



Ministero
dei beni e delle
attività culturali
e del turismo

Segretariato regionale
dei beni e delle attività
culturali e del turismo
per la Toscana

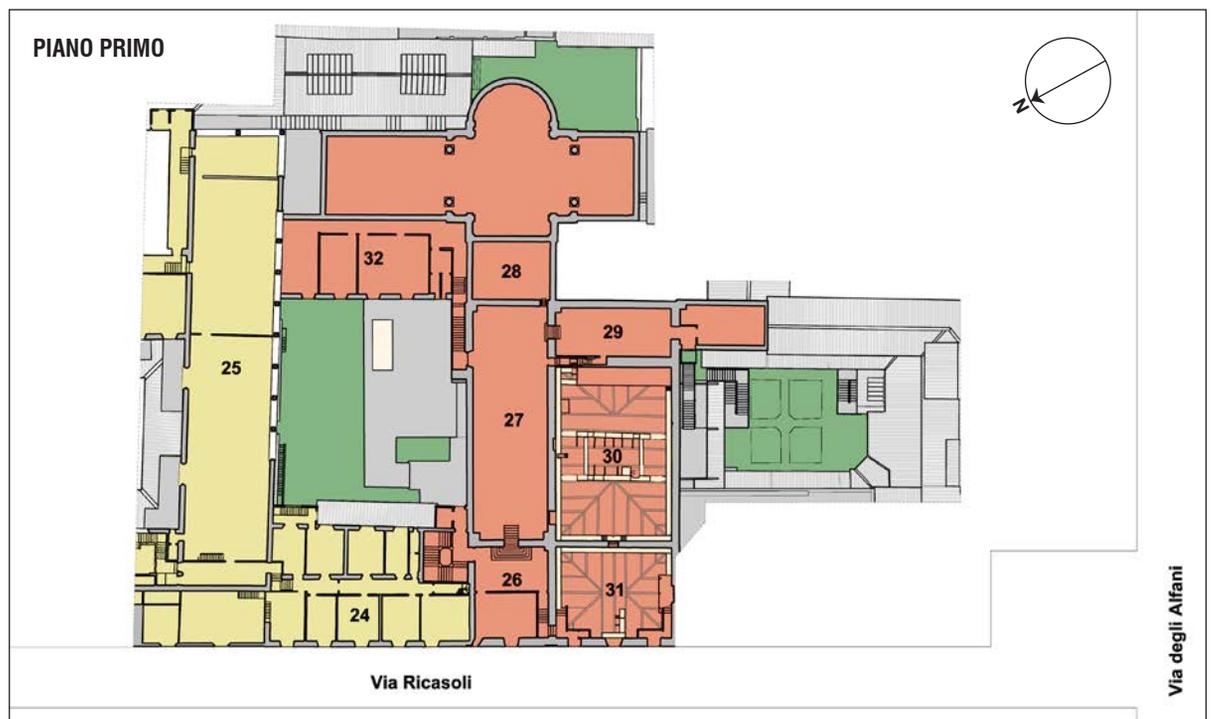
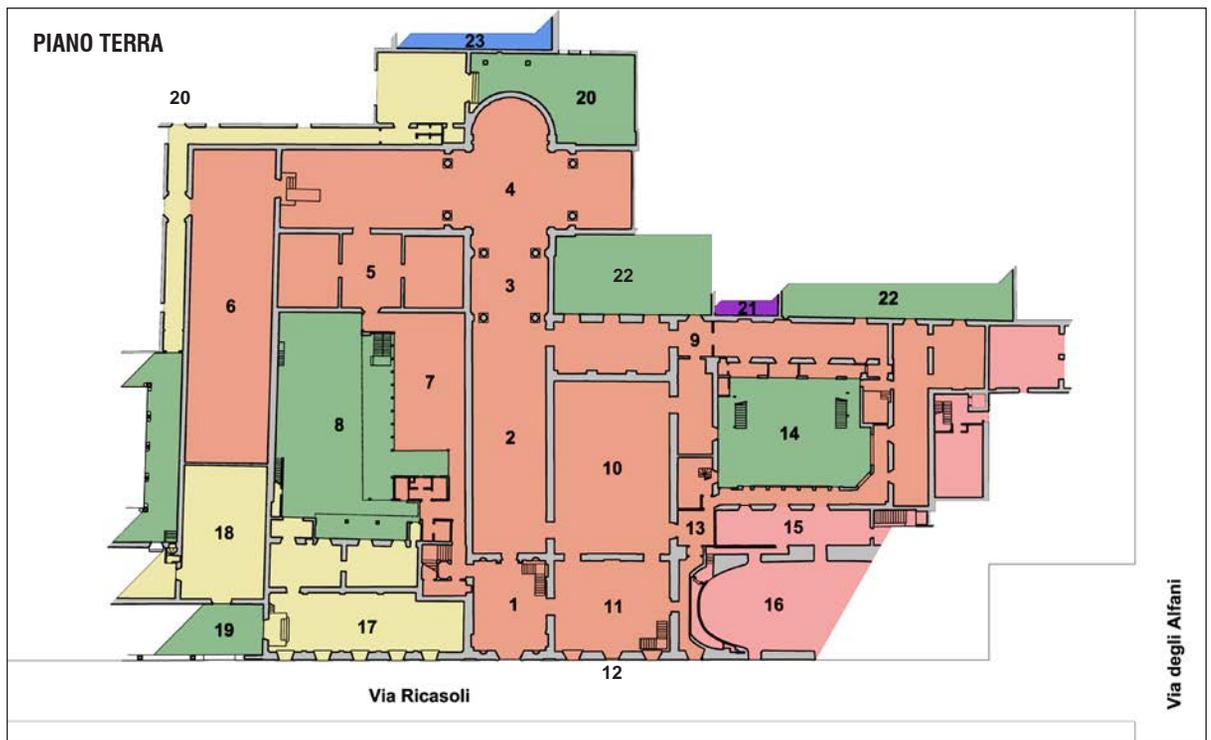
LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO NEL COMPLESSO DELLA GALLERIA DELL'ACCADEMIA DI FIRENZE

THE EVALUATION OF SEISMIC RISK
IN THE COMPLEX OF THE
GALLERIA DELL'ACCADEMIA
OF FLORENCE

a cura di / edited by

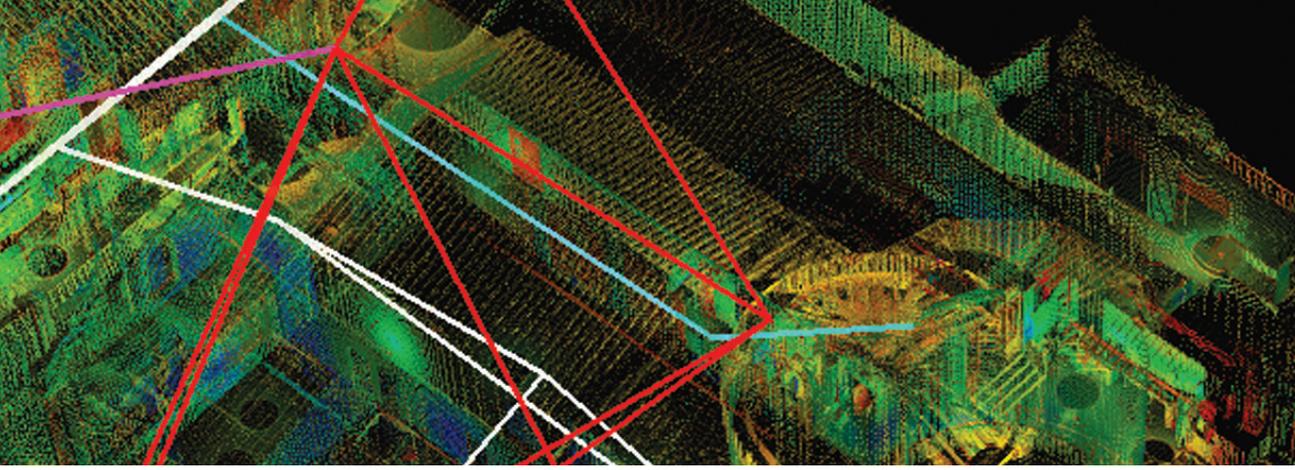
Giuseppe Giorgianni

Altralinea
EDIZIONI



COMPLESSO DELLA GALLERIA DELL'ACCADEMIA DI FIRENZE

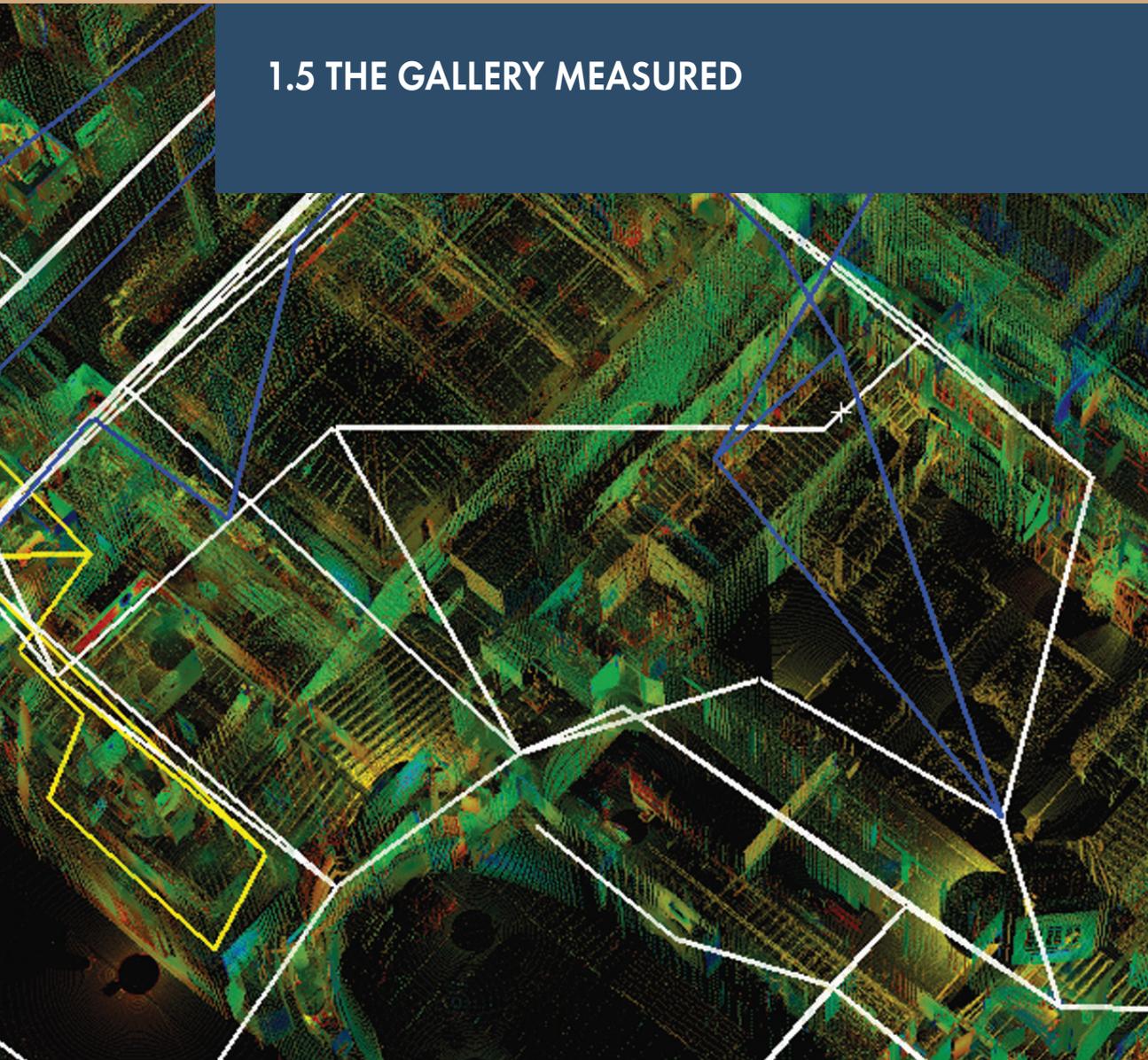
- | | | |
|--|---|---|
| 1 Vestibolo del David, Sala d'ingresso | 12 Ingresso attuale | 25 Aule di Scenografia dell'Accademia di Belle Arti |
| 2 Galleria o Sala dei Prigioni | 13 Museo degli Strumenti Musicali | 26 Vestibolo delle Sale del Trecento, ex Galleria Moderna |
| 3 Crociera della Tribuna del David | 14 Giardino delle Rose | 27 1ª Sala del Trecento o Sala dei Trittici, ex Galleria Moderna |
| 4 Tribuna del David | 15 Conservatorio musicale Luigi Cherubini | 28 Sottotetto della crociera della Tribuna del David |
| 5 Sale Bizantine o Sale Espositive | 16 Sala concerti | 29 IIª Sala del Trecento o Sala dei Trittici, ex Galleria Moderna |
| 6 Gipsoteca, Sala dei Gessi, Sala dell'Ottocento, Sala Bartolini | 17 Biblioteca dell'Accademia di Belle Arti | 30 Sottotetto della Sala del Colosso |
| 7 Bookshop | 18 Sala Ghiberti, Aula di Disegno | 31 Sottotetto del Vestibolo della Sala del Colosso |
| 8 Cortile della Galleria dell'Accademia | 19 Loggiato dell'Accademia di Belle Arti | 32 Uffici sopra le Sale Bizantine |
| 9 Sale mostre temporanee o Sale Fiorentine | 20 Giardino dell'Accademia di Belle Arti | |
| 10 Sala del Colosso | 21 Laboratorio dell'Opificio delle Pietre Dure | |
| 11 Vestibolo della Sala del Colosso, Biglietteria | 22 Cortile dell'Opificio delle Pietre Dure | |
| | 23 Limonaia di palazzo privato | |
| | 24 Ala dell'"Appartamento Fattori" nell'Accademia di Belle Arti | |



1.5 LA GALLERIA MISURATA

Grazia Tucci, Valentina Bonora, Alessandro Conti, Lidia Fiorini

1.5 THE GALLERY MEASURED



Introduzione

L'attuale disponibilità di strumenti che consentono di raccogliere e gestire grandi moli di informazioni, anche di tipo spaziale, evidenzia che un rilievo non è la mera rappresentazione del manufatto, ma un archivio di dati correlabili reciprocamente e strutturati secondo convenzioni omogenee. Di ciò erano già consapevoli gli artefici del Rinascimento che dagli avanzi antichi intendevano ricavare, misurandoli, verifiche “fattuali” del testo di Vitruvio. Da allora, il rilievo è stato considerato il mezzo più incisivo di conoscenza del costruito, assegnandogli così un ruolo centrale per la formazione dell'architetto.

Nell'era dell'informazione digitale, in cui ogni disciplina si avvale di dati georiferibili per redigere mappe tematiche di vario genere, si avverte sempre più la mancanza di una documentazione grafica aggiornata ed esaustiva dei grandi complessi monumentali, che sia riferimento univoco e supporto comune di tutti gli studi.

Come sappiamo, l'odierna cultura della conservazione sostiene la necessità che al restauro *una tantum* subentri una prassi di manutenzione continua. Tuttavia, per gli oneri che comporta l'approntamento di programmi di conservazione basati su un esauriente, aggiornato quadro conoscitivo dei beni e la difficoltà quindi di disporre delle risorse necessarie, continuano a prevalere restauri occasionali. Così, sebbene la disponibilità di un rilievo accurato e attendibile sia l'ovvio presupposto di ogni seria proposta d'intervento, si tende a dilazionarne il progetto e l'effettuazione, ambedue impegnativi, fino a che non risultano indispensabili, dando loro corso solo in concomitanza di qualche importante trasformazione edilizia o di un'opera di restauro. Perciò il rilievo, anziché mirare a una raccolta esaustiva di dati, si limita a documentare solo quelli strettamente utili alla conduzione dei lavori previsti.

Anche la documentazione iconografica pregressa relativa al complesso della Galleria non si discosta da quanto osservato. Sin dai grafici più antichi si possono distinguere disegni che mostrano la consistenza complessiva e le destinazioni d'uso degli ambienti ed elaborati più puntuali riguardanti progetti di trasformazione. Le diverse finalità condizionano anche la stesura grafica: i primi sono spesso più schematici, in quanto volti a documentare l'assetto distributivo e l'uso dei locali, i secondi risultano più attenti alle caratteristiche dimensionali e di geometria (spessori murari, irregolarità planimetriche, ecc.), ma si limitano, di solito, alle sole porzioni direttamente interessate dai progetti. Non si disponeva dunque fino a oggi di un dettagliato rilievo d'insieme della Galleria. Appare quindi ancor più significativa la scelta della Direzione regionale MiBACT della Toscana, oggi Segretariato regionale, di redigere un nuovo rilievo dell'intero complesso, per creare finalmente una banca dati metrica tridimensionale, attendibile e completa.

