

## Worksite tracing in Archaeological Architecture. A reconstruction workflow

### *Lo studio delle incisioni per l'Architettura Archeologica. Un workflow per la ricostruzione*

The process of designing an architectural project has always been among the most explored fields of research. On the one hand, it proves to be a historical document of cultural heritage; on the other hand, however, it allows the researcher to grasp the relations obtaining between the design idea and its realization. In this frame of reference the present study of worksite tracings is focused on detail designing. The study of these signs conducted by integrating the traditional surveying techniques with the technologies of massive acquisition as well as with the digital methodologies of model constructing has been carried out in order to grasp the relations between the idea and its realization by continuously comparing real and ideal models, thus extending the knowledge and the documentation of ancient artifacts.

*Il disegno del progetto di architettura costituisce da sempre un campo di indagine molto esplorato. Da una parte si configura come documento storico del patrimonio culturale, dall'altra consente di comprendere le relazioni che intercorrono tra l'idea progettuale e l'effettiva realizzazione dei manufatti. In questo quadro, in particolare sul disegno di particolari architettonici, si concentra lo studio dei tracciati di cantiere. Lo studio di tali segni, condotto integrando le tecniche tradizionali di rilevamento a quelle per l'acquisizione massiva e alle metodologie digitali per la costruzione di modelli, ha l'obiettivo di comprendere le relazioni che intercorrono tra idea e realizzazione attraverso il continuo confronto tra modelli reali e modelli ideali, ampliando la conoscenza e la documentazione di antichi manufatti.*



#### Carlo Bianchini

Full Professor at the Faculty of Architecture of "Sapienza" University of Rome. He conducts research on issues related to documentation, analysis and enhancement of Cultural Heritage. He took part in numerous national and international research projects as an expert in the field of material and immaterial Cultural Heritage.



#### Alfonso Ippolito

Architect, PhD, Associate Professor at the Faculty of Architecture of Sapienza University of Rome. He conducts research in the new survey methods and representation. He has participated in numerous national and international research projects. Member of the Advisory Committee of the Virtual Archaeological Museum of Narce in Mazzano Romano (Rome).



#### Carlo Inglese

Architect, PhD, Assistant Professor at the Faculty of Architecture of Sapienza University of Rome, Department of History, Drawing and Restoration since 2010. In 2014 follows ASN University Associate Professor. He has a deep knowledge in Drawing and Survey of Architecture and Archeology.



#### Martina Attenni

Architect and Ph.D. student in History Design and Restoration at Sapienza University of Rome. She is interested in integrated methodologies of non-contact surveying for the knowledge and study of architectural and archaeological heritage, in particular the new image-based 3D technologies and software for data acquisition and processing.



#### Marika Griffo

Architect and Ph.D. student in History Design and Restoration at Sapienza University of Rome. She investigates the field of representation going from survey, drawing and communication of architecture both with traditional and innovative methods.

#### Key words:

Tracings, worksite plans, engraved drawings, integrated survey, 2D/3D models

#### Parole chiave:

Tracciati, piante di cantiere, incisioni, rilievo integrato, modelli 2D/3D

## INTRODUCTION

The application of worksite tracing as the guideline for realizing archaeological and architectural artifacts goes back to antiquity.

Thanks to the well known practice of *Anagrapheus* (*Anagrapheus*) it was possible to prepare executive drawings of structural and decorative elements which were executed directly upon parts of the artifact at 1 : 1 scale. In those times - just like nowadays - representation played a fundamental role: it enhanced the development at the stage of ideation, provided control at the design stage and verification at the stage of realization. Since there was no versatile, economic and widely available support material, like today's paper, an efficacious mode had to be found to draft designs and communicate information that designers and workers shared between the ideation and the construction. In some way the execution corresponded exactly to the real worksite (building site): the extensive surfaces of the plants provided a physical support upon which designs were realized. Simple signs on stone from those times, have today assumed the full title of tracings or lines which are capable to serve as guidelines at all realization stages of architecture, from representation of basic profiles, to salient points and finally as instructions for assembling constituent elements. All in all the building process in antiquity was strongly connected with the signs present on the constructed artifact [Docci, Gurgone, 1997].

Until a few years ago studies in this domain were conducted exclusively within the framework of reference of archaeology, attention being focused mostly on the tracings discovered during excavation campaigns. The research concentrated primarily on defining the workplace tracings left by tools applied (traces on the surfaces of drains and on contact facets), on guidelines for assembling construction elements as well as on traces left especially for this purpose (lever and casting holes, recesses), but also on traces which make it possible to identify the workforce and various procedures employed in the construction (chisel brands, entrepreneurs, letters and symbols) [Inglese, C. 2000].

In recent years, however, the spectrum of study has been amplified with the view to considering in a in-

novative way the designs incised in situ on stone elements. This has been possible thanks to the ever tighter integration of archaeological experiences with the knowledge and competences inherent in architecture. Studies of predominantly architectural character inquire into this very practice as being employed not only in antiquity but also in constructing romanesque and gothic churches and cathedrals in various European cities [Branner 1957; Branner 1963; Brunet, 1928; Bucher, 1979; Ruiz de la Rosa, 1987; Chiovelli, R., Esposito, D. and Mengali, M.A.L. 2011]. The third direction of studies in this field takes into particular consideration the implications of applying the tracings in the realization of elements belonging to the category that can be defined as archaeological architecture embracing all artifacts that combine inseparable these two values. The research presented here is focused precisely on this concept, spanning ancient Roman and medieval archaeology, yet concentrating on the role played by representation. On the one hand, the design of the tracings made it possible to classify them in relation to the purpose (objective) for which they were devised and realized [1], also in the light of the profound difference that exists between those closer to archaeological studies and those belonging more to the world of architecture and its representation. On the other hand, the study of the tracings opens up the possibility to analyze the correspondence between antique tracings and the final realization of the artifacts by taking advantage of the potentialities inherent in the construction of digital 3D and 2D digital models.

The present research belongs to the field of medieval studies, its objective being to analyze the correspondence between ancient worksite tracings and the realization of artifacts by constructing various typologies of 2D and 3D models. The study is based on the cognitive methodologies and analyses of architectural heritage as well as on surveying techniques – both traditional and innovative – creating a synergy and bringing to advantage the heterogeneous competences involved (architects, archaeologists, historians) and models of all kinds (numerical, geometric, architectural, 2D and 3D). This multidisciplinary and multidimensional process places the study both of material features (spatial, construction, artistic) and the immaterial ones relevant

to their use in the wide cultural and social context, linking them to history. The survey provides an essential number of material elements, extracting construction matrixes, relations of proportion, stylistic and composition rules, but also that which in the course of centuries has produced, transformed and finally attributed value to precisely these elements. The procedure followed leads to the construction of models understood as the product of operations that a subject imposes on an object to extract some of the innumerable information which becomes available through the codes of representation. The choice of the type of model, of the set of objective data to be selected as well as of the representation code are not, therefore, independent of the quantity and the quality [2] of the data to be communicated [Bianchini, Inglese, Ippolito, 2017].

With these premises defined the study of worksite tracings has been conducted, taking for its point of departure multiple massive acquisitions of the signs incised in stone and of the successively constructed artifacts. Although surveying and representing an existing construction include elements already well-known, the approach to surveying a worksite tracings is an activity that has not yet been formed into a definite, well defined process. Moreover, the study and analysis of such worksite tracings open up the possibility to use original drawings which provide information on concrete parts of ancient artifacts. It can further be applied as the point of reference in cases of buildings collapsing, being destroyed or information about them having been irretrievably lost through inadequate maintenance or negligence [3].

The present study has been conducted with the objective to demonstrate the way in which the approach to the study of artifacts carried out predominantly with the digital methodologies for information acquisition and elaboration integrate quite consistently the knowledge derived solely from archaeology. Thanks to the interaction of architects and historians made it possible to place the application of the tracings among the methodologies used for managing building sites in antiquity. This led to the recognition of the practice of incising signs in stone as a true and proper operative methodology, widely used mostly at the construction sites of public buildings in antiquity [4].

The case studies analyzed reveal extremely varied characteristics from numerous points of view. In the first case the tympanum engraved on the Augusteum, is recently interpreted as an arrangement of the entrance of the Mausoleum itself; instead the second case refers to some elements that seem to have been executed at the time when the façade was being renovated, the correspondence between the incised element and the architectonic one realized on the XVII century portico is easily retraceable.

Both were analyzed in order to gain an understanding of the relations obtaining between the executive design and the realization effected, using 3D/2D models as instruments of confirming (or disproving) the correspondence or for putting forward new interpretations. The elaboration of data acquired by integrating the most innovative surveying techniques (3D laser scanner and Structure from Motion) with traditional ones allowed us to study both the realized architectural elements as well as the relative incisions relating the architectural scale (that of the constructed elements) with the extremely detailed scale (1 : 1 scale of the incisions).

