possibility of finding a system to summarize the data over a view of the whole Tower. In fact, the system of articulation of the blown-up surfaces does not permit them to be "remounted" as one Level over the other, and it is equally difficult to relate the internal staircase to the external surfaces and levels. Among other things, it would be very important to be able to visualize the progression of deterioration and some environmental data on the surface and on the full architectural shapes.*

*The solution to these problems could be included in the*

sistema di articolazione delle superfici sviluppate non consente infatti il loro "rimontaggio" un Ordine sull'altro, e altrettanto difficile è riportare la scala interna alle superfici e ai livelli esterni. Peraltro sarebbe molto importante poter visualizzare gli andamenti del degrado e alcuni dati ambientali sulla superficie e sulle forme architettoniche intere.

La soluzione di questi problemi potrà essere inserita nel progetto generale di intervento, insieme alle indicazioni sulle modalità di controllo della mappatura esistente sullo stato di conservazione, sulla tipologia della documentazione delle operazioni di restauro che si affronteranno e sul rapporto costante con il programma di gestione dei dati.<sup>4</sup>

1 Il rilievo architettonico della Torre e della piazza è stato eseguito da IGN, France, e da Alisud, Firenze.

2 Il rilievo qui descritto è stato eseguito da Sandro Bonannini, Ezio Virgili e Gianluca La Rocca tra marzo e luglio del 1999.

3 La tecnica si è rivelata buona soprattutto per l'esatto compromesso raggiunto tra gestione e creazione dei documenti digitali (acquisizione in formato Tiff non compresso a 300 dpi senza antialiasing), il metodo di vettorializzazione (vettori su pixel più scuri alle maggiori distanze possibili, creazione di superfici chiuse, approssimazione delle curve in poligoni) e le verifiche metriche.

4 Per un aggiornamento sui problemi della rappresentazione e della documentazione grafica si rimanda a W. Schmid (a cura) *GraDoc*, Seminario del 16-20 novembre 1999, ICCROM, Roma, 2000, e a G. Buzzanca, F. Capanna, *La documentazione grafica assistita da elaboratori: uno strumento per il restauro*, in *Bollettino I.C.R., N.S. n.1*, 2000 (in corso di pubblicazione).

*general treatment project, together with indications on methods to control the existing mapping on the state of conservation, on the typology of the documentation of the conservation operations that one encounters, and the constant relationship with the data management program.*<sup>4</sup>

1 *The architectural survey of the Tower and the square was conducted by the National Geographic Institute (IGN) and Alisud.*

2 *The survey described here was performed by Sandro Bonannini, Ezio Virgili and Gianluca La Rocca between March and July 1999.*

3 *The technique was found to be good especially for the exact compromise reached between management and creation of the digital documents (acquisition in uncompressed Tiff format at 300 dpi without anti-aliasing), the method of vectorization (vectors on darker pixels at the greatest distance possible, creation of closed surfaces, approximation of curves in polygons) and the metric verifications.*

4 *For an updated discussion of graphic representation and documentation, see W. Schmid ed. GraDoc, Research Seminar, Rome 16-20 November 1999, ICCROM, Rome, 2000, and G. Buzzanca, F. Capanna, La documentazione grafica assistita da elaboratori: uno strumento per il restauro, in Bollettino I.C.R., N.S. n.1, 2000 (in press).*