Introduction

The current availability of instruments making it possible to collect and manage large volumes of spatial and other information shows that a survey is not the mere representation of the object, but an archive of data reciprocally correlated and structured in accordance with uniform conventions. This was already understood by the artificers of the Renaissance, who sought by measuring the remains of antiquity to factually verify the text of Vitruvius. Since then, the survey has been considered the most important means of knowledge of a building, so giving it a central role in the architect's training.

In the age of digital information, in which every discipline draws on georeferenceable data to draft thematic maps of various kinds, the lack is increasingly felt of an up-to-date and exhaustive graphic record of the great monuments to provide an unambiguous frame of reference and common support for all studies.

As is well known, today's culture of conservation maintains the need for one-off restoration projects to be replaced by the practice of continuous maintenance. But because of the difficulties involved in developing conservation programs based on a comprehensive, up-to-date framework of knowledge of cultural assets and therefore the problem of obtaining the necessary resources, occasional restoration continues to prevail. So, although the availability of an accurate and reliable survey is the obvious prerequisite for any reliable proposed intervention, there is a tendency to delay the design and execution of it, both challenging, until they become indispensable, performing them only together with some important building conversion or restoration work. Hence the survey, rather than aiming at an exhaustive collection of data, is limited to gathering the data strictly useful to documenting the performance of the proposed work.

The previous iconographic documentation of the Galleria complex also conforms to the above observations. Ever since the earliest graphic surveys, one can distinguish drawings that record its overall consistency and the uses of rooms and more precise drawings concerning projected alterations. The different purposes also affect the drafting of the graphics: the former are often more schematic, because they seek to document the distribution and the use of the premises; the latter are more attentive to the dimensions and geometry (thickness of masonry, irregularities in the plan, etc.), but limited, usually, only to the portions directly affected by the projects. As a result, to date a detailed survey of the whole of the Galleria is lacking. This heightens the significance of the decision of the former Regional Directorate MiBACT of Tuscany, now the Regional Secretariat, to conduct a new survey of the whole complex and, if possible, to create a three-dimensional metric database, reliable and complete.

Regulatory framework

The occasion for the new survey was offered by the experimental application of the *Guidelines for the assessment and mitigation of seismic risk of the Cultural Heritage*. The regulations envisage three «levels of knowledge» for risk, supported by the metric survey of the building in question as the indispensable precondition for its structural analysis and through which to «define the geometry of the model to be used in seismic analysis». The points used in conducting the methods of geometric survey (4.1.4) and monitoring (4.1.9) indicate, albeit not so strictly, that the analysis must make use of the innovative geomatic techniques.

Objectives

The complex of the Galleria dell' Accademia occupies several buildings, wholly or in part, and is the outcome of alterations over the centuries, with a variously articulated spatial and distributional organization, without every being ordered as a uniform project. The buildings in which the museum and service spaces have been established adjoin (and are sometimes shared with) other institutions (Accademia di Belle Arti, Opificio delle Pietre Dure, Luigi Cherubini Musical Conservatory) and a private palace.

To carry out a complete structural survey of a complex consisting of heterogeneous parts, it was essential to understand its morphology and overall extension, with an accurate analysis of the geometry of vertical and horizontal load-bearing elements, including in the survey the neighboring buildings that have partition walls and horizontal elements in common with the Galleria.

Quadro normativo

L'occasione per il nuovo rilievo è stata offerta dall'applicazione sperimentale delle *Linee Guida per la valutazione e la mitigazione del rischio sismico del Patrimonio Culturale*. La norma contempla tre «livelli di conoscenza del rischio», supportati dal rilievo metrico dell'edificio in esame quale presupposto irrinunciabile per l'analisi strutturale e mediante cui «definire la geometria del modello da usare nell'analisi sismica». I punti che esplicano le metodologie di rilievo geometrico (4.1.4) e di monitoraggio (4.1.9), indicano, seppur in modo non rigoroso, che l'analisi deve avvalersi di tecniche geomatiche innovative.

Obiettivi

Il complesso della Galleria dell'Accademia occupa per intero o in parte più edifici e presenta un'organizzazione spaziale e distributiva variamente articolata, frutto di trasformazioni avvenute nell'arco dei secoli senza fare capo a un progetto unitario. I corpi di fabbrica in cui hanno sede gli spazi museali e di servizio confinano (e talvolta rimangono condivisi) con altri Istituti (Accademia di Belle Arti, Opificio delle Pietre Dure, Conservatorio musicale Luigi Cherubini) e con un palazzo privato. Per il rilievo strutturale completo di un organismo composto di parti eterogenee era indispensabile conoscerne la morfologia e l'estensione complessiva, con l'analisi accurata della geometria di elementi portanti verticali e orizzontali, includendo nell'indagine i fabbricati contermini che hanno setti murari e orizzontamenti in comune con la Galleria.

Lo studio speditivo delle parti strutturali con le relative misure, è stato invece indirizzato, di concerto con la Direzione Regionale, dalla raccolta dei dati alla restituzione grafica, al più ambizioso obiettivo di un rilievo architettonico completo, documentando anche l'apparato decorativo, gli arredi fissi e ogni altro elemento trascurabile ai fini dell'analisi strutturale, ma non a quelli di una efficace gestione conservativa del bene.

D'altra parte, l'acquisizione di dati ad alta risoluzione di tutte le superfici ha consentito di registrare anche, in modo oggettivo, le deformazioni e il quadro fessurativo, raccogliendo varie informazioni importanti per descrivere compiutamente le strutture con il loro corredo.

Operazioni preliminari

Le modalità d'uso dei locali incidono notevolmente sull'organizzazione di un rilievo. Una struttura museale presenta molti vincoli, derivanti sia dal flusso di visitatori sia dalla necessità di non esporre al rischio di danni le opere d'arte. L'ampiezza dell'area, l'articolazione delle parti, la molteplicità degli Enti con cui accordarsi, l'esigenza di accedere a tutti i locali (anche quelli non aperti al pubblico), le ragioni di sicurezza sono fattori che limitano la libertà operativa, imponendo, fra l'altro, orari prestabiliti per l'accesso. Tutto ciò ha reso indispensabile una complessa pianificazione dei lavori con la Direzione regionale e la Galleria dell'Accademia. Sono stati individuati 260 vani, assegnando a ciascuno di essi un codice univoco per archiviare dati e metadati di tutte le fasi di lavoro.

Acquisizioni

L'integrazione di metodi topografici classici con scansioni tridimensionali permette di creare un archivio interrogabile di dati metrici 3D dal quale ricavare le informazioni necessarie alle successive elaborazioni. Di fondamentale importanza per un database di dati spaziali è la loro referenziazione univoca.

La prima fase di acquisizioni è stata quella topografica (fig.3). La progettazione della rete ha tenuto conto dei vincoli imposti dalla geometria del complesso nonché delle condizioni richieste per una configurazione ottimale. La rete comprende più di 100 vertici, con distribuzione tale da garantire un buon livello di rigidità, ognuno dei quali materializzato in modo stabile con sistemi non invasivi e monografato accuratamente (figg.1-2). Si è definita una sequenza gerarchica distinguendo una

FIGG.1-2 Sala dei Prigioni, la rete. Materializzazione permanente e monografia di uno dei 110 vertici di stazione (vertice 007) effettuata all'esterno con chiodi topografici, mentre all'interno con perni d'ottone (Ø 3mm) a raso pavimento

Sala dei Prigioni, the network. Permanent materialization and monograph of one of 110 station vertices (vertex 007) placed on the exterior with survey nails, while inside brass markers (diam. 3mm) are used set flush with the floor

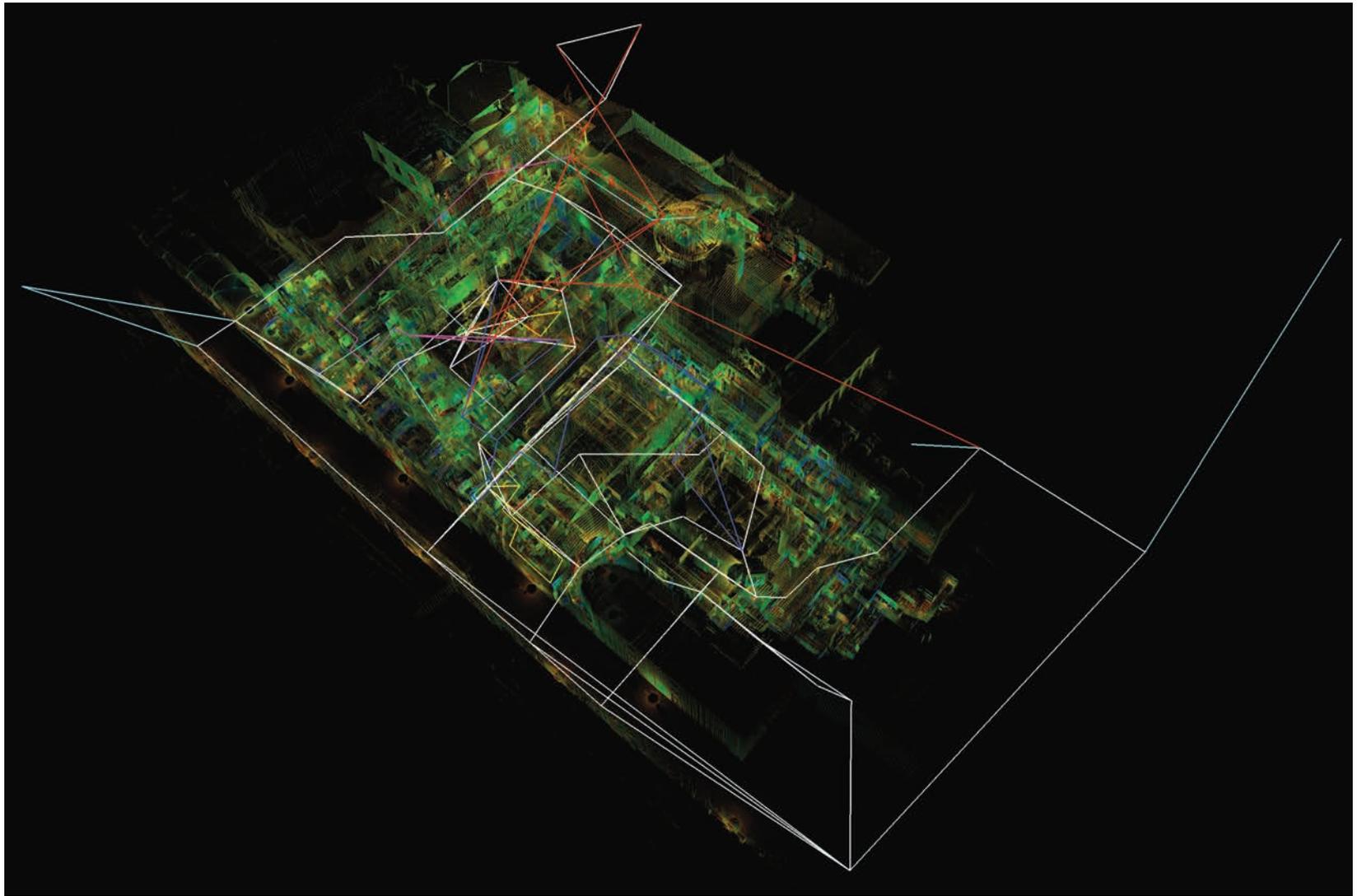


The rapid study of the structural parts with their measurements, from the collection of the data to a graphic rendering, was instead aimed, in consultation with the former Regional Directorate, at the more ambitious goal of a comprehensive architectural survey, including documentation of the decorations, fixed furnishings and any other item negligible in the terms of a structural analysis, but not those of effective conservative management of the asset.

On the other hand, the acquisition of high-resolution data of all surfaces also made it possible to record the deformations and patterns of fissuring objectively, collecting a wide range of important information in order to fully describe the structures with their contents.

Preliminary operations

The methods of use of the premises have a significant impact on the organization of a survey. A museum has many constraints, arising both from the stream of visitors and the need not to expose artworks to the risk of damage. The extent of the area, the articulation of the parts, the multiplicity of institutions whose agreement had to be sought, the need for access to all the rooms (including those not open to the public), and security reasons were factors that limited the operational freedom, requiring, among much else, fixed times for access. This entailed



Nella pagina a fianco / *Opposite page*

FIG.3 Giardino delle Rose. La rete topografica è stata studiata in modo da ottenere un buon livello di rigidità nonostante i vincoli imposti dall'articolazione spaziale del complesso. La ridondanza dei collegamenti tra i vertici ha consentito di verificare l'accuratezza metrica della poligonale

FIG.4 La rete sovrapposta al modello di punti. Le operazioni di rilevamento sono state condotte seguendo un approccio gerarchico, in fasi successive, di punti sempre più fitti e con accuratezze decrescenti. La rete di inquadramento generale poi, è raffittita con ulteriori vertici per raggiungere quasi tutti gli ambienti del complesso architettonico.

L'inquadramento topografico, realizzato secondo schemi di misura iperdeterminati calcolati e compensati con metodi rigorosi, assicura una precisione nota e uniforme per l'intero rilievo. L'immagine visualizza le connessioni misurate tra i vertici delle reti. In bianco è rappresentata la rete al piano terra, in fucsia, quella ai piani ammezzati, in blu quella al piano primo, in giallo quella al piano interrato, in rosso i collegamenti tra i diversi livelli, in ciano gli sbracci

Giardino delle Rose. The survey network was studied to obtain a good degree of rigidity despite constraints imposed by the spatial articulation of the complex. The redundancy of the links between vertices made it possible to verify the metric accuracy of the traverse

The network superimposed on the point model. Survey operations were conducted following a hierarchical approach, in successive stages, of increasingly dense measures and with decreasing accuracies. The general survey network is then densified with additional vertices to reach almost all areas of the architectural complex.

The topographic survey, carried out according to overdetermined measuring schemes calculated and compensated for with rigorous methods, ensures a known and uniform accuracy for the whole survey. The image displays the connections measured between the vertices of the network. The network on the ground floor is represented in white, on the mezzanine floors in fuchsia, on the first floor in blue, on the basement in yellow, on the links between the different levels in red, and the spur traverses in cyan.

rete principale (prim'ordine) dalle successive di raffittimento (secondo e terzo ordine) e dagli sbracci (quart'ordine) (fig.4). La stima delle coordinate dei vertici è stata eseguita compensando le misure con il metodo dei minimi quadrati.

In parallelo alle acquisizioni topografiche si è proceduto a quelle con laser scanner. Si sono utilizzati due scanner distanziometrici a differenza di fase (Leica HDS6000, Leica HDS7000) e uno a tempo di volo (Leica C10) che, avendo una portata maggiore, ha consentito acquisizioni anche di zone difficilmente accessibili, come le coperture (figg.5-7).

In questo caso, come già per il rilevamento topografico, è stata progettata la fase di acquisizione, redigendo eidotipi di ciascun vano su cui riportare i punti di stazione e i target posizionati con verifica di quanto visibile da ogni punto di presa. Di ciascuna scansione si è compilata una scheda indicando, tra l'altro, il codice del vano, la qualità e risoluzione della scansione e i target visibili. Per l'allineamento e la referenziazione si sono apposti circa 600 target, di cui 385 rilevati con stazione totale. Sono state acquisite 416 *range map* (per un totale di 13.912.467.757 punti) che, in ragione del passo di campionamento prescelto e della precisione strumentale, hanno consentito di raggiungere un livello di dettaglio sub-centimetrico (figg.8-10). È evidente che la gestione di una simile mole di dati richiede accorgimenti per superare i limiti degli strumenti *software* e *hardware* e un'attenta organizzazione dei dati e metadati.