#### ROMAN ARCHAEOLOGY: THE PRONAO OF THE PANTHEON

The integrated surveying of the pronaos of the Pantheon made it possible to further verify the theory that the tracing lines engraved on the paving on the entrance of Mausoleum of Augustus are the final plans for the tympanum of the Pantheon [Colini, A.M., Giglioli, G.Q. 1926]. This interpretation is also corroborated by studies of Lothar Haselberger on numerous worksite tracing lines representing the design of architectural details, 1:1 scale, used to control the building process [Haselberg, 1994; Haselberg, 1995]. The role of the representation is fundamental for the constructions of one of the most important buildings of antiquity. This allows us to understand the history and all the construction aspects [Attilia, 1987]. Representation, in this case, allows us to establish a relationship between Pantheon direct survey engravings and indirect survey of the pronaos [5]. The metric and formal data regarding the plans were obtained during a direct survey campaign conducted in 1999, before the start of exca-

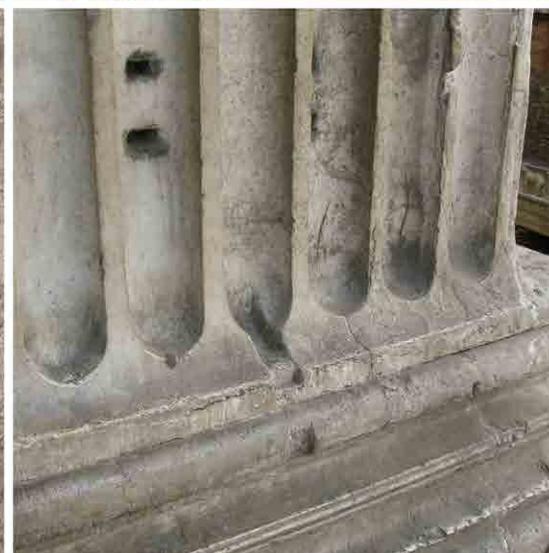
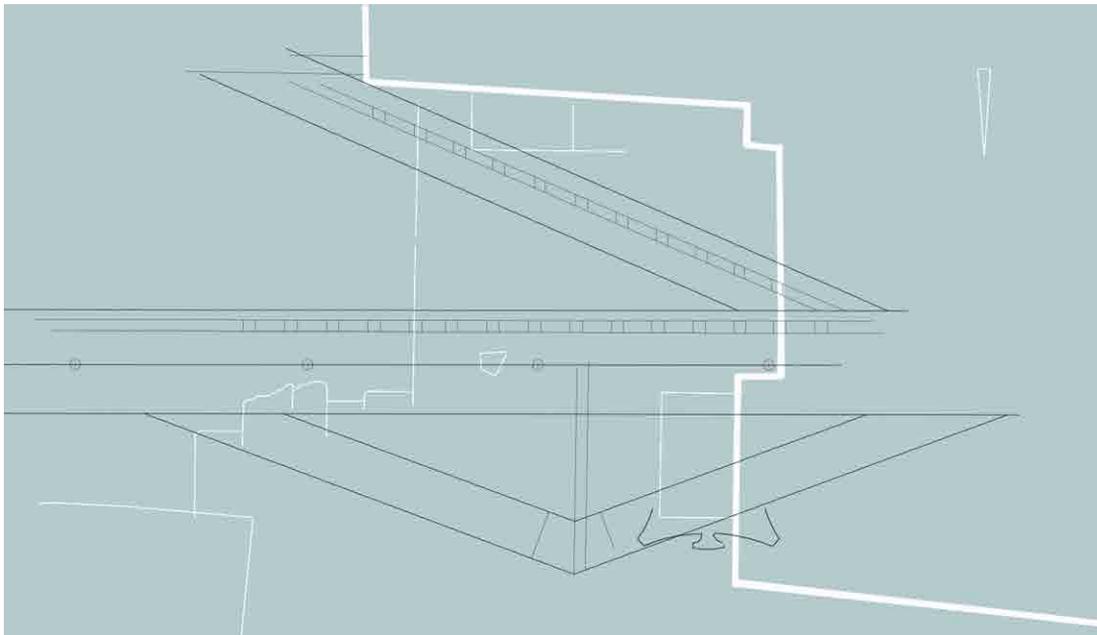


Fig. 1 - Example of worksite tracing. Roman forum, Rome, attic base engraving on stone element; Theatre of Mileto. Molding of the outer closing wall of the cavea; Pergamo, Dioniso's Temple, working tracing for column's bases; Pantheon, Rome, engraved circles for the realization of the drill strings of the pronaos internal pylons.



Fig. 2 - Pantheon (Rome).

Fig. 3 - Detail of worksite tracing on the entrance floor to the Mausoleum of Augusto.



vation conducted by Archaeological Superintendence, the authority which currently grants access to the area of Mausoleum of Augustus. The engraving and supporting travertine slabs were measured directly in situ; the thickness of engravings (on average just half a centimeter) was measured using a crack meter. This direct measurement campaign provided us with the size and formal characteristics of the engravings as well as the reciprocal position of the elements in the plan. Therefore, the engravings are partly covered by a modern curtainment wall, these are the measurements of the major tympanum with the tripartite division of classical trabeation: length of horizontal elements 6,42 m; height of the tripartite fascia 2,05 m; length of the sloping elements 7,15 m with a roughly 24° gradient. A fascia approximately 0,60 m high is located below the cornice; when it reaches the frieze it has several short vertical elements emphasized by circumference placed at a reciprocal distance of 0,045 m; the latter represent the interaxes of the column of an octastile façade. The horizontal elements of the smaller tympanum are more schematic compared to the other and measure approximately 6,42 m; the axes of symmetry are 4,15 m long; the gradient is 21°.

A little over ten years later we repeated a similar survey of the tympanum of the Pantheon with a 3D Laser scanner, and then superimposed the graphic restitution of the engravings on the points cloud [Inglese, 2013]. Above all it allowed us to test the use of the laser scanner survey method in a comparative study of the worksite tracing lines of the architectural elements and the actual architectural elements. Having conducted a meticulous preparatory logistic analysis of the monument and its surroundings, we developed a survey project requiring the use of two different methodologies: topography and a 3D laser scanner survey [6]. The instrumental survey which used an integrated station and an open polygon, was considered as a mere support for the next scansion. This kind of survey allowed us to rigidly block the surveyed object and to use the survey to support and verify all the further scansions recorded with the 3D laser scanner.

This survey produced an objective numeric model of the façade of Pantheon and was also the first data we could use to check Haselberger's theory. The necessary elaborations, in essence an orthogonal projection of

the façade, is based on this metadata. The final result is a numerical model with uncertainty detail under 3mm. It is compatible with the goal of the survey and the representation scale, that was previously established in 1:50.

The direct survey of engravings is superimposed on the parallel projection of the point cloud, to create an outline of the façade with sharp features. This verification resulted in substantial correspondence between the plan of the major tympanum and the architectural element of Pantheon. This elaboration only involve the position of the pronaos and the vertical and inclined consoles of the cornice.

Furthermore – and this is one of the most interesting aspects of this study – if the current archaeological excavation campaign unearths more engravings, or supplementary parts of the one we already have, then the numerical model obtained can be used again and new data simply added.

#### MEDIEVAL ARCHAEOLOGY: THE THE PORCH OF SANTA MARIA ASSUNTA

The process of integrated survey conducted by combining traditional techniques – pouncing [7] and direct survey – with the methodologies of mass acquisition: 3D laser scanning and Structure from Motion (SfM), made it possible to construct digital models capable of providing a valid contribution to all the activities of documentation, knowledge and analyses of the structure under study. The point of departure adopted for the purpose was the survey of the worksite tracings on the counterfaçade and of their corresponding elements realized successively, following a very attentive interpretation and identification thereof. Virtualization of survey data enabled 2D/3D models to be constructed comparing the ideal datum with the real one in order to verify whether the worksite tracings for constructing the physical element were used adequately. Such an operation is possible by rigorously applying rules of geometry that constitute the only control instrument in this particular case. Digital models, nowadays ever more heterogeneous and dynamic both in their creation and management, prove to be proper virtual substitutes of real objects. They come to be expressed through various forms of representation which – by

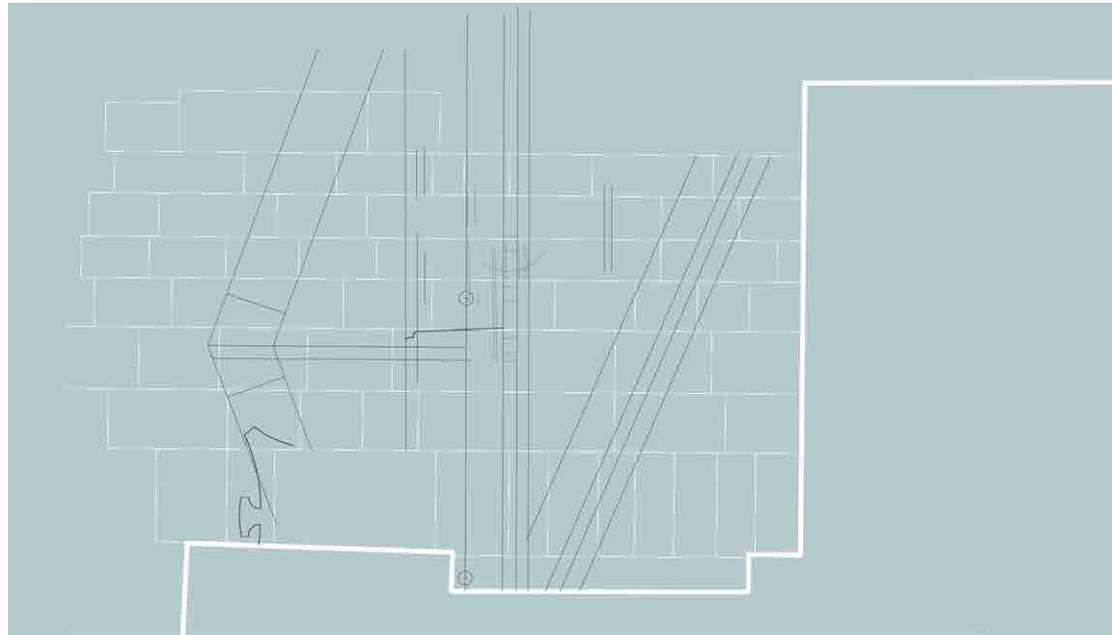


Fig. 4 - Graphic restitution of the layout with the location of tracing lines and travertine paving of the Mausoleum of Augusto.

optimizing the univocal transmission of information (metric, geometric, concerning color, concerning reflectance, etc.) - are applied to simulate more varied operations and carry out ever more profound analyses. The case study has demonstrated, yet another time, the importance of integrating traditional and innovative techniques: before direct survey is conducted, pouncing makes possible a direct interpretation of representations in real scale by recognizing the features of architectonic objects hardly visible to the naked eye and made evident through the contrast of graphite and the light coloring of the stone. Successively, the application of scanning – general and detailed – high resolution photograph and image based modeling techniques allowed us to acquire both the worksite tracings and the elements in which the architectural complex is articulated. The use of various methodologies made

it possible to compare the models obtained as to their metric accuracy, controlled in cases of laser scanning and always to be verified when SfM is applied [8].

The elaboration of different data typologies enabled a critical reading of the whole complex in the light of new analyses. In particular, bi-dimensional restitution of the worksite tracings opened up the possibility to go back to the geometric-constructive process concerning individual elements; 3D and 2D models of real objects have been subjected to geometric and proportion studies appropriate for identifying the design logic on the basis of the construction of structural and decorative elements and the correspondence of the already known orders of reference [9].

The approach adopted here envisaged first the analysis of the geometric construction of the rediscovered signs, studying them in relation to the instruments used

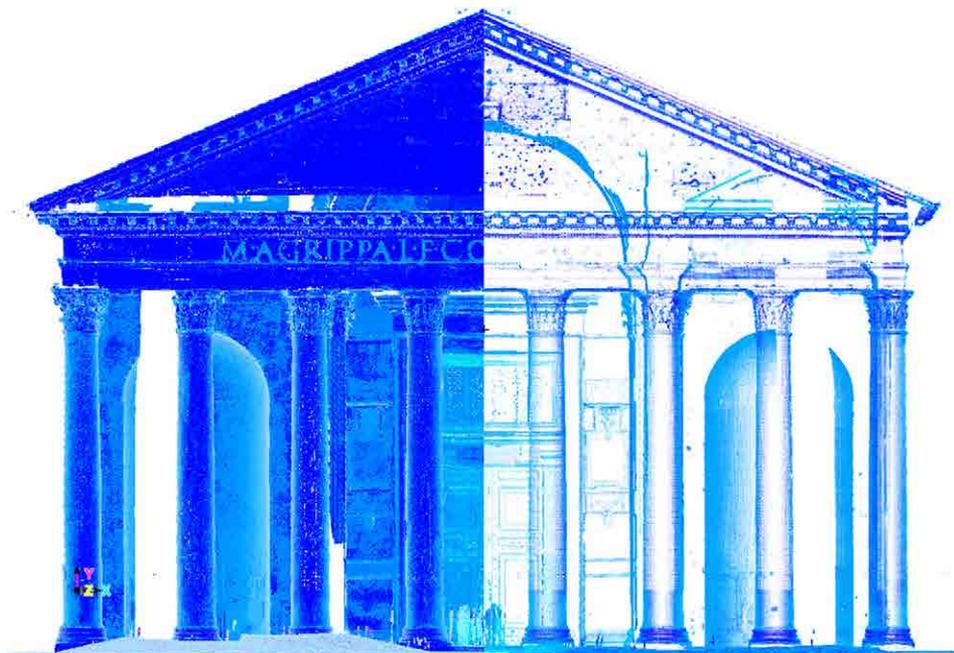


Fig. 5, 6 - Pantheon, numerical model.

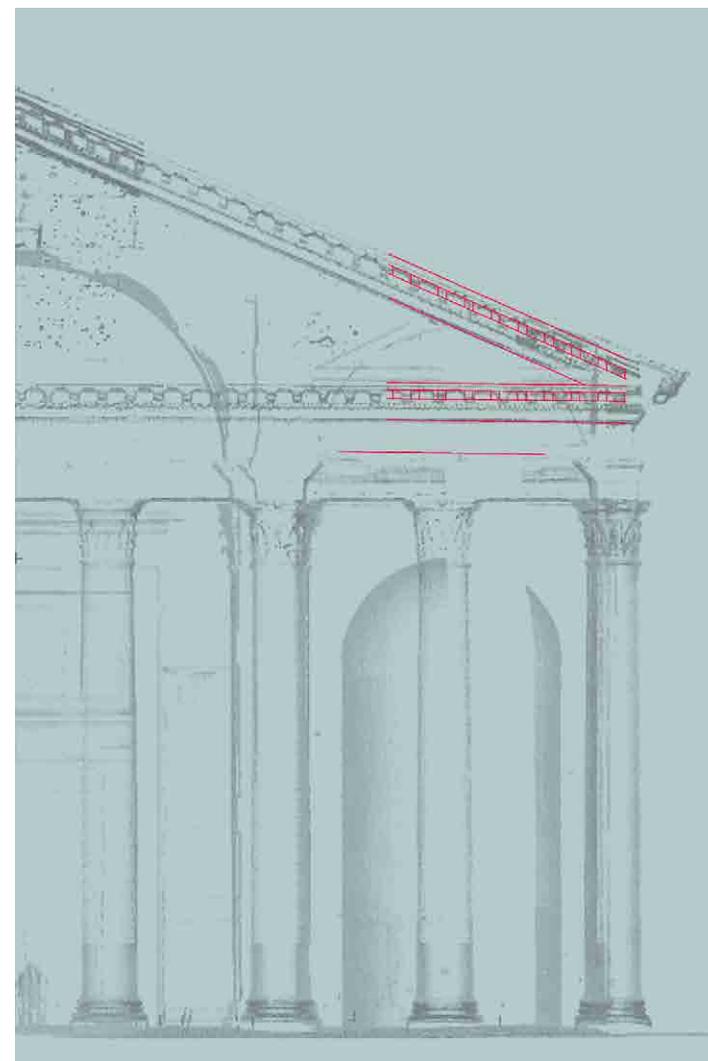


Fig. 7 - Superimposition of the tracing lines on the numerical model.

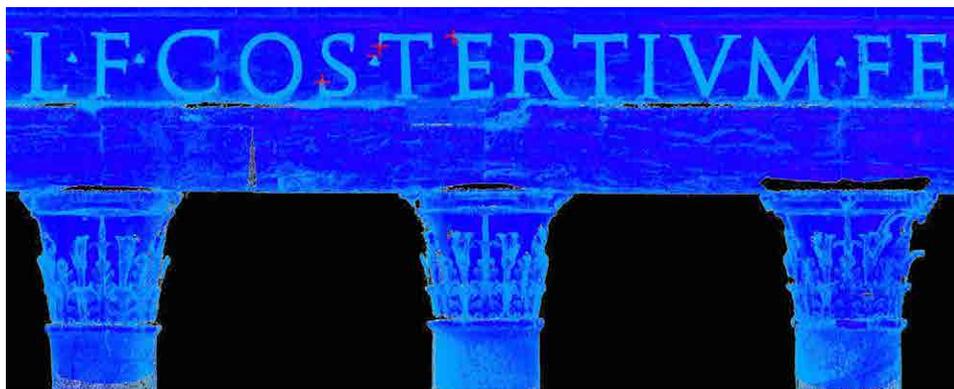




Fig. 8 - The cathedral of Santa Maria Assunta (Terni, Umbria).

<http://disegnarecon.univaq.it>

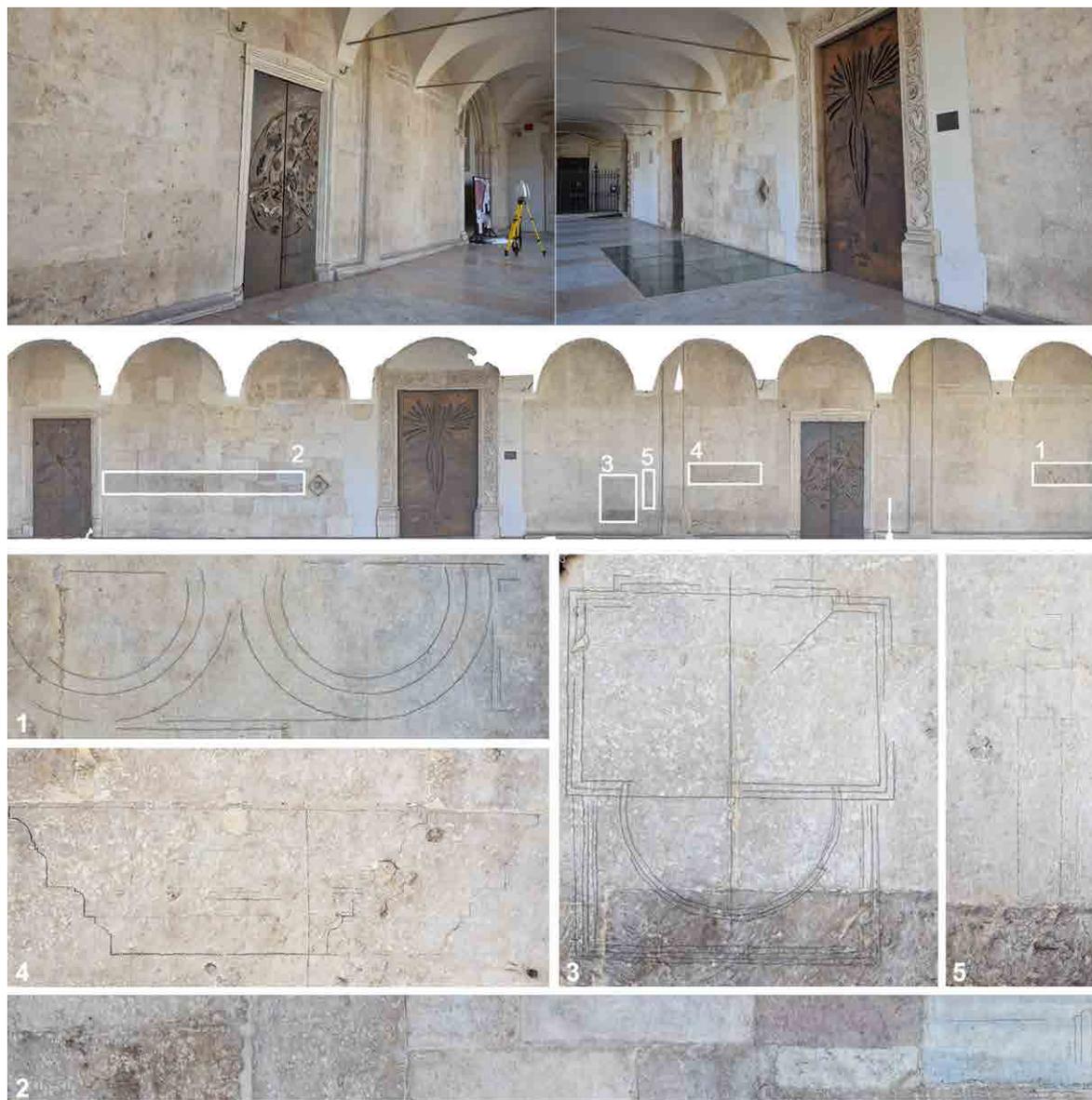


Fig. 9 - Detail of worksite tracing on the counterfaçade.