FIGG.5-7 Acquisizioni laser scanner. Sono stati prevalentemente impiegati due scanner a differenza di fase, mentre uno a tempo di volo, con portata maggiore, è stato utilizzato per l'acquisizione dalle coperture dei fabbricati. Fig.5: Tribuna; fig.6: copertura di un braccio della Tribuna; fig.7: terrazza dell'Accademia di Belle Arti

Laser scanner acquisitions. Two phase-shift scanners were predominantly used while one-time-of-flight scanner, with a greater range, was used for data acquisition from the roofs of the buildings. Fig.5: Tribuna; fig.6: roofing of a wing of the Tribuna; fig.7: terrace of the Accademia di Belle Arti

Pre-elaborazioni

I dati grezzi sono stati elaborati secondo un *workflow* consolidato, tuttavia ogni fase è stata ottimizzata in modo da adattarsi alla mole dei dati e alla complessità del lavoro.

Allineamento

Per avviare l'allineamento dei dati in parallelo al procedere delle acquisizioni e lavorare più agevolmente su *database* di dimensioni non eccessive, il rilievo è stato suddiviso in 35 blocchi. Ognuno di essi è stato allineato all'inizio in modo indipendente in un sistema di riferimento locale.



both complex planning of the work with the former Regional Directorate and the Galleria dell'Accademia. The operation identified 260 rooms, assigning to each of them a unique code for storing data and metadata from all phases of the work.

Data acquisition

The integration of classical surveying methods with 3D scans makes it possible to create a searchable archive of 3D metric data from which to obtain the information necessary for further processing. Of fundamental importance for a spatial database is their unambiguous referencing. The first phase of acquisitions was topographic (fig.3). The design of the network took into account the constraints imposed by the geometry of the complex as well as the conditions required for optimal configuration. The network comprises more than 100 vertices, with a distribution that ensures a good level of rigidity, each of which is materialized stably with non-invasive and accurately monographed systems (figs.1-2). A hierarchical sequence was defined by distinguishing a principal network (first order) with successive densifications (second and third orders) and the arms (fourth order) (fig.4). The coordinates of the vertices were estimated performed by compensating the measurements with the least squares method.

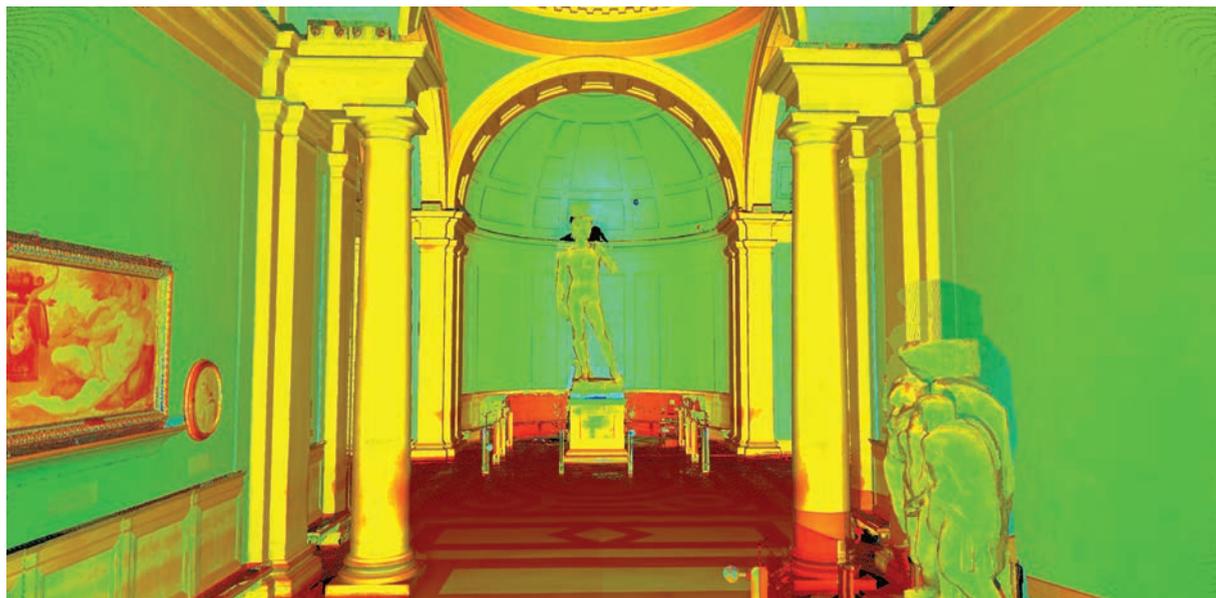
Parallel with the topographic data acquired, we proceeded with those using laser scanners.

Two phase-shift distance scanners were used (Leica HDS6000, Leica HDS7000) and one time-of-flight scanner (Leica C10) which, having a higher range, made it possible to acquire data even in areas difficult of access, such as roofs (figs.5-7).

In this case, as before in the topographic survey, the data acquisition phase was planned by compiling sketches of each room on which to record the topographic vertices and targets positioned with verification of what is visible from each scan position. As each scan is completed, a datasheet is compiled indicating, among other things, the code of the room, the quality and resolution of the scan and the visible targets. For alignment and referencing some 600 targets were fixed, of which 385 were detected with the total station.

FIGG.8-10 Il rilievo 3D eseguito con un passo di campionamento di pochi millimetri mostra superfici apparentemente continue anche se in realtà costituite da punti. La sua densità evidenzia le irregolarità locali e i caratteri costruttivi e tecnologici. Le acquisizioni sono state progettate verificando la copertura di ogni presa su schemi grafici di tutti i vani in cui sono state riportati i punti di stazione e i target. Sono state inoltre compilate schede che riportano i metadati di ciascuna scansione (la qualità, la risoluzione, target visibili e codice del vano). Fig.8: Gipsoteca; fig.9: Sala dei Prigioni; fig.10: Biblioteca dell'Accademia di Belle Arti

The 3D survey performed with a sampling step of a few millimeters shows seemingly continuous surfaces, although in reality they consist of points. Its density highlights local irregularities and constructional and technological characters. The acquisitions were designed by verifying the coverage of each scan on sketches of all the rooms in which the station points and targets were recorded. Data sheets were also compiled containing metadata for each scan (quality, resolution, visible target and room code). Fig.8: Gipsoteca; fig.9: Sala dei Prigioni; fig.10: Library of the Accademia di Belle Arti



Ottimizzazione dell'allineamento

Si sono poi roto-traslati i 35 blocchi nel sistema di riferimento topografico ottimizzando le scansioni con un algoritmo di tipo ICP (*Iterative Closest Point*). Questa operazione ha richiesto 5 giorni di tempo macchina.

Organizzazione dei dati ed editing

Il database unico è stato suddiviso in *layer*, così che ciascuna *range map* fosse visualizzabile in modo indipendente; si sono poi eliminati dal modello tutti gli elementi non pertinenti o di disturbo.

Suddivisione in sotto-progetti

Il modello di punti ottenuto, troppo pesante per visualizzarlo in altri *software*, è stato suddiviso in 10 sotto-progetti per le successive elaborazioni.

416 range maps were acquired (for a total of 13,912,467,757 points), which, in relation to the chosen sampling step and instrumental precision, made it possible to achieve a sub-centimeter level of detail (figs.8-10). It is obvious that the management of such a mass of data requires devices to overcome the limitations of the software and hardware and careful organization of the data and metadata.

Pre-processing

The raw data were processed in accordance with an established workflow. However, each phase was optimized so as to adapt it to the mass of data and complexity of the work.

Alignment

To begin aligning the data parallel with the progress of acquisition of data and to work more easily on a database that would not be over-large, the survey was divided into 35 blocks. Each of them was aligned at the start independently in a local reference system.

Optimizing the alignment

The 35 blocks were then roto-translated into the topographical reference system by optimizing the scans with a ICP-type (Iterative Closest Point) algorithm. This operation took five days of computation time.

Data organization and editing

The unique database was split into layers, so that each range map was viewed independently. Then all irrelevant or disruptive elements were eliminated from the model.

Division into sub-projects

The point model obtained, too heavy to be displayed in other software, was divided into 10 sub-projects for subsequent processing.

Output

A point model made by laser scanning is a database from which all the three-dimensional information can be extracted. However, the most easily shared outcome is still made up of the orthogonal projections (plans, elevations and sections) used in architectural designs. Although these are two-dimensional representations, their coordinates are referenced and expressed according to a 3D reference system; also the completeness of the point model used to extract further images taking any section plane. In the specific case, 7 plans and 15 sections were produced, printed on a scale of 1:100 for because of the limits of reproducibility, but with the detail of a scale of 1:50 (figs.20-27).

Such an impressive database also made it possible to extract ortho-images of the point cloud with a resolution so high that it is possible to read the fissuring pattern.

In accordance with the Regional Directorate and the structural engineers, database tuning was applied to the reading of the east wall of the Sala Bartolini and to the cross vault between the Galleria dei Prigioni and the Tribuna del David.

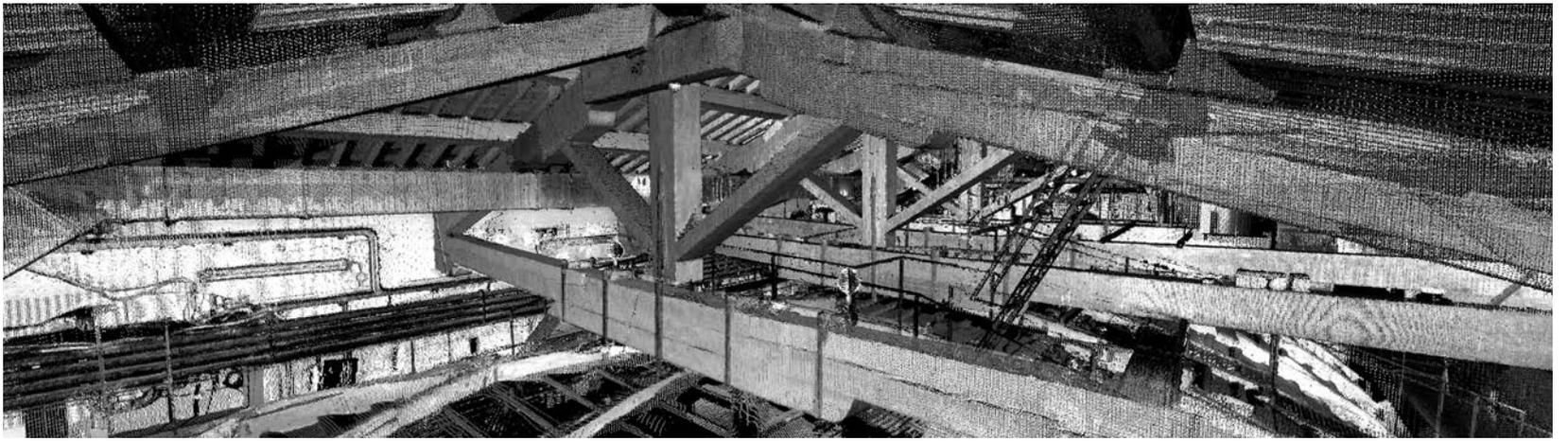
In both cases, the radiometric processing was carried out on the ortho-images to bring out the gaps in the surface, so facilitating the study of the fissuring pattern (figs.28-29).

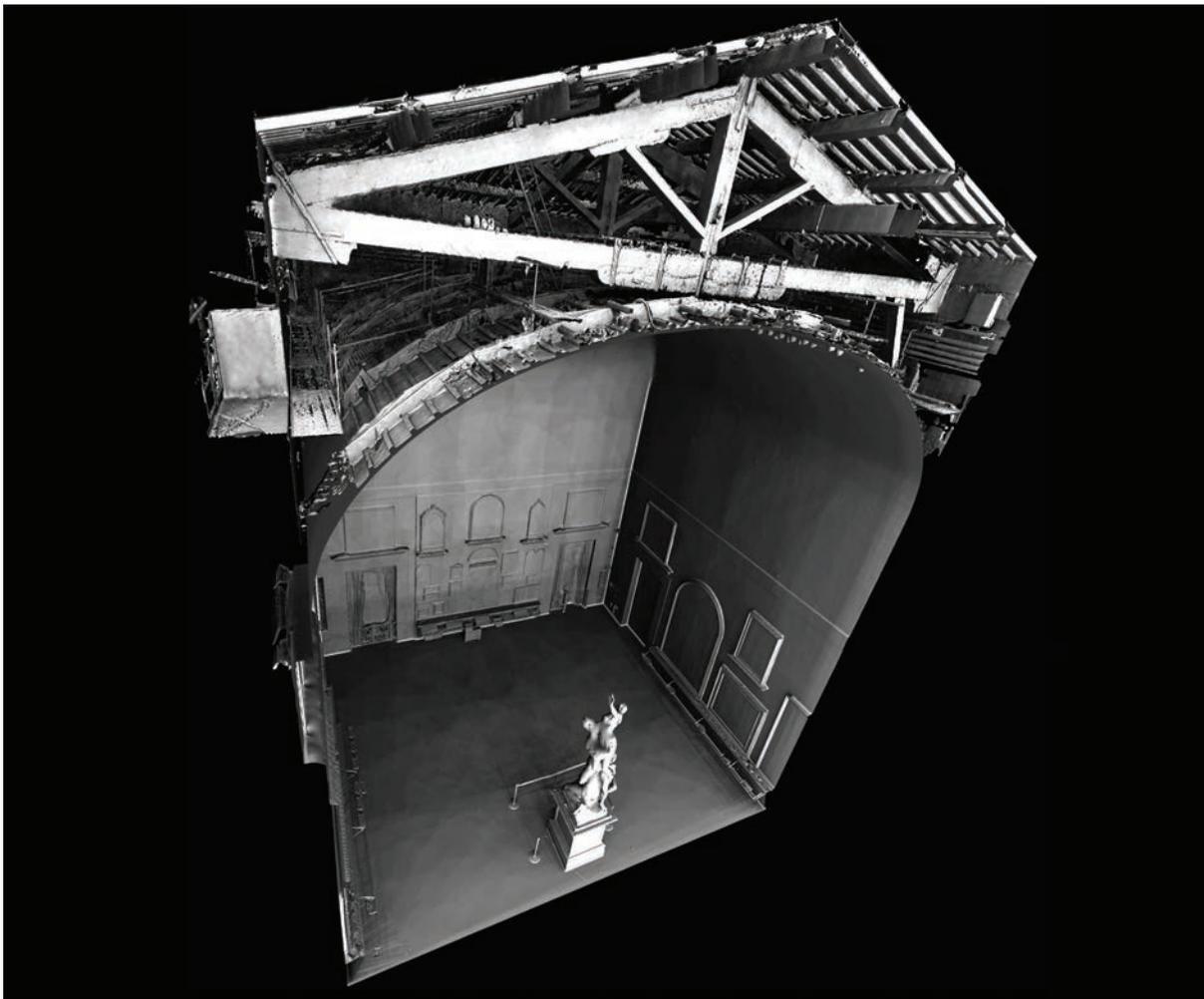
In addition, again in the Sala dei Gessi or Sala Bartolini, the deformations of the east wall were assessed by imaging on both sides the deviation between the real pattern detected and the vertical planes acquired as an ideal geometry (fig.15). Repeating and comparing the data over time will also make it possible to conduct a periodic review (monitoring) of the possible progression of the deformation.

Accurate photographic documentation was also recorded and, in the exhibition areas, spherical panoramas were created that can be explored and are searchable (figs.16-19).

FIGG.11-13 Il rilievo 3D della Sala del Colosso. Fig. 11: capriate e coperture; fig.12: controsoffitto e volta lignea; fig. 13: interno

The 3D survey of the Sala del Colosso. Fig.11: trusses and roofing; fig.12: false ceiling and timber vault; fig.13: interior





Conclusions

The study tested the applicability of geomatic techniques to a complete and exhaustive high-resolution survey of an extensive and articulated complex. Although the use of these technologies is now widespread, many applications concern less complex architecture, or are limited to the visible portions. In this case the survey was extended to the whole complex, from the cellars to the attics and the roofing (figs.11-14), and even documented the neighboring portions of contiguous buildings to determine the operating conditions necessary for the strict application of the *Guidelines*.

Experience has confirmed that the purpose of the survey is not exhausted in providing a graphic support, though this is increasingly reliable, for studies and analyses by other specialists, but in itself produces a body of knowledge of the various aspects (spatial, structural, technological, etc.) of the complex, supplying comparisons with other survey methods, verifying various hypotheses and suggesting new ones.

This experience brought out the fact that the accuracy and the quantity of data from a survey carried out with geomatic techniques produce models that the software for structural analysis and simulations are unable to handle. On the other hand, from a high-resolution survey it is possible to deduce the deformations and fissuring of the architectural members and verify assumptions derived from simplified models.