for incising the stone and successively comparing them with the elements realized. Of special interest were the worksite tracings of the plan of the binate column and of the half column, which made it possible to put forward some hypotheses as to the process adopted in the stage of constructing. In the former case, it seems that even though it can be said that the circumferences that describe moldings and those of the column sections are concentric [10], they are definitely a little flattened. The information obtained suggested a comparison in terms of proportions – first with the half column and then with the whole portico. In the course of the analysis of the worksite tracing of the half column it has been observed that the distance between the arches of circumference are of a few centimeters only, which makes it highly unlikely that the object in question is the representation of the half column in section with the designs of the moldings and the plinth. The real model, constructed by laser scanning elaborations and sectioned with horizontal planes of various depths has brought to light that the three circumferences correspond exactly to the sections of the column at the sommoscapo and imoscapo and in correspondence with the entasis. The diameter of the column at its imoscapo amounts to 50.9 cm and has been used as the basis of a metrological-poportional study of the portico, which also perfectly matches the diameter of the two paired columns. It was used as a basis for the metrological-proportional study of the portico with the aim to investigate the current formal appearance. The value is consistent with the structure sizing: the ratio between the sides of the façade is about 1/10, the one between the façade and counterfaçade by just over 1/2. However, there is no exact match with the Roman architectural palm (22.34 cm) and the Roman foot (29.78 cm), unit of measure used during the realization. The hypotheses conducted show that the modules that approximate the diameter of the semicolumn are 2 palms and 1/4, corresponding to 50,265 cm, with a deviation about 6 mm, 1 foot and 3/4, corresponding to 52,11 Cm, with a deviation of about 12 mm, ¼ of the merchant cane (8 palm = 199.2 cm), corresponding to 49.8 cm, with a deviation of 11 mm.

Analogous to the above studies were the analyses of the rediscovered worksite tracings, in which the comparison of models yielded different results. In the case



Fig. 10 - Numerical model of the whole cathedral and detail of the counterfaçade

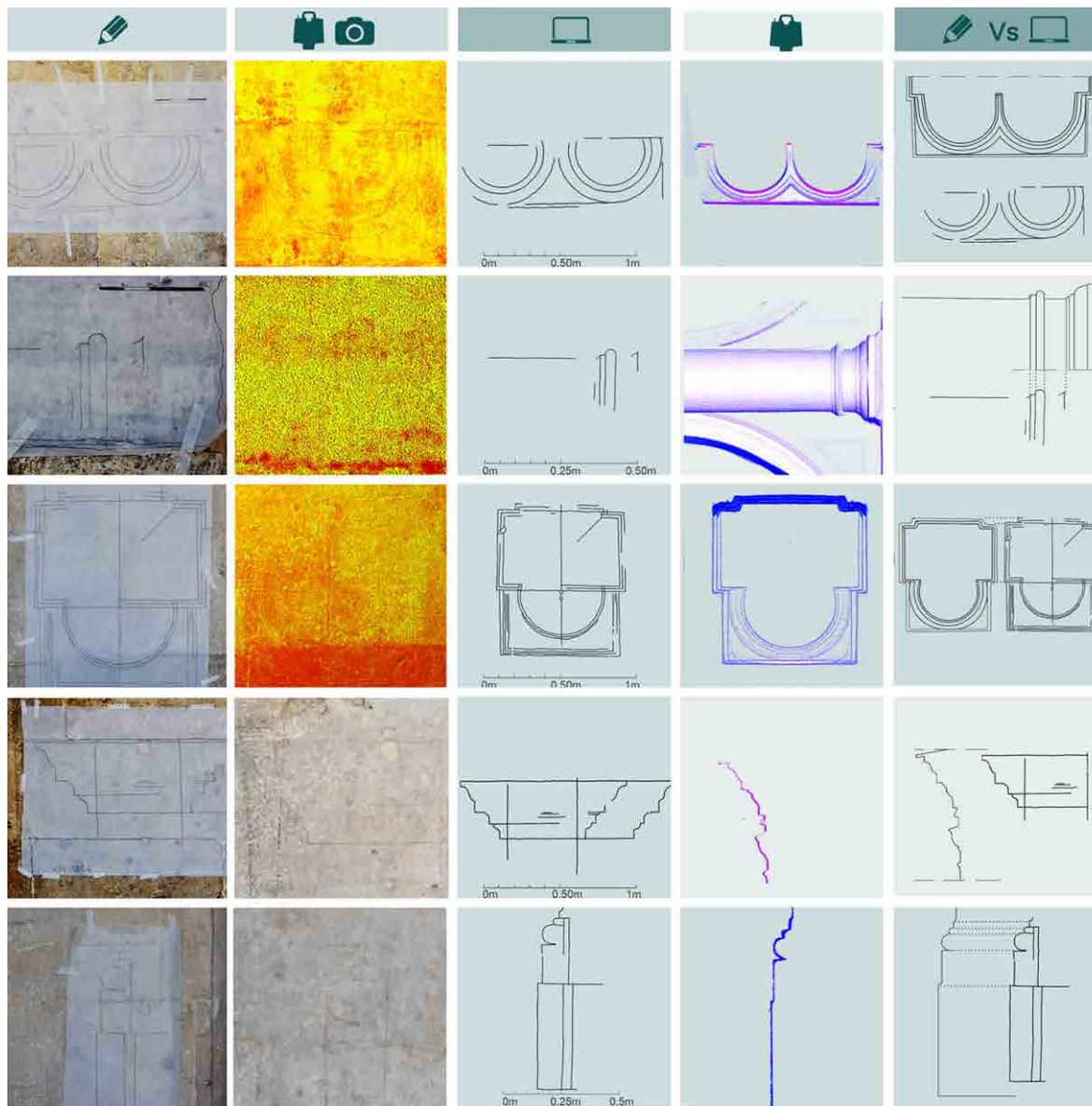


Fig. 11 - The integrated surveying process: comparison between traditional and innovative methodologies.



Fig. 12 - Data elaboration from 3D massive acquisition surveying for the construction of 3D/2D models of the binate column.

of the entablature the drawing has not been found to be totally corresponding to the element constructed. On the contrary, the representations - in perspective and in section - of the bases of the columns prove to be identical to those of the realized columns.

The analysis of the worksite tracings is a complex matter because of the need of correctly interpreting the drawings, often partially preserved and constituting the only trace of documentation at our disposal, but also for the effort of abstracting necessary to interpret the design idea behind the construction which not always corresponds to the existing constructed element.

But all these activities prove to be strictly connected with the methodologies which serve the cognition, the documentation and the communication of cultural heritage through the interaction of data acquired and the elaboration of 2D and 3D models, ever more complete and complex. The procedure stages of the study constitute the basis for a methodology that can be applied in different contexts, from the verification of studies as to the adequate formal correspondence between real and ideal models to the verification of a possible relation of incised representations to architectural models in cases when the association is not direct or immediate.

### CONCLUSIONS

The analysis of the worksite drawings is complex because of the need of correctly interpreting them. Often, even when just partially preserved, they are the only trace of documentation at our disposal. It requires an effort to abstract the signs and to interpret the design idea behind the construction which not always corresponds to the existing constructed element [Inglesse e Pizzo, 2016]. But all these activities prove to be strictly connected with the methodologies which aid cognition, documentation and communication of cultural heritage through the interaction of acquired data and the elaboration of 2D and 3D models, ever more complete and complex. The procedures of the study constitute the basis for a methodology that can be applied in different contexts, from the verification of studies as to the adequate formal correspondence between real and ideal models to the verification of a