But there are still a number of unresolved issues. Very large complexes entail the collection of massive amounts of information. The data from scans and their processing alone occupy several terabytes. Even after dividing up the overall model to facilitate the rendering, it is difficult to consult. The whole data set (not just topographic and scans, but also sketches, photographs, alphanumeric documents, final processed files, etc.) of large buildings always raise management and storage issues.

FIG.14 Modello mesh. Sala del Colosso e sottotetto. In alcuni casi sono stati realizzati modelli di superficie (*mesh*) che riproducono con accuratezza le superfici rilevate. Questa forma di descrizione continua, a differenza del modello discreto di punti, può essere visualizzata in modo interattivo su computer o riprodotta con tecniche di fabbricazione digitale (stampa 3D), per la generazione di modelli fisici che conservano l'accuratezza di quelli digitali. In questo caso è stato realizzato un modello mesh parziale a partire da 24 scansioni di cui quattro al piano terra e le restanti 20 al piano sottotetto (per un totale di 388.258.259 di punti). Il modello *mesh* finale è di 30 milioni di facce

Mesh model. Sala del Colosso and attic. In some cases surface models (meshes) were made that reproduce with accuracy the surfaces surveyed. This form of continuous depiction, unlike the discrete model of points, can be displayed interactively on a computer or reproduced by digital fabrication techniques (3D printing) to generate physical models that preserve the accuracy of digital ones. In this case, a partial mesh model has been made starting from 24 scans, four of which are on the ground floor and the other 20 in the attic (for a total of 388,258,259 points). The final mesh model is made up of 30 million faces.



FIG.15 Parete est (interno/esterno) della Gipsoteca (piano terra della Galleria) e delle Aule di Pittura (piano primo dell'Accademia di Belle Arti). Il modello di punti può consentire la valutazione delle possibili deformazioni della struttura, graficizzando, con mappe di scostamento, le distanze tra una geometria ideale (piani verticali) e quella rilevata su entrambe le facce della muratura.

East wall (interior/exterior) of the Gipsoteca (ground floor of the Galleria) and the Painting Classrooms (first floor of the Accademia di Belle Arti). The point model allows to evaluate possible deformations of the structure, with displacement maps configuring in a graph the distances between an ideal geometry (vertical planes) and that detected on the two sides of the masonry walls.

Output

Un modello di punti ricavato da scansione laser costituisce un *database* da cui si possono estrarre tutte le informazioni tridimensionali; tuttavia l'esito più facilmente condivisibile è costituito ancora dalle proiezioni ortogonali (pianche, prospetti e sezioni) proprie del disegno architettonico. Pur trattandosi di rappresentazioni bidimensionali, le loro coordinate sono riferenziate ed espresse secondo un sistema di riferimento 3D; inoltre la completezza del modello di punti consente di estrarre ulteriori elaborati assumendo qualsiasi piano di sezione. Nel caso specifico, si sono realizzate 7 pianche e 15 sezioni, stampate in scala 1:100 per limiti di riproducibilità, ma con il dettaglio della scala 1:50 (figg.20-27).

Un archivio dati così imponente, ha consentito anche l'estrazione di orto-immagini della nuvola di punti con risoluzione tale da permettere la lettura del quadro fessurativo.

In accordo con la Direzione regionale e gli strutturisti è stata affinata la lettura della parete est nella Sala Bartolini e della crociera tra la Galleria dei Prigioni e la Tribuna del David.

In ambedue i casi, sulle orto-immagini si sono effettuate elaborazioni radiometriche per enfatizzare le discontinuità della superficie agevolando così lo studio del quadro fessurativo (figg.28-29).

Inoltre, ancora nella Sala dei Gessi o Bartolini, sono state valutate le deformazioni della parete est graficizzando su entrambe



FIGG.16-19 Sempre più spesso i Musei propongono una visita virtuale delle loro sale utilizzando la tecnologia del tour virtuale basata su panorami sferici. Tutti gli spazi interni ed esterni della Galleria sono stati così documentati attraverso immagini acquisite con fotocamera reflex digitale ad alta risoluzione montata su treppiede dotato di testa panoramica. Il

numero di fotografie per ciascun panorama varia in funzione dell'ottica scelta. I singoli panorami possono essere collegati tra loro mediante *hot-spots* per la realizzazione di tour virtuali completi e implementati con contenuti scientifici o divulgativi. Fig.16: Tribuna; fig.17: Gipsoteca; fig.18: Museo degli Strumenti Musicali; fig.19: Sala del Tardo Trecento

Increasingly, museums offer virtual tours of their rooms using virtual tour technology based on spherical panoramas. All internal and external spaces of the Galleria have been documented in this way through images captured by a high-resolution digital reflex camera mounted on a tripod with a panoramic head. The number of

photos for each panorama varies depending on the chosen lens. The individual panoramas can be joined at hot-spots to create complete virtual tours and implemented with scholarly or informative contents. Fig.16: Tribuna; fig.17: Gipsoteca; fig.18: Museum of Musical Instruments; fig.19: Sala del Tardo Trecento



le facce lo scostamento tra l'andamento reale rilevato e piani verticali assunti come geometria ideale (fig.15). Ripetendo e confrontando le acquisizioni nel tempo sarà possibile anche una verifica periodica (monitoraggio) dell'eventuale progredire delle deformazioni.

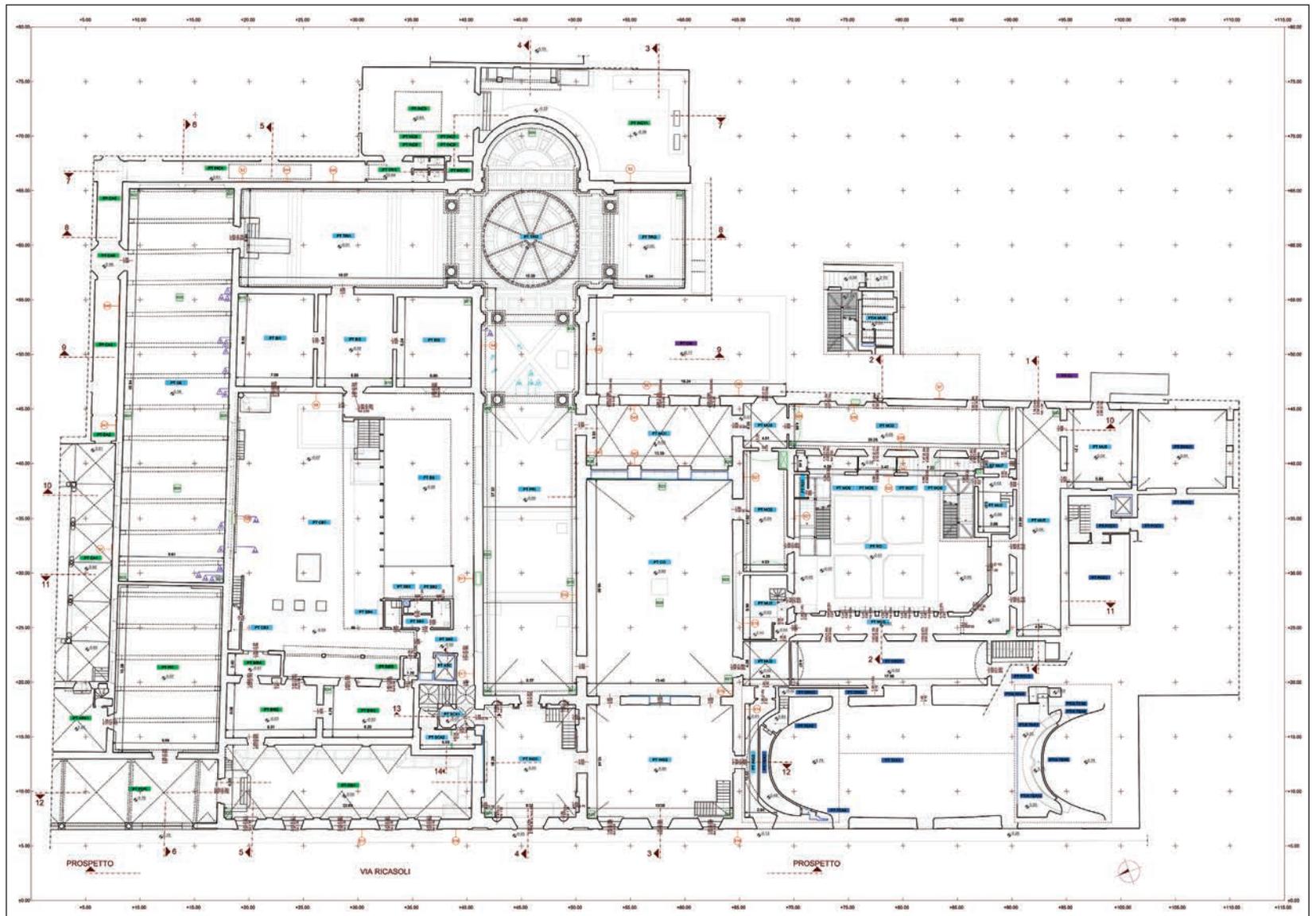
È stata eseguita inoltre un'accurata documentazione fotografica e, negli ambienti espositivi, sono stati realizzati anche panorami sferici esplorabili e interrogabili (figg.16-19).

In this respect, there is an interesting drive towards applying BIM techniques, initially aimed at the development of new building projects, to the historical heritage: Heritage Building Information Modeling performs the semantic structuring of raw data in the form of architectural elements modeled in 3D and parametric form. By combining 3D elements not only with geometrical attributes but those of a different kind (historical, systemic, maintenance, etc.), models of this type ensure sophisticated management of information about a building complex. In addition, a properly configured BIM model can be varied with relative ease for each phase of transformation, so continually updating the building database.

To implement such a model, the acquisition of the geometric data, as described above, is only the starting point of a process that needs to be kept continuously up to date. Clearly, however, such instruments will be capable of acquiring a strategic importance in managing the public cultural heritage.

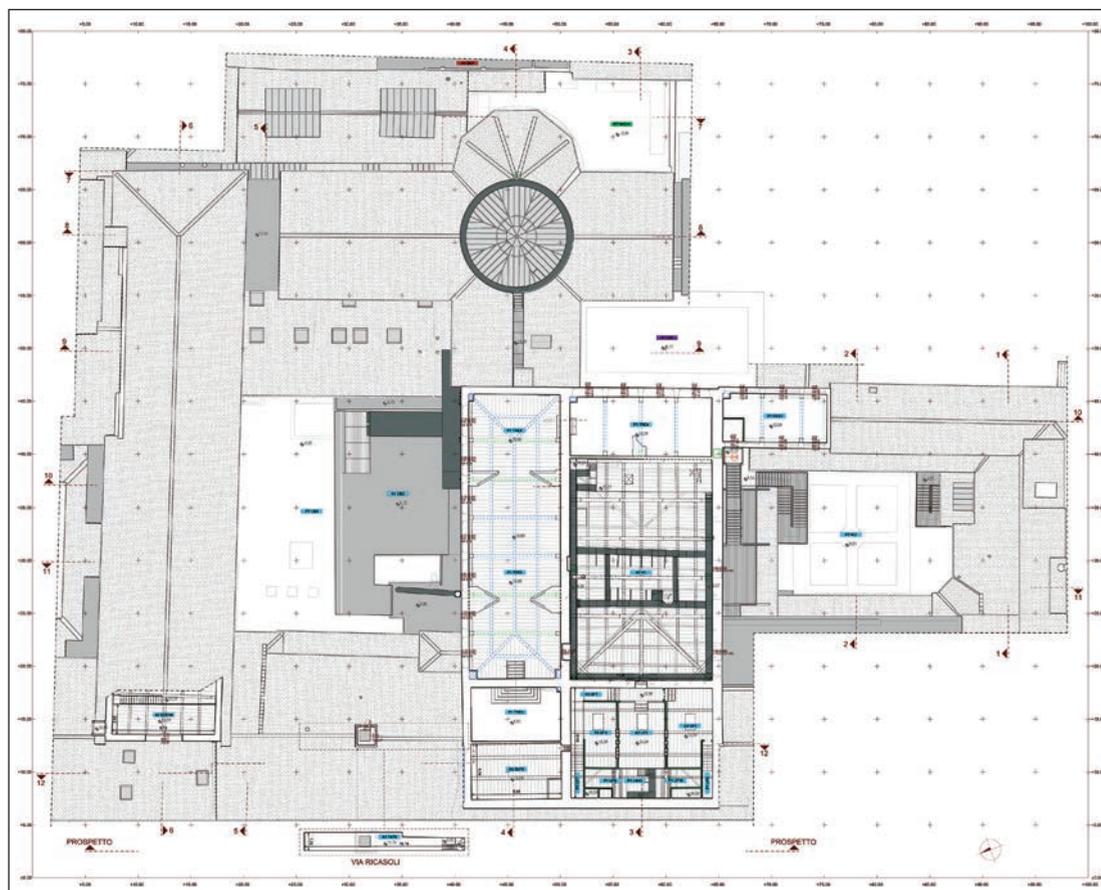
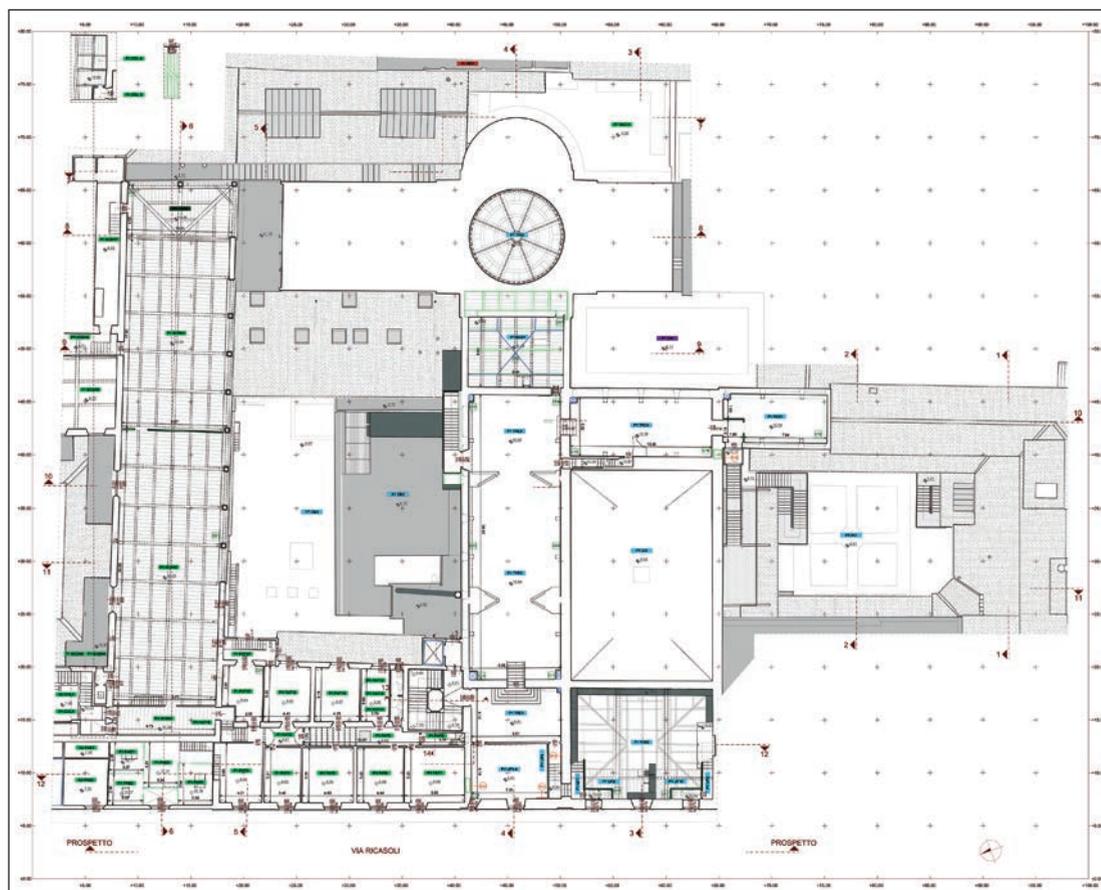
FIG.20 La Galleria si estende all'interno di un isolato in cui sono presenti e confinanti altri edifici pubblici e privati di grandi dimensioni: la sua complessa articolazione spaziale è il risultato di trasformazioni avvenute nei secoli senza un progetto unitario. Sono state prodotte 7 planimetrie e 15 sezioni, con il dettaglio della scala 1:50. Nelle planimetrie, sono specificati l'identificativo del vano, i saggi effettuati sulle murature, il posizionamento dei sismografi e quello delle pastiglie dei deformometri, le fessure oggetto di monitoraggio. Pianta del piano terra