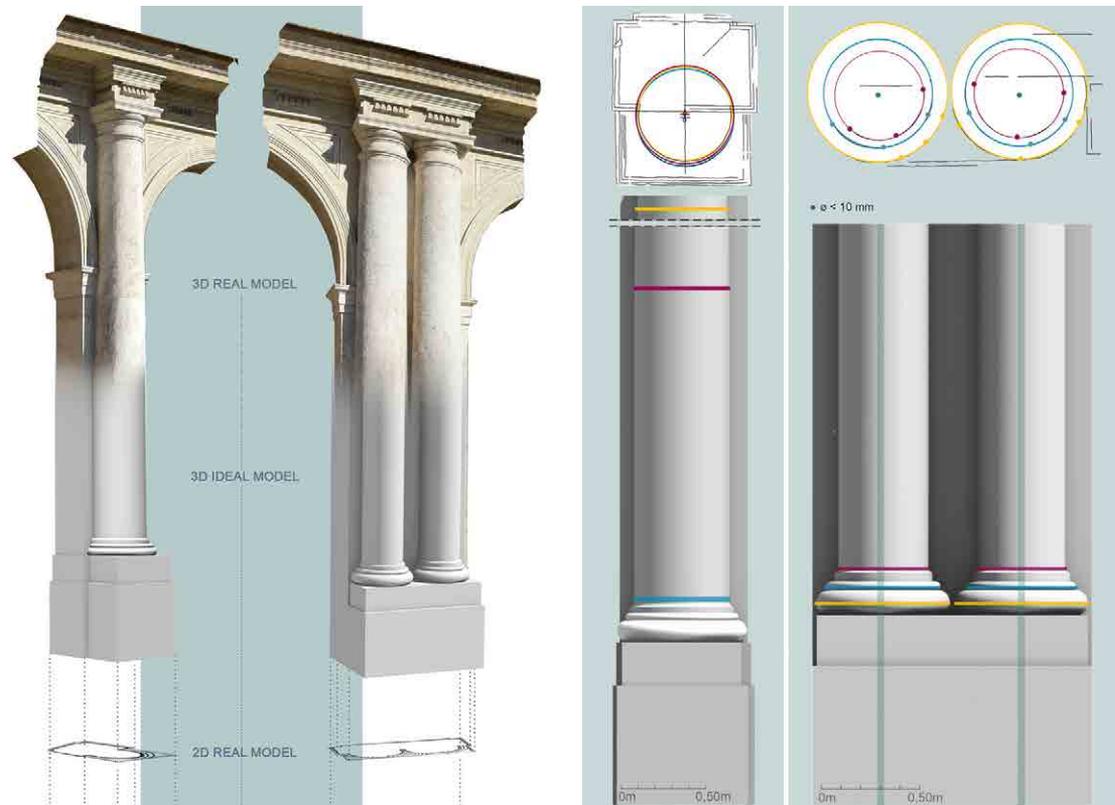
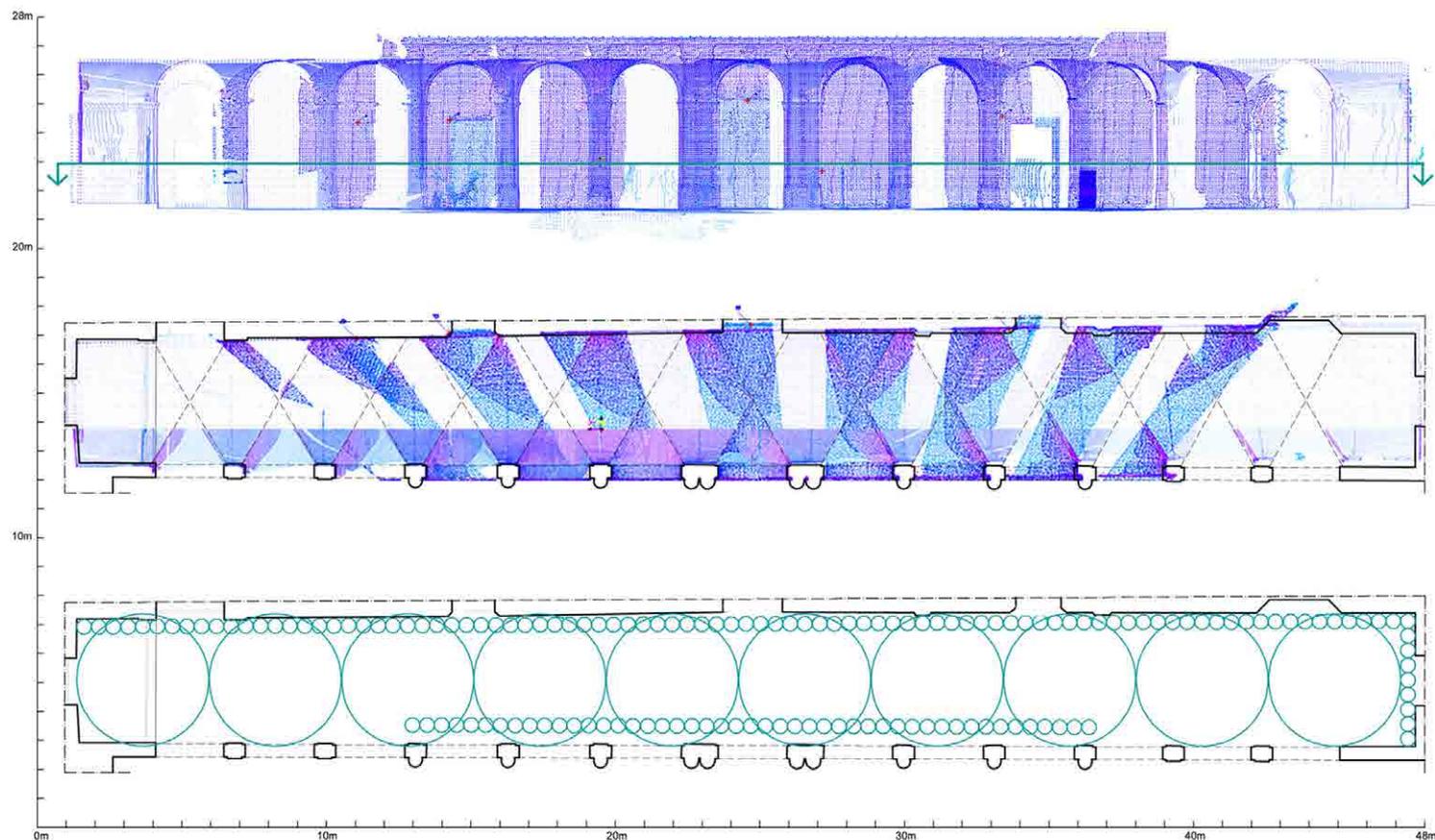
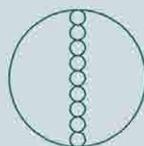


Fig. 13, 14 - Analysis and geometric constructions of the half column and the binate column. For half column, the transparency moldings have been modeled on the basis of the surveying of the real element, since it is not possible to obtain enough information just from the worksite tracings.



Ø colonna all'imoscapo = 50,9 cm

- 2 +1/4 palmi romani (1 palmo = 22,34 cm)
- 1 +3/4 piedi romani (1 piede = 29,78 cm)
- 1/4 canna mercantile (1 canna = 199,2 cm)

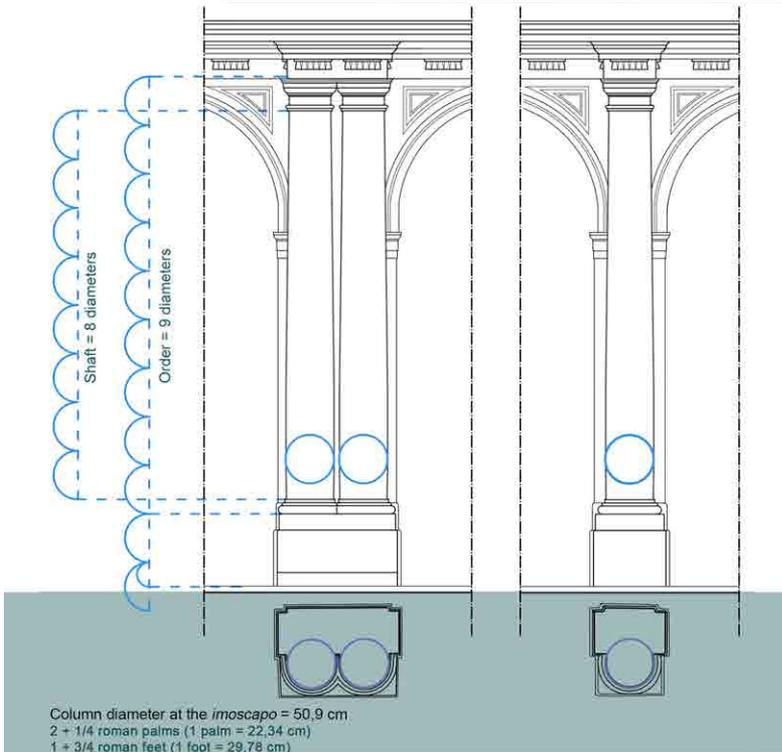


largh. portico = 9Ø = 458,1 cm

- 20+1/2 palmi romani
- 15+1/3 piedi romani
- 2+1/3 canne mercantili



Fig. 15 - Proportion of the portico. The length, 46.31 m, corresponds to 91 modules; the width, which varies between 4.27 m on the left and 4.61 m on the right, completely match 9 modules in the central part of the facade, axis with the main portal.obtain enough information just from the worksite tracings.



possible relationship between incised representations and architectural models even when this association is not direct or immediate. It was made possible by the processes of model constructing and the subsequent metric, geometric, formal and stylistic study indispensable for extending the level of cognition (knowledge), ever more connected with the possibilities to archive, communicate and spread the information on cultural artifacts and also for their protection and preservation. A significant surplus value emerges from the approach that integrates competences of architects, art historians, archaeologists: it made it possible to catalogue Romanesque and gothic incised drawings, to analyze their practical application in building as well as to study the relations obtaining between worksite drawings and the realization of architectonic elements by constructing and comparing real and ideal models.

Fig. 16 - Proportion of the architectural order. The half column and the binate column.

## NOTES

[1] In order to get the idea of the application settings of the incisions and what role they played within the construction process, it has been found helpful to articulate the subject by identifying two principal typologies of signs. The first of them were characterized as tracings of assembly, or incisions made in situ to control the positioning of architectural elements. The other group, referring strictly to architecture, were classified as design tracings, that is those that served tentative projecting and controlling elements to be assembled.

[2] The survey operations (in the stage of data acquisition) provide objective information that describe the elements analyzed in quantitative terms (coordinates, position, geometry). Instead, the next stage of the survey (data elaboration) describes the quality of the object analyzed with reference to the properties contingent of permanent and to any formal aspect concretely determined within a given reality.

[3] That is, it acquires more relevance in the determined historical period during which earthquakes in central Italy caused enormous and often irreparable damage. The prominent example is that of the San Salvatore church in Campi (Umbria) razed completely to the ground by the earthquake of August 2016. On the aisle floor there was a complex worksite tracing presenting the plan and the elevation of the original belfry realized for stereotomic cuts and used as models for reconstructing the structure after the earthquake of 1859.

[4] Justified by purely economic motivation: in fact, it is only in these cases that one has at one's disposal money to pay for highly specialized employees who can execute the incisions. One of the

few examples on incisions carved out in a private house is that of the scale incised on one of the walls of the House of the Faun in Pompei.

[5] As discussed below, this is the result of numerous surveying campaigns performed with the participation of the Archaeological Superintendence and the Department of History, Design and Restoration of Architecture in 1999 and 2013.

[6] Two types of scansions are used: a general scansion with 5x5 mm sample spacing to acquire the entire complex or large parts of it, and a detailed scansion with 2x2 mm sample spacing for the target.

[7] Pouncing is an art technique used for transferring an image from one surface to another. It is similar to tracing, and is useful for creating copies of a sketch outline to produce finished works.

[8] Reference is made here to the management of parameters such as the probe and the sample spacing. In the case of 3D laser scanning they make it possible to establish the distance from the points in the surveyed surface and to define the precision of the measurement. The numerical model thus obtained proves to be scaled in relation to the object surveyed. In the case of the SfM, however, integration with other surveying methodologies is considered indispensable in order to control the metric aspect of numerical models obtained.

[9] The comparison has been carried out with the classical architectural orders extracted from the treatise of Jacopo Barozzi da Vignola, *Regola delli Cinque Ordini d'Architettura* (Canon of the Five Orders of Architecture) (1562).

[10] The portions of the arches made it possible to construct circumferences for three points

whose centers are placed on the diameter shorter than a centimeter.

## BIBLIOGRAPHY

Attilia, L. 1987. Il Mausoleo di Augusto. In Coarelli, F. Roma repubblicana dal 270 a.C. all'età augustea. V.3. Roma: Quasar, 1987, pp. 29-34.

Bianchini, C., Inglese, C. and Ippolito, A. 2017. I Teatri del Mediterraneo come esperienza di rilevamento integrato. The Theaters of the Mediterranean as integrated survey experience. Roma: Sapienza Università editrice, 2017, 244 p. ISBN: 9788898533930.

Branner, R. 1963 Villard de Honnecourt, Reims and the Origin of the Gothic Architectural Drawing, in "Gazette des Beaux-Arts", 105 (61), pp.129-146.

Branner, R. 1957 Note on Gothic Architects and Scholars, Burlington Magazine, n°115, pp.372-375.

Brunet, E. 1928 La restauration de la cathedrale de Soissons, Bulletin Monumental, LXXVII, pp.65-69.

Bucher, F. 1979 Architector. The Lodge Books and Sketchbooks of Medieval Architects, v.1, New York.

Chiovelli, R., Esposito, D. and Mengali, M.A.L. 2011. El dibujo de obra en Italia central en la época medieval, in Actas del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Santiago de Compostela, 26-29 octubre de 2011  
Deneux, H. (1925). Signes lapidaires et epures du XIIIe siecle a la Cathedrale de Reims, in "Bulletin Monumental", 84, pp.99-130.

Colini, A.M., Giglioli, G.Q. 1926. Relazione della prima campagna di scavo del Mausoleo di Augusto. *Bullettino della commissione archeologica comunale di Roma*, 1926, pp. 191-235.

Docci, M. and Gurgone, A. 1997

Progetti Di Pietra, *Disegnare, Idee ed Immagini* n. 15, pp.21-32

Haselberg, L. 1994. Ein Giebelriss der Vohalle des Pantheon: die Werkrisse vor dem Augustusmausoleum. *Mitteilungen des Deutschen Archaeologism Instituts, Roemische Abteilung*, vol. 101, pp.279-308.

Haselberg, L. 1995. Un progetto architettonico di 2000 anni fa. *Le scienze*, 324, pp. 56-61.

Inglese, C. 2000 Progetti sulla Pietra. *Strumenti del Dottorato di Ricerca* n° 3, Gangemi Editore, Roma.

Inglese, C. 2013. Il tracciato di cantiere dell'Augusteo in Roma: integrazione di metodologie di rilievo. *Disegnare Idee Immagini*, 46, pp. 64-73.

Inglese, C. and Pizzo, A. (eds) 2016 I tracciati di cantiere. *Disegni esecutivi per la trasmissione e diffusione delle conoscenze tecniche*. Roma: Gangemi Editore.

Ruiz de la Rosa, J.A. 1987 *Traza y Simetria de la Arquitectura en la Antiguedad y Medievo*, Sevilla : Servicio de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.

## ***Lo studio delle incisioni per l'Architettura Archeologica. Un workflow per la ricostruzione***

### INTRODUZIONE

L'uso dei tracciati come linee guida per la realizzazione di manufatti archeologici e architettonici ha radici molto antiche. La nota pratica dell'Ἀναγραφεύς (*Anagrapheus*) consentiva di realizzare disegni esecutivi di elementi strutturali e decorativi, eseguiti direttamente su parti di manufatti, facendo ricorso ad incisioni in scala 1:1. La rappresentazione, allora come oggi, svolgeva un ruolo fondamentale: consentiva lo sviluppo in fase ideativa, il controllo in fase di progettazione, la verifica in fase di realizzazione. L'assenza di un supporto versatile, economico e diffuso, come la nostra carta, infatti, imponeva la necessità di trovare modalità efficaci per redigere i progetti e per comunicare le informazioni che progettisti e maestranze condividevano dall'idea alla costruzione. L'esecutivo, in certo qual modo, corrispondeva esattamente al cantiere vero e proprio: le grandi superfici piane delle fabbriche costituivano il supporto fisico su cui venivano realizzati i disegni.

Quelli che allora erano semplici segni sulla pietra oggi sono considerati a pieno titolo tracciati, ovvero linee in grado di guidare tutte le fasi realizzative dell'architettura, dalla presentazione dei profili fondamentali, agli spiccati, per finire con le istruzioni per il montaggio degli elementi. Il processo edilizio nell'antichità risulta essere quindi fortemente legato a segni presenti sulla costruzione stessa [Docci, Gurgone, 1997].

Fino a qualche anno fa, gli studi condotti sull'argomento, avevano una dimensione quasi esclusivamente archeologica, con un'attenzione rivolta soprattutto ai tracciati rinvenuti durante le campagne di scavo. Tali studi risultano essere principalmente incentrati sulla definizione di tracce di lavorazione lasciate dagli strumenti (tracce sulle superfici di scarico e sulle facce di contatto), sulle linee guida per il montaggio degli elementi costruttivi e sulle tracce lasciate con questo scopo (fori di leva, di colata, incassi), ma anche tracce che documentano l'identificazione delle maestranze e i vari procedimenti utilizzati nella costruzione (marche

di scalpellini, imprenditori, lettere e simboli) [Inglese, C. 2000].

Negli ultimi anni il campo di studi si sta ampliando, arrivando a considerare diversamente i disegni incisi in loco su elementi lapidei, grazie alla sempre più forte integrazione tra le esperienze archeologiche e le conoscenze e le competenze architettoniche.

Gli studi di carattere prettamente architettonico indagano come la stessa prassi sia stata impiegata non solo nel mondo antico, ma anche su chiese e cattedrali di stile romanico e gotico di diverse città europee [Branner 1957; Branner 1963; Brunet, 1928; Bucher, 1979; Ruiz de la Rosa, 1987; Chiovelli, R., Esposito, D. and Mengali, M.A.L. 2011] [1]. Un terzo filone di studi sull'argomento riguarda in maniera più specifica le implicazioni dell'utilizzo dei tracciati nella realizzazione di elementi appartenenti alla categoria che si può definire come Architettura Archeologica, indicando con questo termine tutti quei manufatti in cui tali valori risultano essere, di fatto, inscindibili.

La ricerca presentata si inserisce proprio in questo ambito, spaziando tra l'archeologia romana e quella medievale, ma concentrandosi sul ruolo assunto dalla rappresentazione. Da una parte, il disegno dei tracciati ha reso possibile una classificazione degli stessi in relazione all'obiettivo per cui venivano realizzati [2] anche alla luce della profonda differenza che esiste tra quelli più vicini agli studi archeologici e quelli più vicini al mondo dell'architettura e della sua rappresentazione. Dall'altro, lo studio delle incisioni consente di analizzare la corrispondenza tra antichi tracciati e realizzazione effettiva dei manufatti sfruttando le potenzialità derivate dalla costruzione di modelli digitali 3D e 2D. Lo studio si appoggia alle metodologie per la conoscenza e l'analisi di elementi del patrimonio culturale, e alle tecniche di rilevamento, tradizionali ed innovative, traendo sinergia e vantaggio dall'eterogeneità delle competenze coinvolte (architetti, archeologi, storici) e da tutti i modelli (modelli numerici, geometrici, architettonici, 2D, 3D).

Si tratta di un processo multidisciplinare e multidimensionale che contempla lo studio sia delle caratteristiche materiali (spaziali, costruttive, artistiche) sia di quelle immateriali attinenti all'uso, al contesto culturale e sociale, alla storia. Le attività di rilievo consentono di cogliere l'intima essenza degli elementi materiali, estraendo matrici costruttive, rapporti proporzionali e regole stilistiche e compositive, ma anche di ciò che nei secoli ha prodotto, trasformato, conservato e infine attribuito valore a quegli elementi. Il processo seguito porta alla costruzione di modelli, intesi come prodotto di operazioni che un soggetto opera su un oggetto in modo da estrarne alcune tra le innumerevoli informazioni disponibili rendendole fruibili per mezzo dei codici della rappresentazione. La scelta del tipo di modello, dell'insieme di dati oggettivi da selezionare e del codice della rappresentazione, non è dunque indipendente dalla quantità e dalla qualità [3] dei dati che si intendono comunicare [Bianchini, Inglesse, Ippolito, 2017]. Con queste premesse viene affrontato lo studio dei tracciati, il cui punto di partenza è costituito dalle molteplici acquisizioni massive che riguardano sia i segni incisi sulla pietra, sia i manufatti successivamente costruiti. Se rilevare e rappresentare il costruito comprende una serie di passaggi ormai noti, l'approccio al rilievo del disegno esecutivo (le incisioni) costituisce

certamente un'attività per la quale non esiste ancora un processo definito. Inoltre, lo studio e l'analisi di tali tracciati offrono la possibilità di utilizzare disegni originali che forniscono informazioni su determinate parti di antichi manufatti, da utilizzare come riferimento nel caso di crolli, distruzioni o perdita di informazioni a causa di mancata manutenzione ed incuria [4]. Il presente studio è stato condotto con l'obiettivo di mostrare come l'approccio allo studio di manufatti, condotto essenzialmente con metodologie digitali per l'acquisizione e l'elaborazione di informazioni, integri in maniera piuttosto consistente le conoscenze derivanti dal solo punto di vista archeologico. L'interazione con gli architetti e gli storici ha consentito infatti di ascrivere l'utilizzo dei tracciati tra le metodologie per la gestione dei cantieri costruttivi nell'antichità. Ciò ha portato a riconoscere la pratica di incidere segni sulla pietra come vera e propria metodologia operativa, caratterizzata da una vasta diffusione soprattutto nei cantieri antichi di edifici pubblici [5].