The Galleria lies in a city block where it adjoins other large public and private buildings. Its complex spatial articulation is the result of changes made over the centuries without a uniform project. 7 plans and 15 sections were produced, with detail on a scale of 1:50. The plans record the identifiers of the rooms, the samples taken of the masonry, the positioning of seismographs, the pads of the deformometers, and the fissuring that was the object of the monitoring. Plan of ground floor

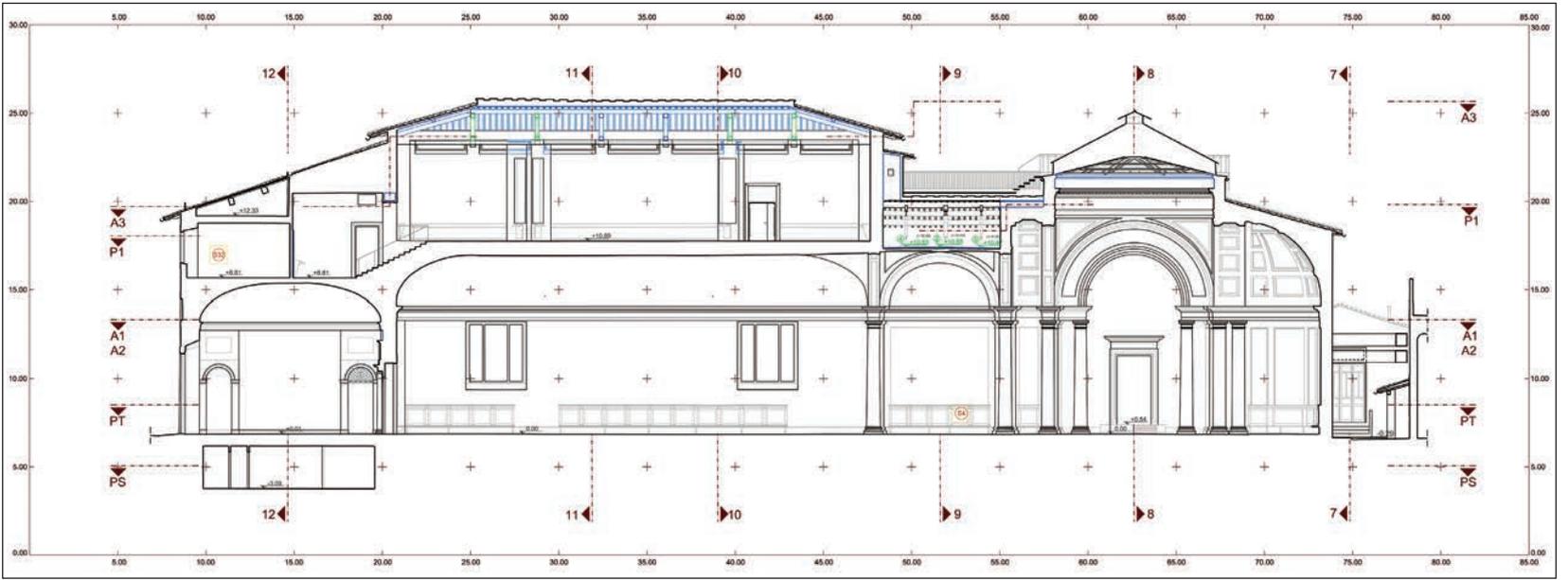
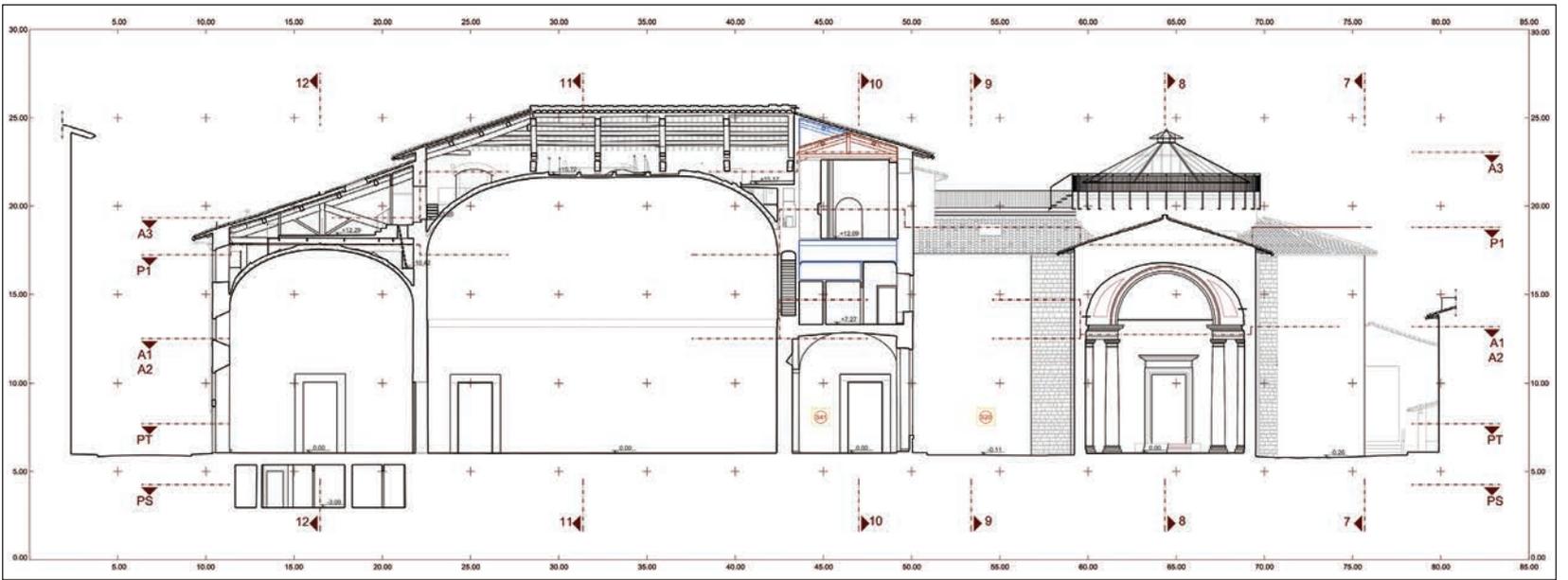


FIGG.21-22 Pianta del piano primo e pianta ammezzato A3. I corpi di fabbrica sono suddivisi da piani a quote disomogenee e la loro completa rappresentazione ha richiesto la redazione di numerosi livelli intermedi. Il disegno mostra in pianta la carpenteria dell'estradosso della volta della Sala del Colosso e in proiezione quella del sottotetto e dei vani adiacenti

Plan of first floor and mezzanine floor A3. The buildings are subdivided by floors at different levels and their full representation required the recording of a number of intermediate levels. The drawing shows in plan the carpentry of the extrados of the vault of the Sala del Colosso and in projection that of the attic and adjacent rooms



LEGENDA	
A) Dati ricavati da rilievo diretto puntuale	—
B) Dati ricavati da documenti di archivio	—
C) Dati desunti in base a caratteri tipologici	—
D) Pannellature leggere (cartongesso, legno, ecc.)	□
E) Coperture Piane	
F) Impianti e strutture in metallo	
G) Vetro	
H) Galleria dell'Accademia (MuAC) Piano/Identificativo vano	PS CT1
I) Accademia di Belle Arti (ABA) Piano/Identificativo vano	PS CT1
L) Conservatorio di Musica Luigi Cherubini (CON) Piano/Identificativo Vano	PS CT1
M) Opificio delle pietre Dure (OPD) Piano/Identificativo Vano	PS CT1
N) Palazzo Budini Gattai (BG) Piano/Identificativo Vano	PS CT1
O) Saggi posizionamento ed identificativo (pianta)	S14
P) Saggi posizionamento ed identificativo (sezione)	S14
Q) Sismografi posizionamento ed identificativo	B21
R) Quotatura aperture	base (sguancio) 1.40 (2.32) altezza (sguancio) 3.03 (5.03) altezza davanzale interno hdi 1.90 base (sguancio) 1.69 (1.68) altezza imposta/altezza chiave (sguancio a imposta/a. chiave) 4.03/4.87/5.03/6.45 altezza davanzale interno hdi 0.98 sopraluce base 0.74 altezza 0.52
S) Pianta Piano Seminterrato Impronta Pianta piano Terra (sezionato)	
T) Verifiche puntuali all'estradosso dopo il consolidamento. Le quote in parentesi sono relative Alla situazione precedente	① ② ③
U) Identificazione pastiche deformometro	16 A1 16 16
V) Fessure oggetto di monitoraggio	
Z) Fessure	
I dati di cui ai punti B) e C) non derivano da operazioni di rilievo strumentale o diretto e non hanno quindi validità metrica	



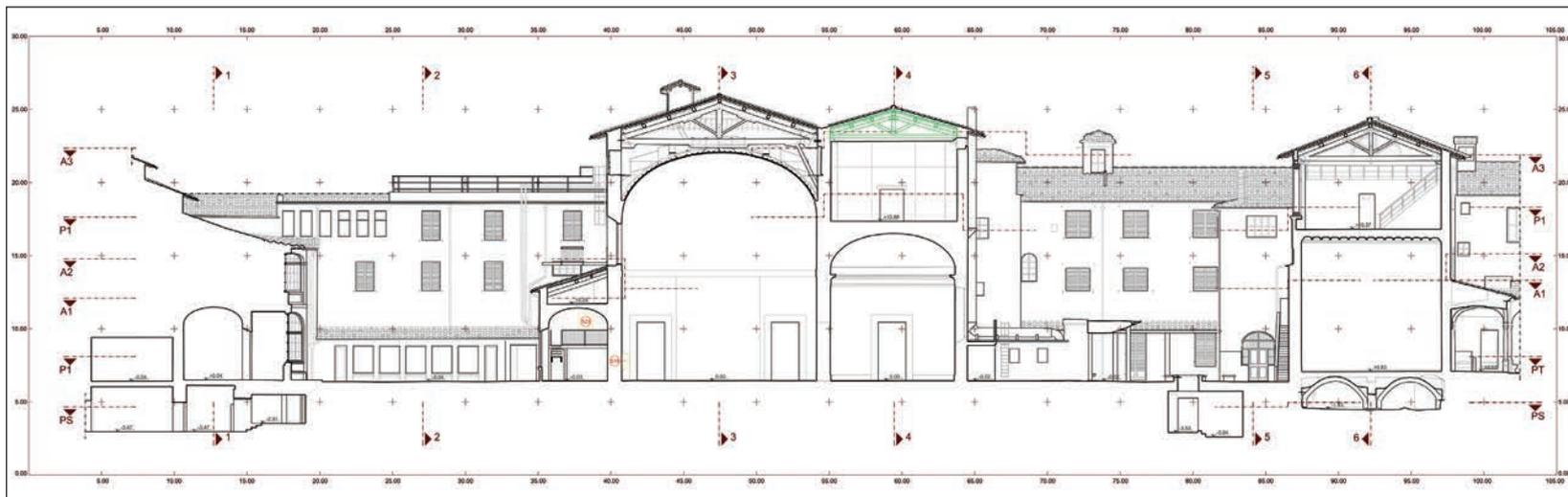


FIG.23 Nella Sezione S3, particolarmente interessanti risultano i sottotetti della Sala del Colosso, del vano d'ingresso e della crociera tra la Tribuna del David e la Sala dei Prigioni. Gli spazi a volte angusti o di difficile accesso, hanno complicato sia le operazioni di inquadramento per l'appoggio topografico (che richiede intervisibilità tra vertici adiacenti) che per le scansioni 3D. Gli impianti tecnologici sono spesso di ostacolo all'acquisizione dei dati e in fase di *post processing* hanno richiesto particolare attenzione per l'eliminazione di *outliers* e di elementi accidentali o estranei. Nella tavola le carpenterie dei sottotetti; i diversi colori differenziano le zone rilevate in dettaglio da quelle in cui sono state possibili solo ispezioni puntuali o intercluse per la presenza di controsoffitti. Queste ultime sono state rappresentate in base ai documenti di archivio o ai caratteri tipologici

In Section S3, of particular interest are the attics of the Sala del Colosso, the entrance hall and the cross vault between the Tribuna del David and the Sala dei Prigioni. The spaces, at times cramped or

difficult of access, complicated both the surveying operations for the topographical support (which requires intervisibility between adjacent vertices) and for the 3D scans. Technological systems are often an obstacle to data acquisition and in the post-processing phase this called for special attention to eliminate outliers and accidental or extraneous elements. In the drawing, the carpentry of the attics; the different colors differentiate the zones detected in detail from those where only local or enclosed inspection was possible because of the presence of false ceilings. These were represented on the basis of archival or typological documents

FIG.24 Sezione S4 lungo la Sala dei Prigioni e la Tribuna del David; definisce anche i dettagli di ornato e gli arredi fissi. Nei sottotetti della Sala del Trecento non direttamente accessibili sono indicati in verde gli elementi rilevati con ispezioni puntuali

Section S4 along the Sala dei Prigioni and Tribuna del David; it also defines the ornate details and fixed furnishings. In the attics of the Sala del Tre-

cento, not directly accessible, green is used to detect items with local inspections

FIG.25 Sezione trasversale S10 rivolta verso la Tribuna e passante per gli ambienti utilizzati per le mostre temporanee. Per il rilievo delle superfici murarie è stato necessario ripetere le acquisizioni dopo lo smontaggio degli allestimenti

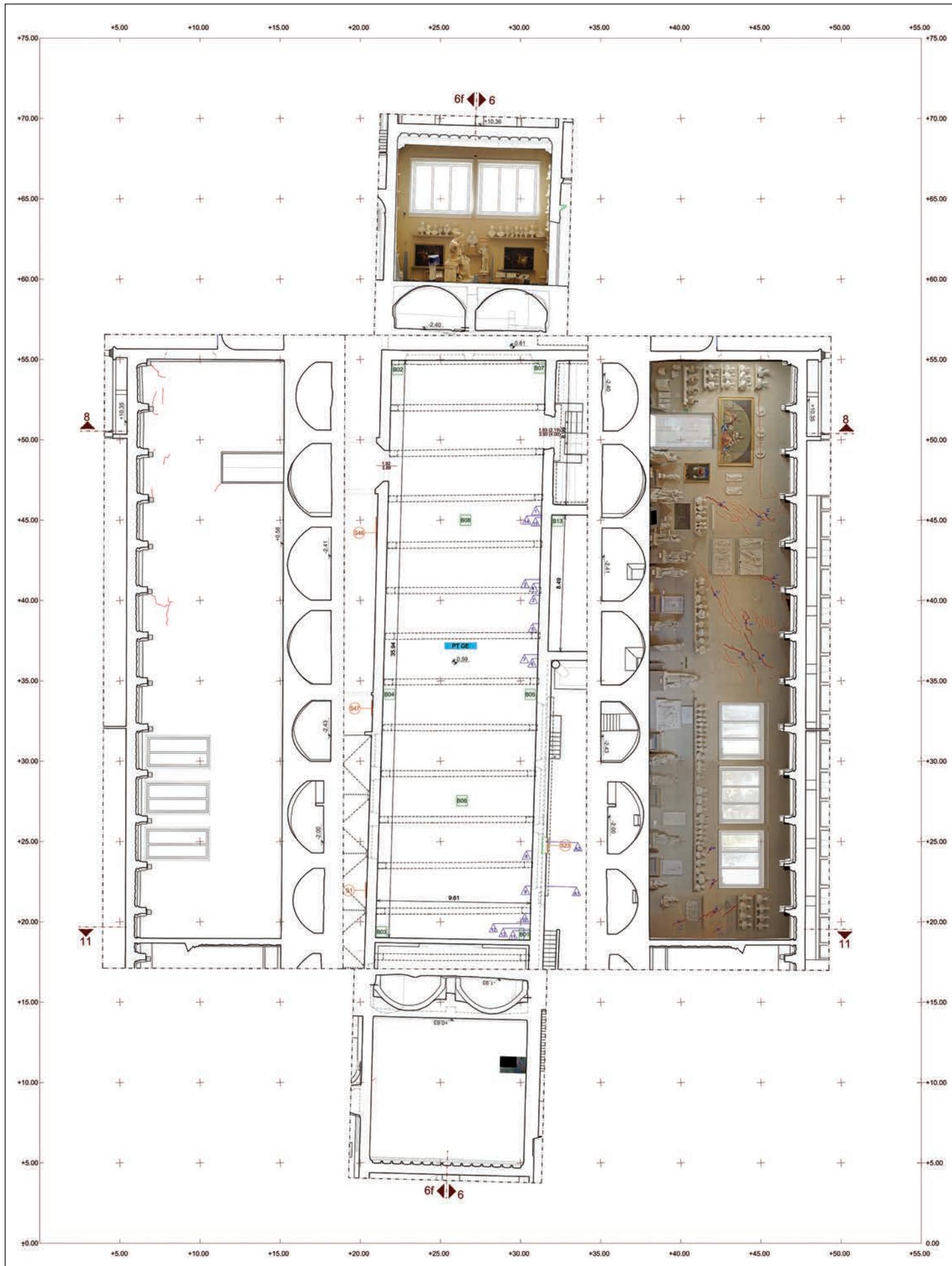
Transversal section S10 facing the Tribuna and passing through the rooms used for temporary exhibitions. To survey the wall surfaces it was necessary to repeat the data acquisitions after the installations were dismantled

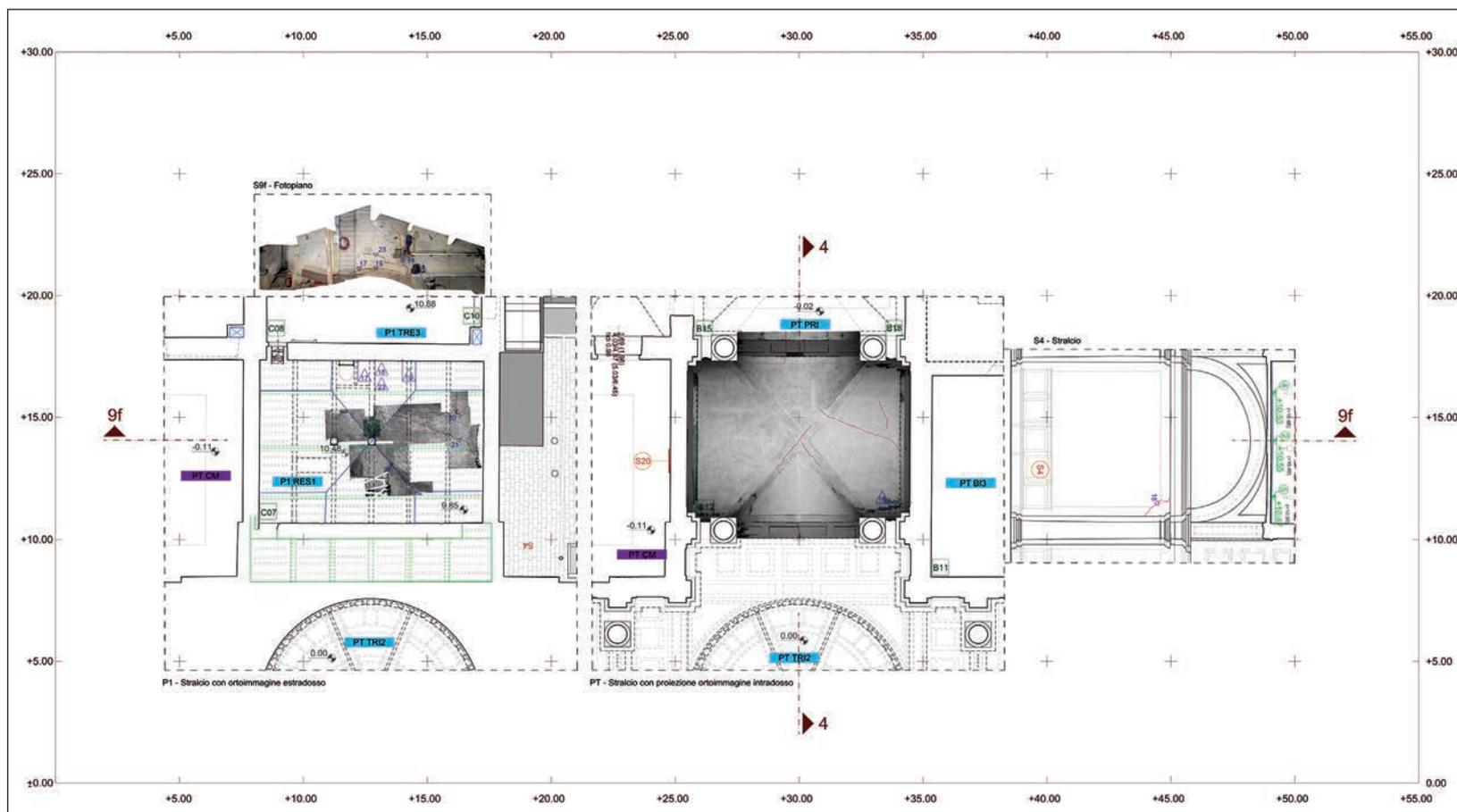
FIG.26 Sezione trasversale S11. Il nucleo centrale della Galleria è costituito dalla grande Sala del Colosso e dalla Sala dei Prigioni affiancati dalla Sala dei Gessi e dalla Tribuna del David. Ai lati si trovano i due cortili e la collezione di strumenti musicali. Sulla destra il corpo condiviso con l'Accademia di Belle Arti, a sinistra quello in comune con il Conservatorio Cherubini

Section S11. The central core of the Gallery consists of the great Sala del Colosso and the Sala dei Prigioni flanked by the Sala dei Gessi and the Tribuna del David. On the sides are the two courtyards and the collection of musical instruments. On the right the building shared with the Accademia di Belle Arti; to the left the building shared with the Cherubini Musical Conservatory

FIG.27 La sezione S12 parallela a via Ricasoli taglia il complesso dal retropalco della Sala concerti del Conservatorio Cherubini fino al loggiato e alla Biblioteca dell'Accademia di Belle Arti passando dagli ingressi della Galleria dai vani interrati ai sottotetti

The section S12 parallel to via Ricasoli cuts across the complex from the backstage of the Concert Hall of the Cherubini Conservatory to the loggia and the Library of the Accademia di Belle Arti passing through the entrances to the Galleria from the underground rooms to the attics





Conclusioni

FIG.28 All'interno della Gipsoteca, oltre alle lesioni, rappresentate su fotopiani delle pareti, sono individuati i punti di esecuzione di saggi e la posizione dei punti di monitoraggio delle deformazioni

Inside the Gipsoteca, in addition to cracks, represented on the rectified images of the walls, the sampling points and the position of the deformation monitoring points are identified

FIG.29 Nella zona della crociera il rilievo del quadro fessurativo è stato eseguito integrando tecniche diverse, comprensivo di fotopiani e ortomagini della nuvola di punti. Le indagini applicate all'intradosso e all'estradosso della volta consentono di verificare la continuità e l'estensione delle lesioni

In the area of the cross vault, the survey of the fissuring pattern was performed by integrating various techniques, including rectified imagery and orthophotos of the point cloud. The surveys applied to the intrados and extrados of the vault make it possible to verify the continuity and extent of cracks

Lo studio condotto ha verificato l'applicabilità delle tecniche geomatiche per il rilievo ad alta risoluzione, completo ed esauritivo, di un complesso vasto e articolato. Anche se l'uso di queste tecnologie è ormai diffuso, molte applicazioni riguardano architetture di minor complessità, oppure si limitano alle porzioni visibili. In questo caso il rilievo è stato esteso all'intero organismo, dalle cantine ai sottotetti e alle coperture (figg.11-14), documentando anche le porzioni confinanti degli edifici contigui, per stabilire le condizioni operative necessarie per la rigorosa applicazione delle *Linee guida*.

L'esperienza ha confermato che la finalità del rilievo non si esaurisce nel fornire un supporto grafico, anche se sempre più attendibile, a studi e analisi di altri specialisti, ma svolge già di per sé un compito di conoscenza dell'organismo nei suoi molteplici aspetti (spaziali, strutturali, tecnologici, ecc.), confrontandosi con gli altri metodi di indagine, verificando le varie ipotesi e suggerendone di nuove. Questa esperienza ha messo in luce come l'accuratezza e la quantità di dati di un rilievo eseguito con tecniche geomatiche produca modelli che i *software* per analisi e simulazioni strutturali non sono in grado di gestire. D'altra parte, da un rilievo ad alta risoluzione si possono ricavare le deformazioni e i plessi fessurativi delle membrature e verificare ipotesi desunte da modelli semplificati. Restano comunque aperte varie questioni. Complessi molto estesi comportano la raccolta di enormi quantità di informazioni. I soli dati relativi alle scansioni e al loro trattamento occupano vari *terabyte*, pur avendo suddiviso il modello complessivo per agevolare le restituzioni, risulta difficoltoso consultarli. L'insieme dei dati (non solo topografici e di scansione, ma anche eidotipi, fotografie, documenti alfanumerici, elaborati finali, ecc.) di grandi edifici pone sempre problemi di gestione e archiviazione. Risulta interessante in proposito la spinta verso l'applicazione al patrimonio storico di tecniche BIM, rivolte inizialmente allo sviluppo di progetti di nuovi edifici: l'*Heritage Building Information Modeling* prevede la strutturazione semantica dei dati grezzi in forma di elementi architettonici modellati in 3D e in forma parametrica. Associando agli elementi 3D attributi non solo geometrici ma di altra natura (storici, impiantistici, manutentivi, ecc.), modelli di questo tipo permettono una gestione sofisticata delle informazioni riguardanti un organismo edilizio. Inoltre, un modello BIM adeguatamente configurato può essere variato con relativa semplicità per ogni fase di trasformazione aggiornando così continuamente la banca dati dell'edificio.

Per implementare un tale modello, l'acquisizione dei dati geometrici, come sopra descritta, costituisce solo il momento iniziale di un processo che va aggiornato di continuo. È tuttavia evidente l'importanza strategica che strumenti di questo tipo potranno assumere nella gestione del patrimonio culturale pubblico.

Tabella riepilogativa / Summary table

CAMPAGNA ACQUISIZIONI DATA ACQUISITION CAMPAIGN	LUGLIO – OTTOBRE 2011 JULY – OCTOBER 2011
Personale impiegato Staff employed	Da 2 a 7 persone/giorno From 2 to 7 people/day
Vertici rete inquadramento Vertices control network	113
Accuratezza rete Topographic network control accuracy	< ± m 0.015
Punti d'appoggio/targets Control points/targets	> 600 (385 rilevati con stazione totale) > 600 (385 measured with total station)
Scansioni n. No. scans	416 (risoluzione sub centimetrica) 416 (subcentimetre resolution)
Punti Points	13.912.467.757
Dimensione del database Database size	2 Terabyte
Hardware	Stazione totale Leica TCR 303 / Total station Leica TCR 303 Stazione totale Leica TPS 1200 / Total station Leica TPS 1200 Scanner a differenza di fase Leica HDS6000 / Phase shift scanner Leica HDS6000 Scanner a differenza di fase Leica HDS7000 / Phase shift scanner Leica HDS7000 Scanner a tempo di volo Leica C10 / Time of Flight scanner Leica C10 reflex Nikon D700 - D90 / Nikon D700 - D90
Software	Star-Net (topografia) / Star-Net (topography) Leica Cyclone (range maps), Leica CloudWorx (range maps), Bentley Microstation (vettorializzazione) / Bentley Microstation (vectorization) Autodesk Autocad (vettorializzazione) / Autodesk Autocad (vectorization) Geomagic (mesh e mappe di scostamento) / Geomagic (mesh and shift maps) ISTI CNR MeshLab (mesh) Adobe Photoshop (editing) PTGui (panorami sferici) / PTGui (spherical panoramas)

SUPERFICI E VANI RILEVATI SURFACES AND ROOMS SURVEYED	Galleria dell'Accademia	Complessivi Totals
Superficie complessiva rilevata (mq) Total area surveyed (sq. m.)	8.230	15.124
• Piano Interrato / Basement	202	1.238
• Piano terra / Ground floor	3.702	5.537
• Piano Ammezzato 1 / Mezzanine 1	270	1.104
• Piano Ammezzato 2 / Mezzanine 2	158	412
• Piano Primo / First floor	1.185	2.046
• Piano Ammezzato 3 / Mezzanine 3	562	562
• Coperture / Roofs	2.151	4.225
Vani rilevati (n.) / Rooms surveyed (no.)		260

Bibliografia / References

BALLETTI ET AL. 2013

Caterina Balletti, Matteo Berto, Caterina Gottardi, Francesco Guerra, "Ancient structures and new technologies: survey and digital representation of the wooden dome of SS. Giovanni e Paolo in Venice", in *The International Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Göttingen, Germany, Vol. II-5/W1, pp. 25-30.

BITELLI ET AL. 2016

Gabriele Bitelli, Giovanni Castellazzi, Antonio M. D'Altri, Stefano De Miranda, Alessandro Lambertini, Ilenia Selvaggi, "Automated Voxel Model from Point Clouds for Structural Analysis of Cultural Heritage", in *The International Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, XLI-B5, pp. 191-197.

BLASI-COISSON (A CURA DI) 2006

Carlo Blasi, Eva Coisson (cur.), *La Fabbrica del Duomo di Parma: stabilità, rilievi e modifiche nel tempo*, Ed. Grafica STEP, Parma.

BLASI-COISSON 2009

Carlo Blasi, Eva Coisson, "Fasi costruttive ed evoluzione dei fenomeni di dissesto", in Rossella Cadignani (cur.), *La Torre Ghirlandina: un progetto per la conservazione*, vol. 1, Luca Sossella Editore, Roma, pp. 147-154.

CASTAGNETTI ET AL. 2016

Cristina Castagnetti, Eleonora Bertacchini, Alessandro Capra, "Monitoring leaning towers by geodetic approaches: effects of subsidence and earthquake to the Ghirlandina Tower", in *Structural Control and Health Monitoring*, n. 23, pp.580-593. DOI: 10.1002/stc.1799.

CASTELLAZZI ET AL. 2015

Giovanni Castellazzi, Antonio M. D'Altri, Gabriele Bitelli, Ilenia Selvaggi, Alessandro Lambertini, "From laser scanning to finite element analysis of complex buildings by using a semi-automatic procedure", in *Sensors*, n. 5, pp. 18360-18380.

GIANDEBIAGGI ET AL. 2009

Paolo Giandebiaggi, Andrea Zerbi, Alessandro Capra, "Il rilevamento della Torre Ghirlandina (The surveying of Ghirlandina tower)", in Rossella Cadignani (cur.), *La Torre Ghirlandina: un progetto per la conservazione*, vol. 1, Luca Sossella Editore, Roma, pp. 78-87.

ORENI ET AL. 2013

Daniela Oreni, Raffaella Brumana, Andreas Georgopoulos, Branka Cuca, "HBIM for conservation and management of built heritage: towards a library of vaults and wooden beam floors", in *The Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume II-5/W1, pp. 215-221.

PĂTRĂUCEAN ET AL 2015

Viorica Pătrăucean, Iro Armeni, Mohammad Nahangi, Jamie Yeung, Ioannis Brilakis, Carl Haas, "State of research in automatic as-built modelling", in *Advanced Engineering Informatics*, n. 29, pp. 162-171, DOI:10.1016/j.aei.2015.01.001.

PIERACCINI ET AL. 2013

Massimiliano Pieraccini, Devis Dei, Michele Betti, Gianni Bartoli, Grazia Tucci, Nadia Guardini, "Dynamic identification of historic masonry towers through an expeditious and no-contact approach: Application to the "Torre del Mangia" in Siena (Italy)", in *Journal of Cultural Heritage*, n. 15-3, pp. 275-282.

QUATTRINI ET AL. 2015

Ramona Quattrini, Eva S. Malinverni, Paolo Clini, Romina Nespeca, Erika Orlietti, "From TLS to HBIM. High quality semantically-aware 3D modeling of complex architecture", in *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-5/W4, pp. 367-374.

TUCCI-BONORA 2014

Grazia Tucci, Valentina Bonora, "New technologies for Cultural Heritage Documentation and Conservation: the role of geomatics", in *Newton's Bulletin*, 2014.

VISINTINI-SPANGHER 2013

Domenico Visintini, Anna Spangher, *Rilevamento laser scanning, modello della superficie (DSM) e modello per il metodo agli elementi finiti (FEM) di una struttura*, Atti 17a Conferenza Nazionale ASITA, 5-7 novembre 2013.