I casi studio analizzati presentano caratteristiche estremamente differenti sotto vari punti di vista. Il primo, il pronao del Patheon, si inserisce in questo campo di studi perché sembra essere realizzato sulla base di disegni incisi in scala 1:1 sul lastricato di ingresso del Mausoleo di Augusto. Ipotesi e verifiche sono state sviluppate in seguito alle operazioni di rilevamento condotte attraverso metodologie per l'acquisizione massiva di dati. Il secondo caso studio, la chiesa di Santa Maria Assunta a Terni, presenta invece numerose incisioni relative ad elementi architettonici e decorativi sulla controfacciata.

Entrambi sono stati analizzati con l'obiettivo di comprendere le relazioni che intercorrono tra disegno esecutivo ed effettiva realizzazione, utilizzando i modelli 3D/2D come strumento per confermarne (o smentirne) la corrispondenza o per proporre nuove interpretazioni. L'elaborazione di dati ottenuti integrando le più innovative tecniche per il rilevamento (3D laser scanner e Structure from Motion) con le metodologie tradizionali, ha consentito di studiare sia gli elementi architettonici realizzati, sia le relative incisioni, mettendo in relazione la scala architettonica (quella degli elementi costruiti) con una scala estremamente dettagliata (la scala 1:1 delle incisioni).

## ARCHEOLOGIA ROMANA: IL PRONAO DEL PANTHEON

Il processo di rilevamento integrato del pronao del Pantheon ha consentito di verificare la teoria secondo cui le incisioni rinvenute sulla platea di ingresso del Mausoleo di Augusto rappresentino i disegni esecutivi utilizzati per costruire gli elementi costituenti il timpano [Colini, A.M., Giglioli, G.Q. 1926]. Questa interpretazione prende avvio dagli studi di Lothar Haseberger che individua tali incisioni come i disegni esecutivi, realizzati in scala al vero, utilizzati per controllare il processo di costruzione [Haselberg, 1994; Haselberg, 1995]. Il ruolo della rappresentazione risulta quindi fondamentale nella realizzazione di uno dei più importanti manufatti dell'antichità e nella comprensione di una serie di aspetti che sottendono alla sua storia [Attilia, 1987]. L'analisi della rappresentazione dei segni incisi è stato condotto mettendo in relazione gli stessi con l'elemento realizzato, tramite operazioni di rilevamento integrato che hanno accostato l'utilizzo di metodologie tradizionali per il rilievo diretto alle tecniche per l'acquisizione massiva di dati [6].

I dati metrici e formali sono stati ottenuti mediante una campagna di rilevamento diretto eseguita nel 1999, quando i lavori di scavo della Soprintendenza Archeologica, che attualmente rendono inaccessibile l'area adiacente al Mausoleo di Augusto, non erano ancora iniziati. In prima battuta, si è operato misurando direttamente in situ le incisioni e le lastre di travertino sulle quali sono state realizzate, e lo spessore delle incisioni (di appena mezzo centimetro di profondità media) attraverso un fessurimetro. Tali operazioni hanno consentito di fissare le caratteristiche dimensionali ed il posizionamento degli elementi costituenti il tracciato. Inoltre occorre specificare che le incisioni risultano essere parzialmente occultate da un muro di contenimento moderno, il timpano maggiore, con la successione tripartita della trabeazione classica, presenta le seguenti misure: lunghezza degli elementi orizzontali 6,42m, altezza della fascia tripartita 2,05m, lunghezza degli elementi inclinati 7,15m, inclinazione di circa 24°. Al di sotto della cornice è presente una fascia di circa 60 cm di altezza che, in corrispondenza del fregio, presenta una serie di tratti verticali, evidenziati da circonferenze, posti ad una distanza reciproca di 4,51m,

che rappresentano gli interassi delle colonne di una facciata octastila. Il timpano minore, rappresentato in maniera più schematica rispetto al precedente, ha gli elementi orizzontali di circa 6,42m di lunghezza, gli assi di simmetria di 4,15m ed un'inclinazione pari a 21°.

A distanza di 10 anni si è provveduto ad esaminare la corrispondenza tra le incisioni e l'elemento costruito. Questo processo ha previsto un rilievoamento del timpano del Pantheon mediante scansioni laser 3D, condotta con l'obiettivo di sovrapporre i dati ottenuti dal rilievoamento diretto con il modello numerico [Inglese, 2013]. Il ricorso a queste operazioni ha consentito, da un lato, di controllare i rilievi precedenti rispetto all'accuratezza metrica, dall'altro di testare l'applicazione di metodologie per l'acquisizione massiva allo studio dei tracciati. Tali studi sono stati condotti allo scopo di comparare le incisioni degli elementi architettonici rappresentati con gli elementi costruiti. Dopo un'attenta e propedeutica analisi di carattere logistico sul manufatto da rilevare e sul contesto in cui si inserisce, è stato strutturato un progetto di rilievo caratterizzato dall'integrazione di strumenti topografici e scanner laser 3D [7].

Il rilievo, impostato su una poligonale topografica aperta, utilizzata esclusivamente per l'orientamento delle scansioni, ha restituito un modello numerico della facciata del Pantheon, che costituisce il primo dato in grado di consentire uno studio corretto della teoria di Haselberger. Il risultato di questa elaborazione è costituito da una nuvola di punti in grado di descrivere l'intero manufatto con un'incertezza di 3mm. Tale valore, sulla base degli obiettivi stabiliti in fase di progettazione del rilievo, risulta essere compatibile con la scala di restituzione degli elaborati, precedentemente fissata a 1:50. Sulla base di tale modello, infatti, sono stati costruiti modelli sui quali condurre le successive verifiche. In particolare, le elaborazioni ottenute dal rilievo diretto delle incisioni sono state sovrapposte alla proiezione parallela del modello numerico, in modo tale da mettere in corrispondenza il prospetto con il disegno dei tracciati. Questa verifica ha dimostrato una sostanziale corrispondenza tra il tracciato del timpano maggiore e l'elemento realizzato.

Risulta necessario sottolineare - e questo è uno degli aspetti più interessanti di questo studio - che, nel caso in cui le prossime campagne di scavo portassero alla

luce nuove incisioni o parti supplementari rispetto a quelle conosciute fino ad oggi, lo stesso modello numerico ottenuto potrà essere nuovamente utilizzato per ulteriori analisi, confermando il carattere dinamico dei modelli digitali.

#### ARCHEOLOGIA MEDIEVALE: LA CATTEDRALE DI SANTA MARIA ASSUNTA

Il Duomo di Terni contiene numerose incisioni in scala 1:1 all'interno della controfacciata di fondazione romanica, realizzata con materiali di spoglio provenienti da edifici romani. L'attuale facciata, aggiunta nel 1653 e che alcuni studiosi hanno accostato al nome di Bernini o ad alcuni allievi della sua scuola, è caratterizzata da un porticato scandito da semicolonne realizzate in travertino (binate in corrispondenza dell'accesso principale) che ingloba parzialmente quello precedente. Sulla tessitura muraria romanica, costituita da grandi blocchi in travertino e pietre di riuso, è stata rintracciata un'ampia intavolatura di disegni, incisi probabilmente con una lama ben affilata, pertinenti alla fabbrica secentesca. Tra questi si riconoscono la rappresentazione planimetrica di una colonna binata e di una semicolonna addossata ad un pilastro, la sezione longitudinale di una colonna (dalla base al fusto, escluso il capitello), quella della trabeazione e il dettaglio della base di una colonna. È possibile ipotizzare, inoltre, che le incisioni siano state realizzate con strumenti a lama, ciò appare compatibile con la tipologia e la profondità del tratto: i solchi delle incisioni superano raramente il millimetro, ciò li rende di difficile lettura ed interpretazione ad occhio nudo.

Il punto di partenza per tutte le attività che abbiano come obiettivo la conoscenza, l'analisi e la documentazione della struttura analizzata è costituito dal rilevamento delle incisioni presenti sulla controfacciata e degli elementi corrispondenti successivamente realizzati, a seguito di un'attenta lettura e dell'individuazione degli stessi. Il processo di rilievo integrato, condotto affiancando le tecniche tradizionali - lo spolvero [8] e il rilievo diretto - alle metodologie per l'acquisizione massiva - scansioni laser 3D e Structure from Motion (SfM) - ha permesso di costruire modelli digitali in grado di fornire un valido apporto a tutte le attività di documentazione, conoscenza e analisi della struttura

analizzata.

La virtualizzazione del dato di rilievo ha consentito di costruire modelli 2D/3D, confrontando il dato ideale con quello reale come verifica dell'effettivo utilizzo dei tracciati per la costruzione dell'elemento fisico. Tale operazione è stata possibile grazie alla rigorosa applicazione di regole geometriche che costituiscono, in questo caso, l'unico strumento di controllo. I modelli digitali, oggi sempre più eterogenei e dinamici nella creazione e nella gestione, si configurano come veri e propri sostituti virtuali degli oggetti reali. Essi si esprimono attraverso diverse forme della rappresentazione che, ottimizzando la trasmissione univoca delle informazioni (metriche, geometriche, sul colore, sulla riflettanza, etc.), vengono adottate per simulare le operazioni più varie e condurre analisi sempre più approfondite.