Nelle pagine seguenti:

TAV. I C-D Rapporto Del Moro 21 maggio 1895, prot. 1560/792, cc. 3v, 4v, filza A, Pos. 1, Ins. 21, Esercizio 1895, Archivio delle RR. Gallerie e museo Nazionale di Firenze, Direzione, Guasti prodotti dal terremoto ed affari relativi / Pos. O, Ins. 20, Archivio del R. Ufficio Regionale per la Conservazione dei Monu-

menti della Toscana, Affari diversi e generali, 1895, Danni ai Monumenti arrecati dal terremoto, in Archivio Storico della Galleria degli Uffizi (su concessione MiBACT, vietata riproduzione o duplicazione con qualsiasi mezzo) (in G. Giorgianni, *Principi metodologici e nuove acquisizioni*, p.47)

In the following pages:

TAB. I C-D Report of 21 May 1895 written by Luigi Del Moro, prot. 1560/792, sheets 3v, 4v, row A, item 1, insert 21, period 1895, Archives of R. National Galleries and Museums of Florence, Directorate, Earthquake Faults and Related Affairs / item O, insert 20, Archives of the R. Office for the Conservation of the Monu-

ments of Tuscany, Different and General Affairs, 1895, Damage to Monuments caused by the earthquake, in *Historical Archives of the Galleria degli Uffizi* (courtesy of Ministry of Cultural Heritage and Activities and Tourism, all rights reserved) (in G. Giorgianni, *Methodological principles and new acquisitions*, p.48)



COLLANA DI RESTAURO ARCHITETTONICO

10



Ministero
dei beni e delle
attività culturali
e del turismo

Segretariato regionale
dei beni e delle attività
culturali e del turismo
per la Toscana

PRISTINA SERVARE
Collana di Restauro Architettonico / 10

© Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo –
Segretariato regionale dei beni e delle attività culturali e
del turismo per la Toscana – 2017
Via dei Castellani 3 – 50122 Firenze
Tel. +39 055 27187750
sr-tos@beniculturali.it
www.toscana.beniculturali.it

© Altralinea Edizioni s.r.l. – 2017
Via P. Carnesecchi 39 – 50131 Firenze
Tel. +39 055 333428
info@altralinea.it
www.altralineaedizioni.it

Tutti i diritti sono riservati: nessuna parte può essere
riprodotta o trasmessa in alcun modo elettronico o
meccanico (compresi fotocopie e microfilms) senza il
permesso scritto dal MiBACT e dalla Casa Editrice
*All right reserved: no part of this publication may be
reproduced or utilized in any form or by any means,
electronic or mechanical, including photocopying and
recording, without permission in writing from MiBACT and
the publisher*

ISBN 978-88-94869-26-2

Curatore e responsabile scientifico del volume
Editor and scientific director of the publication
Giuseppe Giorgianni

Design della Collana
Series designer
Adriana Toti

Finito di stampare nel dicembre 2017
Printed in December 2017

Stampa
Print
Bandedchi & Vivaldi – Pontedera (Pisa)
www.bandedchievivaldi.com

In copertina
Cover image
Galleria dell'Accademia di Firenze, Tribuna del David
(foto G. Giorgianni)

REFERENZE

I contributi si basano anche su materiali prodotti nel corso dell'applicazione sperimentale per la verifica sismica della Galleria dell'Accademia di Firenze, condotta, diretta, coordinata e finanziata dal Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo in una prima fase (2009-settembre 2010) con la Direzione generale per i Beni Architettonici, Storico-Artistici ed Etnoantropologici oggi Direzione generale Archeologia, Belle Arti e Paesaggio, e in una seconda fase (ottobre 2010-2013) con la Direzione regionale per i Beni Culturali e Paesaggistici della Toscana oggi Segretariato regionale dei beni e delle attività culturali e del turismo per la Toscana.

I contributi 2.1 e 3.1 sono stati forniti in lingua inglese dagli stessi autori mentre quelli 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 2.2, 2.3, 2.4, 3.2 sono stati tradotti dalla Casa Editrice. Per la dimestichezza degli studiosi e dei lettori con gli argomenti fiorentini, si è preferito conservare nel testo inglese le denominazioni italiane di luoghi e opere. Le tavole nn. I, II, III, IV, V, VI e la fig.8 del contributo 1.3 sono pubblicate su concessione del MiBACT, Archivio storico degli Uffizi di Firenze, prot. 5127 del 09.06.2017. Nel contributo 1.4, le figure nn. 3, 4, 10 sono pubblicate su concessione del MiBACT, Archivio di Stato di Firenze, prot. 1894 del 31.03.2017 e le figure nn. 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 su concessione dell'Archivio storico del Comune di Firenze, prot. 111682 del 05.04.2017.

Per le immagini vige il divieto di ulteriore riproduzione o duplicazione con qualsiasi mezzo.

Si ringraziano i Dipartimenti DIDA, DST e DICEA dell'Università di Firenze per il loro contributo.

CREDITS

Contributions are also based on materials developed within the experimental application for seismic evaluation on the Galleria dell'Accademia of Florence, conducted, directed, coordinated and funded by the Ministry of Heritage and Cultural Activities and Tourism for Tuscany with the General Directorate for Architectural, Historical-Artistic and Ethno-anthropological Heritage, now General Directorate for Archaeology, Fine Arts and Landscape, in a first phase (2009-september 2010), and in a second phase (october 2010-2013) with the Regional Directorate for Cultural and Landscape Heritage of Tuscany, now Regional Secretariat of Heritage and Cultural Activities and Tourism for Tuscany.

Contributions 2.1 and 3.1 were produced in English by the authors themselves while those 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 2.2, 2.3, 2.4, 3.2 have been translated by the Publisher. For the familiarity of scholars and readers with Florentine topics, it has been preferred to keep the Italian names of places and art works. The tables n. I, II, III, IV, V, VI and fig.8 of the contribution 1.3 are published by permission of the MiBACT, Historical Archives of the Uffizi of Florence, prot. 5127 of 09.06.2017. In contribution 1.4, figures nos. 3, 4, 10 are published by courtesy of MiBACT, State Archives of Florence, prot. 1894 of 31.03.2017 and figures nos. 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 by courtesy of the Historical Archives of the City of Florence, prot. 111682 of 05.04.2017.

Further reproduction or duplication by any means is forbidden for all images.

We wish to thank the Departments DIDA, DST and DICEA of the University of Florence for their contribution.



LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO NEL COMPLESSO DELLA GALLERIA DELL'ACCADEMIA DI FIRENZE

Un'applicazione sperimentale delle *Linee Guida MiBACT per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale (2009-2013)*

THE EVALUATION OF SEISMIC RISK IN THE COMPLEX OF THE GALLERIA DELL'ACCADEMIA OF FLORENCE

An experimental application of the *MiBACT Guidelines for the evaluation and reduction of seismic risk of cultural Heritage (2009-2013)*

a cura di / edited by
Giuseppe Giorgianni

Norme. Vulnerabilità. Firenze, i Musei, il David e i sismi nel 1895. L'intervento del Ministero. Microzonizzazione sismica nel centro storico. Fisiologia strutturale e differenziale di restauro. Vicende costruttive. Rilievi. Indagini geologiche, strutturali, lignee e termografiche. Identificazioni dinamiche. Valutazioni finali della risposta sismica LV1, LV2, LV3.

Standards. Vulnerability. Florence, the Museums, the David and earthquakes in 1895. The intervention of the Ministry. Seismic microzonisation in the historic center. Structural physiology and differential of restoration. Construction events. Surveys. Geological, structural, wood and thermographic investigations. Dynamic identifications. Final evaluations of the LV1, LV2, LV3 seismic response.

PRISTINA SERVARE

Collana di Restauro Architettonico / 10

Diretta da | Directed by

Alessandro Gambuti, *già Università degli Studi di Firenze*
Giuseppe Cruciani Fabozzi, *già Università degli Studi di Firenze*

Comitato dei Garanti | Guarantor Committee

Carlo Blasi, *Università di Parma*
Maurizio Boriani, *Politecnico di Milano*
Stella Casiello, *Università di Napoli Federico II*
Guy Conde Reis, *Direction des Monuments et des Sites – BDU*
Luigi Dei, *Università di Firenze*
Carolina Di Biase, *Politecnico di Milano*
Carlo Alberto Garzonio, *Università di Firenze*
Maria Adriana Giusti, *Politecnico di Torino*
Francesco Gurrieri, *già Università di Firenze*
Carlo Monti, *già Politecnico di Milano*
Stefano Musso, *Università di Genova*
Mario Santana Quintero, *Carlton University, Ottawa*

Comitato Editoriale | Editorial Board

Adriana Toti (coordinamento), Susanna Bortolotto, Christian Campanella,
Mariacristina Giambruno, Luigi Marino, Giulio Mirabella Roberti, Grazia Tucci

Ogni volume della Collana è sottoposto a *double blind peer review*
All volumes of the Series are subject to double blind peer review

Sezioni Tematiche e Comitati Scientifici | Sections and Scientific Committees

CONSERVAZIONE E USO DEL COSTRUITO

Christian Campanella (responsabile), *Politecnico di Milano*
Chiara Occelli, *Politecnico di Torino*
Giulia Marino, *École Polytechnique Fédérale de Lausanne*
Mauro Saracco, *Università degli Studi di Macerata*
Simona Salvo, *Università degli Studi di Roma La Sapienza*

RESTAURO ARCHEOLOGICO

Luigi Marino (responsabile), *già Università degli Studi di Firenze*
Habib Baklouti, *Institut Préparatoire aux Etudes Littéraires et Sciences Sociales, Tunis*
Salvatore D'Agostino, *Università degli Studi di Napoli*
Osama Hamdan, *Al Quds University, Gerusalemme*
Jean-Yves Marin, *Musée d'Art et d'Histoire, Ginevra*
Stefano Pulga, *Co.Re. Aosta*
José Ramon Soraluze Blond, *Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de A Coruña*
Andrea Ugolini, *Università degli Studi di Bologna*

RESTAURO NEI PAESI IN TRANSIZIONE E IN VIA DI SVILUPPO

Susanna Bortolotto (responsabile), *Politecnico di Milano*
Redha Attoui, *Département d'Architecture, Faculté de Sciences de la Terre, Annaba*
Iris Gerlach, *Sana'a Department of the German Archaeological Institute*
Serena Massa, *Università Cattolica del Sacro Cuore di Milano*
Camillo Magni, *Politecnico di Milano*
Francesco Augelli, *Politecnico di Milano*
Jaime Migone, *UISEK Universidad Internacional de Santiago de Chile*

RESTAURO URBANO

Mariacristina Giambruno (responsabile), *Politecnico di Milano*
Andrea Pane, *Università degli Studi di Napoli Federico II*
Guido Licciardi, *urban specialist, The World Bank*
Alberta Cazzani, *Politecnico di Milano*
Raffaella Simonelli, *Politecnico di Milano*
Alessandra Maniaci, *Università Mediterranea di Reggio Calabria*
Emanuele Romeo, *Politecnico di Torino*

STRUMENTI E METODI PER LA CONOSCENZA

Grazia Tucci (responsabile), *Università degli Studi di Firenze*
Caterina Balletti, *Università IUAV di Venezia*
Gabriele Bitelli, *Università degli Studi di Bologna*
Valentina Bonora, *Università degli Studi di Firenze*
Emma Cantisani, *ICVBC / CNR Roma*
Alessandro Capra, *Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia*
José Luis Lerma Garcia, *Universitat Politècnica de València*
Andreas Georgopoulos, *National Technical University of Athens*
Francesco Guerra, *Università IUAV di Venezia*
Massimiliano Pieraccini, *Università degli Studi di Firenze*

Indice

	Quasi una premessa. Organizzazione conoscitiva e ringraziamenti	pag. 9
	<i>Giuseppe Giorgianni</i>	
PARTE PRIMA		11
■ 1.1	Dalle disposizioni normative sul rischio sismico alle azioni avviate dal MiBACT	13
	<i>Stefano D'Amico</i>	
■ 1.2	Le verifiche di vulnerabilità sismica su edifici storici di interesse culturale. Una questione di metodo	23
	<i>Maria Agostiano</i>	
■ 1.3	Principi metodologici e nuove acquisizioni. Il differenziale di restauro, la microzonizzazione sismica e la fisiologia strutturale. Firenze, le Gallerie, il David e il terremoto del 1895	35
	<i>Giuseppe Giorgianni</i>	
■ 1.4	Origine di un complesso museale. Le principali fasi costruttive dal XIV al XIX secolo	65
	<i>Daniela Mignani</i>	
■ 1.5	La Galleria misurata	85
	<i>Grazia Tucci, Valentina Bonora, Alessandro Conti, Lidia Fiorini</i>	
PARTE SECONDA		107
■ 2.1	Il sottosuolo della Galleria dell'Accademia	109
	<i>Massimo Coli</i>	
■ 2.2	La caratterizzazione meccanica delle murature	115
	<i>Maria Teresa Cristofaro, Mario De Stefano</i>	
■ 2.3	Le strutture lignee: Sala del Colosso e Crociera del David	131
	<i>Nicola Macchioni, Maria Diodato</i>	
■ 2.4	Le indagini termografiche	141
	<i>Vito Basile</i>	
PARTE TERZA		151
■ 3.1	Identificazione dinamica della struttura e analisi degli effetti di sito attraverso misure sismiche della Galleria dell'Accademia di Firenze	153
	<i>Maurizio Ripepe, Giorgio Lacanna</i>	
■ 3.2	Valutazione finale della risposta sismica del complesso della Galleria dell'Accademia di Firenze e livelli di valutazione LV1, LV2 e LV3	171
	<i>Maria Teresa Cristofaro, Mario De Stefano</i>	

Contents

	Almost a foreword. Fact-finding organization and acknowledgements <i>Giuseppe Giorgianni</i>	pag. 9
PART ONE		8
■ 1.1	From the regulatory provisions on seismic risk to the interventions initiated by MiBACT <i>Stefano D'Amico</i>	12
■ 1.2	Seismic vulnerability checks on historic buildings of cultural interest. A question of method <i>Maria Agostiano</i>	22
■ 1.3	Methodological principles and new acquisitions. The differential of restoration, seismic micro-zoning and structural physiology. Florence, the Galleries, the David and the earthquake of 1895 <i>Giuseppe Giorgianni</i>	34
■ 1.4	Origin of a museum complex. The main construction phases from the 14th to the 19th century <i>Daniela Mignani</i>	64
■ 1.5	The Gallery measured <i>Grazia Tucci, Valentina Bonora, Alessandro Conti, Lidia Fiorini</i>	84
PART TWO		106
■ 2.1	Geology of the Galleria dell'Accademia underground <i>Massimo Coli</i>	108
■ 2.2	The mechanical characterization of masonry <i>Maria Teresa Cristofaro, Mario De Stefano</i>	114
■ 2.3	Timber structures: Sala del Colosso and Crociera del David <i>Nicola Macchioni, Maria Diodato</i>	130
■ 2.4	Thermographic investigations <i>Vito Basile</i>	140
PART THREE		150
■ 3.1	Dynamic identification of the structure and analysis of site effects through seismic measurements of the Galleria dell'Accademia in Florence <i>Maurizio Ripepe, Giorgio Lacanna</i>	152
■ 3.2	Final evaluation of the seismic response of the Galleria dell'Accademia complex in Florence and evaluation levels LV1, LV2 and LV3 <i>Maria Teresa Cristofaro, Mario De Stefano</i>	170

Pagine 10-11:

TAV. I A-B Rapporto Del Moro 21 maggio 1895, prot. 1560/792, cc. 1r, 3r, filza A, Pos. 1, Ins. 21, Esercizio 1895, Archivio delle RR. Gallerie e museo Nazionale di Firenze, Direzione, Guasti prodotti dal terremoto ed affari relativi / Pos. O, Ins. 20, Archivio del R. Ufficio Regionale per la Conservazione dei Monu-

menti della Toscana, Affari diversi e generali, 1895, Danni ai Monumenti arrecati dal terremoto, in Archivio Storico della Galleria degli Uffizi, (su concessione MiBACT, vietata riproduzione o duplicazione con qualsiasi mezzo) (in G. Giorgianni, *Principi metodologici e nuove acquisizioni*, p.47)

Pages 10-11:

TAB. I A-B Report of 21 May 1895 by Del Moro, prot. 1560/792, sheets 1r, 3r, row A, item 1, insert 21, period 1895, Archives of R. National Galleries and Museums of Florence, Directorate, Earthquake Faults and Related Affairs / item O, insert 20, Archives of the R. Office for the Conservation of the Monuments of

Tuscany, Different and General Affairs, 1895, Damage to Monuments caused by the earthquake, in *Historical Archives of the Galleria degli Uffizi* (courtesy of Ministry of Cultural Heritage and Activities and Tourism, all rights reserved) (in G. Giorgianni, *Methodological principles and new acquisitions*, p.48)

ALMOST A FOREWORD

Fact-finding organization and acknowledgements

Included by MiBACT – Ministry of Cultural Heritage and Activities and Tourism – in November 2013 in the update “Dialogue on Cultural Heritage and Cultural Activities”, discussed in March 2013 and March 2014 at the XX and XXI Salon of Arts, Restoration and Conservation of Cultural and Environmental Heritage in Ferrara, the results were presented on 16 December 2013 at the Galleria dell'Accademia and on 19 November 2014 at the Auditorium of the State Archives in Florence. The special thanks to everyone is due to the willingness shown at each stage of the long-lasting experimental period of implementation of the Guidelines. Started by the General Secretariat Roberto Cecchi and then continued by Antonia Pasqua Recchia and the General Directorate with Mario Lolli Ghetti and Maddalena Ragni, the experimental application for the Galleria dell'Accademia complex in Florence was made possible in particular by Maria Agostiano and her colleagues at the ex-Regional Directorate, now Regional Secretariat. Contributions were provided by the Florentine museums with the Historical Archive, the Photographic Department of the Uffizi and the Galleria dell'Accademia, with whom the investigations into the "Ratto" by Giambologna were initiated, along with Cristina Acidini, Franca Falletti, Francesca Fiorelli, Daniela Parenti, Simona Pasquinucci, Maria Sframeli, Marilena Tamassia, Cristina Valenti, and all the technical staff and custodians, the Architectural Heritage Authorities of Florence with Alessandra Marino, Andrea Cipriani, Antonio De Crescenzo, Giustino Di Sipio, Claudio Paolini, Rossano Tursi, as well as the State Archives of Florence, the National Central Library, the Marucellian Library and the Historical Archives of the City of Florence with Luca Brogioni. The three levels of evaluation (LV1, LV2, LV3), carried out between 2009 and 2013 by the Construction and Restoration Department (now the Architecture department) of the University of Florence with the support of the Materials Testing Laboratory, were coordinated by the scientific director Mario De Stefano with Maria Teresa Cristofaro, Valerio Alecci, Giampiero Barbetti, Francesco Cristofaro, Angelo D'Ambrisi, Giancarlo Fagone, Francesco Focacci, Alessandra La Brusco, Valentina Mariani, Maria Pianigiani, Tommaso Rotunno, Claudia Sarri, Marco Tanganelli and the graduate Tayla Biagi, as well as Nicola Macchioni and Maria Diodato of the CNR IVALSA Institute for the timber structures.

The 2009 survey campaign started by the General Directorate with Laura Moro and Antonella Neri for the Tribuna del David and the adjacent rooms through the ISCR (Conservation and Restoration School) of Rome and directed by Stefano D'Amico, Mara Bucci, Cesare Crova and Angelo Rubino, preceded the 2011 survey campaign of the entire Galleria dell'Accademia complex conducted within the Constructions and Restorations Department by Grazia Tucci (then transferred to another dept.) with Francesco Algostino, Valentina Bonora, Laura Bucalossi, Alessandro Conti, Lidia Fiorini (who produced the reference plans of the building in this volume), Nadia Guardini, Alessia Nobile and Salvatore Colucci of the GeCo laboratory.

The 2011-2012 seismic microzoning commissioned by MiBACT to the Constructions and Restorations Department was reconstructed together with Massimo Coli and Letizia Guerri from the University of Florence Earth Sciences Department, and carried out by Georisorse Italia society with Gianfranco Censini and Francesco Russotto.

The dynamic measurements and the vibration levels of the 2011 campaign and of the Addendum 2012 have been processed by the Earth Science Department in the person of its scientific director Maurizio Ripepe with his group consisting of Giorgio Lacanna, Dario Delle Donne, Giuseppe De Rosa, Letizia Giurra, Emanuele Marchetti, Pasquale Poggi and Giacomo Ulivieri.

The 2009 historical campaign for reconstruction of the constructive phases and the cartography was completed by Daniela Mignani in 2010, and was then followed by the 2011 historical survey carried out by the Regional Directorate, now the Regional Secretariat, with the avail of the previous collaboration together with the support of Patrizia Naldini at the suggestion of the Galleria dell'Accademia.

The 2011 thermographic campaign was offered by Franco Adduci of the Department of Natural Physical Mathematical Sciences of the University of Bari together with Vito Basile and Rosario Piergianni of hoTspot snc.

Also involved, of course, with great commitment, were the Accademia di Belle Arti with Giuliana Videtta and Claudio Rocca, the Luigi Cherubini Musical Conservatory with Paolo Biordi and Roberto Volpe, the Opificio delle Pietre Dure with Maria Alberta Zuffanelli and Francogino Adimari, the Osservatorio Ximeniano with Andrea Cecconi and Elisabetta Cioppi, the Palazzo Budini Gattai Administration, the Eredi Augusto Lorenzini with Mario Occhiolini and Alfredo for assistance in investigations.

Florence, May 2017

the technical-scientific coordinator and director
Giuseppe Giorgianni

QUASI UNA PREMESSA

Organizzazione conoscitiva e ringraziamenti

Inseriti dal MiBACT – Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo – nel novembre 2013 tra gli aggiornamenti “Dialogando sui beni culturali e intorno le attività culturali”, discussi nel marzo 2013 e marzo 2014 ai saloni XX° e XXI° dell’Arte, del Restauro e della Conservazione dei Beni Culturali e Ambientali di Ferrara, i risultati sono stati presentati il 16 dicembre 2013 presso la Galleria dell’Accademia e il 19 novembre 2014 all’Auditorium dell’Archivio di Stato di Firenze. Il particolare ringraziamento nasce dalla disponibilità mostrata da ciascuno in ogni fase del lungo percorso sperimentale di applicazione delle Linee guida.

Avviata dal Segretariato generale Roberto Cecchi e poi seguita da Antonia Pasqua Recchia e dalla Direzione generale con Mario Lolli Ghetti e Maddalena Ragni, l’applicazione sperimentale per il complesso della Galleria dell’Accademia di Firenze si è avvalsa in particolare di Maria Agostiano e dei colleghi della Direzione regionale, oggi Segretariato regionale.

Hanno collaborato il Polo museale fiorentino con l’Archivio Storico, il Gabinetto Fotografico degli Uffizi e la Galleria dell’Accademia con cui si sono iniziate anche le indagini al Ratto del Giambologna, con Cristina Acidini, Franca Falletti, Francesca Fiorelli, Daniela Parenti, Simona Pasquinucci, Maria Sframeli, Marilena Tamassia, Cristina Valenti, insieme a tutto il personale tecnico e di custodia, la Soprintendenza per i beni architettonici di Firenze con Alessandra Marino, Andrea Cipriani, Antonio De Crescenzo, Giustino Di Sipio, Claudio Paolini, Rossano Tursi, e inoltre l’Archivio di Stato di Firenze, la Biblioteca Nazionale Centrale e la Biblioteca Marucelliana, l’Archivio Storico del Comune di Firenze con Luca Brogioni.

I tre livelli di valutazione LV1, LV2, LV3 conseguiti tra il 2009 e il 2013 dal Dpt Costruzioni e Restauro (oggi di Architettura) dell’Università di Firenze con il supporto del Laboratorio Ufficiale Prove Materiali sono stati coordinati dal responsabile scientifico Mario De Stefano con Maria Teresa Cristofaro, Valerio Alecci, Giampiero Barbetti, Francesco Cristofaro, Angelo D’Ambrisi, Giancarlo Fagone, Francesco Focacci, Alessandra La Brusco, Valentina Mariani, Maria Pianigiani, Tommaso Rotunno, Claudia Sarri, Marco Tanganelli e la laureanda Tayla Biagi oltre Nicola Macchioni e Maria Diodato del CNR IVALSa per le strutture lignee.

La campagna di rilievo 2009 iniziata dalla Direzione Generale con Laura Moro e Antonella Neri per la Tribuna del David e sale adiacenti attraverso l’ISCR di Roma e seguita da Stefano D’Amico, Mara Bucci, Cesare Crova e Angelo Rubino, ha preceduto la campagna di rilievo 2011 di tutto il complesso della Galleria dell’Accademia condotta all’interno del Dpt Costruzioni e Restauro da Grazia Tucci (poi afferente ad altro Dpt) con Francesco Algostino, Valentina Bonora, Laura Bucalossi, Alessandro Conti, Lidia Fiorini (che ha curato le planimetrie guida del presente volume), Nadia Guardini, Alessia Nobile, Salvatore Colucci del laboratorio GeCo.

La microzonizzazione sismica 2011-2012 affidata dal MiBACT al Dpt Costruzioni e Restauro è stata ricostruita insieme a Massimo Coli e Letizia Guerri del Dpt Scienze della Terra UniFi, ed eseguita da Georisorse Italia sas con Gianfranco Censini e Francesco Russotto.

Le misurazioni dinamiche e i livelli di vibrazione della campagna 2011 e dell’Addendum 2012 sono stati processati dal Dipartimento di Scienza della Terra attraverso il responsabile scientifico Maurizio Ripepe col gruppo Giorgio Lacanna, Dario Delle Donne, Giuseppe De Rosa, Letizia Giurra, Emanuele Marchetti, Pasquale Poggi, Giacomo Ulivieri.

La campagna storica 2009 per la ricostruzione delle fasi costruttive e la cartografia è stata conclusa da Daniela Mignani nel 2010; poi è seguita l’indagine storica 2011 condotta dalla Direzione regionale oggi Segretariato regionale avvalendosi della collaborazione precedente insieme al supporto di Patrizia Naldini su suggerimento della Galleria dell’Accademia.

La campagna termografica 2011 è stata offerta da Franco Adduci del Dipartimento di Scienze Matematiche Fisiche Naturali dell’Università di Bari insieme a Vito Basile e Rosario Piergianni di hoTspot snc.

Naturalmente coinvolti con grande impegno l’Accademia di Belle Arti con Giuliana Videtta e Claudio Rocca, il Conservatorio Musicale Luigi Cherubini con Paolo Biordi e Roberto Volpe, l’Opificio Pietre Dure con Maria Alberta Zuffanelli e Francogino Adimari, l’Osservatorio Ximeniano con Andrea Cecconi ed Elisabetta Cioppi, l’Amministrazione di Palazzo Budini Gattai, gli Eredi Augusto Lorenzini con Mario Occhiolini e Alfredo per l’assistenza alle indagini.

Firenze, maggio 2017

il coordinatore e responsabile scientifico
Giuseppe Giorgianni



GIUSEPPE GIORGIANNI Architetto presso il MiBACT, master in bioarchitettura, dottore in Conservazione e Restauro dei Monumenti, è specializzato in Restauro dei Monumenti all'Università di Roma; già docente a contratto in Storia della Città e in Restauro Architettonico presso l'Università di Reggio Calabria, si occupa di storia dell'architettura e urbana, strutture e tecniche storiche e restauri antisismici.

Architect in charge at MiBACT, master in bioarchitecture, Ph.D. in Conservation and Restoration of Monuments, postgraduate in Restoration of Monuments at the University of Rome; former contract professor in History of the City, Architectural Restoration at the University of Reggio Calabria, his research activity deals with architectural and urban history, historical and technical structures and anti-seismic restorations.



MARIA AGOSTIANO Ingegnere civile, si occupa presso il MiBACT degli interventi di tutela e valorizzazione del patrimonio culturale.

Civil engineer, in charge for MiBACT of the interventions to protect and enhance the Cultural Heritage.



MARIA DIODATO Architetto, dottore in Conservación del Patrimonio Arquitectónico dell'Universitat Politècnica de València, collabora con l'Istituto de Restauración del Patrimonio di València.

Architect, Ph.D. in Conservation del Patrimonio Arquitectónico at the Universitat Politècnica de València, she collaborates with the Instituto de Restauración del Patrimonio of València.



VITO BASILE Laureato in Scienza e Tecnologia per la Diagnostica e Conservazione dei Beni Culturali, collabora con il Dipartimento di Scienze Fisiche e Naturali dell'Università di Bari.

Graduated in Science and Technology for the Diagnostics and Conservation of Cultural Heritage, he collaborates with the Department of Physical and Natural Sciences of the University of Bari.



LIDIA FIORINI Architetto, collabora con il Laboratorio di Geomatica e Comunicazione per i Beni Culturali (GeCo) dell'Università di Firenze.

Architect, she collaborates with the Geomatics Laboratory for Environment and Conservation of Cultural Heritage (GeCo) at the University of Florence.



VALENTINA BONORA Architetto, collabora con il Laboratorio di Geomatica e Comunicazione per i Beni Culturali (GeCo) dell'Università di Firenze.

Architect, she collaborates with the Geomatics Laboratory for Environment and Conservation of Cultural Heritage (GeCo) at the University of Florence.



GIORGIO LACANNA Geologo, dottore in Geofisica, collabora con il Laboratorio di Geofisica Sperimentale presso l'Università di Firenze.

Geologist, master degree in Geological Science, he collaborates with the Laboratory of Experimental Geophysics at the University of Florence.



MASSIMO COLI Professore associato di Geologia Strutturale presso l'Università di Firenze, è membro di commissioni tecniche regionali e nazionali e società scientifiche.

Associate professor of Structural Geology at the University of Florence, he is a member of regional and national technical committees and scientific societies.



NICOLA MACCHIONI Laureato in Scienze Forestali, dottore in Scienze del Legno, lavora presso l'Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree (CNR-IVALSA).

Graduated in Forestry Science, Ph.D. in Wood Sciences, he works at the Institute for the Valorisation of Wood and Arboreal Species (CNR-IVALSA).



ALESSANDRO CONTI Architetto, collabora con il Laboratorio di Geomatica e Comunicazione per i Beni Culturali (GeCo) dell'Università di Firenze.

Architect, he collaborates with the Geomatics Laboratory for Environment and Conservation of Cultural Heritage (GeCo) at the University of Florence.



DANIELA MIGNANI Già architetto presso il MiBACT, si è occupata di tutela paesaggistica e architettonica, e di restauri su edifici storici in Firenze e provincia.

Former architect at MiBACT, her research activity has been involved in environmental and architectural conservation, and in restoration of historic buildings in Florence and its province.



MARIA TERESA CRISTOFARO Architetto, dottore in Materiali e Strutture per l'Architettura, collabora con il Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze.

Architect, Ph.D. in Materials and Structures for Architecture, she collaborates with the Department of Architecture of the University of Florence.



MAURIZIO RIPEPE Docente di Fisica Terrestre presso l'Università di Firenze, collabora con il Dipartimento di Protezione Civile e la Presidenza del Consiglio dei Ministri.

Teacher of Geophysics at the University of Florence, he works with the Italian Department of Civil Protection and the Prime Ministry Council.



STEFANO D'AMICO Architetto, ispettore presso il MiBACT, ha diretto il Servizio *Tutela del patrimonio architettonico* presso la D.G. per il Paesaggio, le Belle Arti, l'Architettura e l'Arte Contemporanea.

Architect, inspector in charge for MiBACT, former director of the Service Il Conservation of architectural Heritage at the G.D. for Landscape, Fine Arts, Contemporary Architecture and Art.



GRAZIA TUCCI Professore associato di Topografia e Cartografia presso l'Università di Firenze, dirige il Laboratorio di Geomatica per l'Ambiente e la Conservazione dei Beni Culturali;

Associate professor of Topography and Cartography at the University of Florence, in charge as director of the Geomatics Laboratory for Environment and Conservation of Cultural Heritage



MARIO DE STEFANO Professore ordinario di Tecnica delle Costruzioni all'Università di Firenze, coordina il WG8 Seismic Behaviour of Irregular and Complex Structures.

Full professor of Construction Engineering at the University of Florence, he coordinates the WG8 Seismic Behaviour of Irregular and Complex Structures.

ISBN 978-889486926-2



€ 48,00

9 788894 869262



**PRISTINA
SERVARE**

COLLANA DI RESTAURO ARCHITETTONICO