Il caso preso in esame ha dimostrato, ancora una volta, quanto sia importante l'integrazione tra tecniche tradizionali e innovative: prima ancora del rilievoamento diretto, lo spolvero ha consentito una lettura immediata delle rappresentazioni in scala al vero attraverso il riconoscimento di tratti di oggetti architettonici, poco visibili ad occhio nudo e resi evidenti dal contrasto cromatico tra la grafite e il colore chiaro della pietra. Successivamente, l'impiego di scansioni - generali e di dettaglio, fotografie ad alta risoluzione e tecniche image based modeling, ha permesso di acquisire dati relativi sia alle incisioni, sia agli elementi in cui si articola il complesso architettonico. L'utilizzo di diverse metodologie ha consentito di confrontare i modelli ottenuti rispetto all'accuratezza metrica, controllata nel caso delle scansioni laser e da verificare nelle applicazioni di SfM [9]. Le elaborazioni delle differenti tipologie di dati hanno reso possibile una lettura critica del complesso alla luce di nuove analisi. In particolare, la restituzione bidimensionale delle incisioni ha consentito di risalire al processo geometrico-costruttivo dei singoli elementi; i modelli 3D e 2D degli oggetti reali sono stati sottoposti a studi geometrico-proporzionali atti a individuare la logica progettuale alla base della costruzione di elementi strutturali e decorativi, e la corrispondenza con ordini di riferimento noti [10].

L'approccio seguito, quindi, ha previsto in prima battuta l'analisi della costruzione geometrica dei segni rinvenuti, studiandoli prima in rapporto agli strumenti

usati per incidere la pietra, e successivamente il confronto con l'elemento realizzato. Tra tutte le incisioni, di particolare interesse risultano essere quella relativa alla pianta della colonna binata e della semicolonna. Lo studio di questi segni, più che degli altri, ha consentito di proporre alcune ipotesi sul processo costruttivo seguito in cantiere.

Nel primo caso, emerge come i tori, sebbene si possa affermare che le circonferenze che li descrivono e quelle delle sezioni delle colonne siano concentriche [11], risultino essere leggermente schiacciati. Questa considerazione ha suggerito di proporre un confronto in termini proporzionali prima con la semicolonna, poi con l'intero portico.

Analizzando il tracciato della pianta della semicolonna, si è riscontrato come la distanza tra gli archi di circonferenza risulti essere di pochi centimetri rendendo così altamente improbabile che si tratti della rappresentazione della semicolonna in sezione con le proiezioni dei tori e del plinto. Il modello ottenuto dalle elaborazioni della scansione laser, sezionato con piani orizzontali a quote differenti, ha messo in luce come le tre circonferenze, invece, corrispondano esattamente alle sezioni della colonna al sommoscapo, all'imoscapo, e in corrispondenza dell'entasis.

Il diametro della colonna all'imoscapo, di 50,9 cm, che corrisponde perfettamente anche al diametro delle due colonne binate, è stato utilizzato come base per lo studio metrologico-proporzionale del portico con l'intenzione di indagare sull'attuale aspetto formale. Emerge come tale valore sia coerente con il dimensionamento struttura: il rapporto tra i lati della facciata risulta essere di circa 1/10, quello tra la facciata e la controfacciata di poco più di 1/2. Tuttavia, non si riscontra un'esatta corrispondenza con il palmo romano architettonico (22,34 cm) e il piede romano (29,78 cm), unità di misura utilizzate in fase di realizzazione. Le ipotesi condotte hanno messo in luce come i moduli che più approssimano il diametro della semicolonna siano 2 palmi e 1/4, corrispondenti a 50,265 cm, con uno scarto di 6 mm circa, 1 piede e 3/4, corrispondenti a 52,11 cm, con uno scarto di circa 12 mm, 1/4 della canna mercantile (8 palmi = 199,2 cm), corrispondente a 49,8 cm, con uno scarto di 11 mm.

Analoghe alle precedenti sono state le analisi condotte per le altre incisioni rinvenute. Tuttavia, il confronto tra

i modelli ha prodotto esiti diversi: nel caso della trabeazione, il disegno non trova una totale corrispondenza nell'elemento costruito; al contrario, le rappresentazioni in prospetto e sezione delle basi colonne si sovrappongono perfettamente a quelle realizzate.

## CONCLUSIONI

L'analisi delle incisioni rappresenta un'attività complessa, sia per la necessità di interpretare correttamente i disegni, spesso conservati parzialmente e che talvolta costituiscono l'unica traccia di documentazione disponibile; sia per lo sforzo di astrazione volto ad interpretare l'idea progettuale alla base della costruzione, non sempre corrispondente all'elemento costruito [Inglese e Pizzo, 2016]. Queste attività risultano strettamente connesse con le metodologie per la conoscenza, la documentazione e la comunicazione di beni culturali, attraverso l'interazione tra il dato acquisito e le elaborazioni di modelli digitali 2D e 3D, sempre più completi e complessi. Le fasi procedurali seguite nell'ambito del caso studio costituiscono il fondamento per una metodologia replicabile in contesti diversi, dalla convalida di studi in essere sull'effettiva corrispondenza formale tra modelli reali e modelli ideali, alla verifica di un'eventuale relazione delle rappresentazioni incise a modelli architettonici in casi di non immediata associazione. I processi di costruzione del modello e i successivi studi relativi ad aspetti metrici, geometrici, formali e stilistici risultano essere indispensabile per estendere il livello di conoscenza, sempre più legato alle possibilità di archiviare, comunicare e diffondere le informazioni relative ad elementi del patrimonio culturale, nonché loro alla protezione e conservazione.

Il plusvalore di un approccio che integra le competenze di architetti, storici dell'arte e archeologi risulta essere particolarmente significativo. Non solo perché ha reso possibile catalogare e mettere in relazione incisioni relative ad epoche storiche differenti, ma anche di analizzare la loro applicazione pratica nell'edilizia e studiare le relazioni tra i disegni dei lavori e la realizzazione di elementi architettonici, costruendo e confrontando modelli reali e ideali.

Fig. 1 - Alcuni esempi di incisioni. Roma, Foro Romano, incisione base attica su elemento lapideo; Mileto, Teatro, incisione della modanatura del muro esterno di chiusura della cavea; Pergamo, Tempio di Dioniso, modanatura incisa sul crepidoma per la realizzazione delle basi del colonnato; Roma, Pantheon, circonferenze incise per la realizzazione delle striae dei fusti dei pilastri interni del pronao.

Fig. 2 - Il Pantheon (Roma).

Fig. 3 - Dettaglio delle incisioni sulla platea di ingresso al Mausoleo di Augusto.

Fig. 4 - Restituzione della planimetria con individuazione delle lastre di travertino della pavimentazione e dei tracciati.

Fig. 5/6 - Pantheon, modello numerico.

Fig. 7 - Sovrapposizione tra modello numerico ed elaborazione da rilevamento diretto. Generale + zoom dettaglio.

Fig. 8 - Il Duomo di Santa Maria Assunta (Terni, Umbria).

Fig. 9 - Dettaglio delle incisioni presenti sulla controfacciata.

Fig. 10 - Modello numerico del duomo e dettaglio della controfacciata.

Fig. 11 - Il processo di rilevamento integrato: confronto tra metodologie tradizionali e innovative.

Fig. 12 - Elaborazione dei dati di rilievo da acquisizione massiva per la costruzione di modelli 3D/2D della colonna binata.

Fig. 13 - La costruzione di modelli ideali 3D/2D della semicolonna e della colonna binata. Le informazioni che non è stato possibile desumere dalle incisioni sono state integrate con la fotografia dell'elemento costruito.

Fig. 14 - Analisi e costruzioni geometriche della semicolonna e della colonna binata. Nel caso della semicolonna, le modanature in trasparenza sono state modellate sulla base del rilievo dell'elemento realizzato, non essendo possibile ricavare informazioni sufficienti dalla lettura delle incisioni.

Fig. 15 - Proporzionamento del portico. La lunghezza, pari a 46,31 m, corrisponde a 91 moduli, mentre la larghezza, variabile tra 4,27 m sul lato sinistro e 4,61 m sul destro, trova una perfetta corrispondenza con 9 moduli nella parte centrale della facciata, in asse con il portale principale.

Fig. 16 - Proporzionamento di dettaglio: l'ordine architettonico della semicolonna e della colonna binata.

## NOTE

[1] La diffusione di questa pratica nel periodo medievale affonda le sue ragioni nel rapporto tra disegno e progetto, che proprio in quegli anni va delineandosi: il disegno come strumento progettuale diventa testimonianza dell'idea dell'architetto. Sebbene le tecnologie costruttive siano in parte diverse da quelle dei periodi precedenti, l'utilizzo dei tracciati di cantiere continua ad essere applicato, quasi a voler consolidare il profondo legame tra diverse epoche storiche. In tutto il territorio europeo se ne trovano diversi esempi: le cattedrali di Reims, di Clermont-Ferrand, di Noirlac, così come quelle di molte altre città in Francia, Spagna, Italia e Inghilterra, conservano incisa sulle loro pietre, la prova di una metodologia comune per il controllo degli elementi. La cattedrale di York, ad esempio, ospita al suo interno uno dei casi più eloquenti di tracing house: una stanza di 4m X 7m la cui pavimentazione mostra su tutta la superficie incisioni in scala al vero, non sono ancora state elaborate interpretazioni univoche ma si possono comunque riconoscere il profilo di due arcate a tutto sesto, il tracciato di un grande arco ogivale, quello di una serie di decorazioni di vetrate e quello di alcune finestrate polilobate, decorazioni di vetrate, ed una fitta serie di linee incise, probabilmente schemi geometrici di particolari architettonici.

[2] Per inquadrare quali fossero gli ambiti applicativi delle incisioni e quale ruolo svolgessero all'interno dell'intero processo costruttivo, si è reso utile classificare l'argomento individuando due tipologie principali di segni. I primi si identificano come tracciati di montaggio, ossia quelle incisioni tracciate in situ per il controllo del posizionamento degli elementi architettonici; i secondi, con accezione architettonica, si classificano come tracciati di

progetto, si tratta di quelle incisioni finalizzate ad una preventiva progettazione ed un controllo dell'elemento da montare.

[3] Le operazioni di rilevamento (acquisizione dei dati) consentono di ottenere informazioni oggettive che descrivono gli elementi analizzati in termini quantitativi (coordinate, posizione, geometria). La successiva fase di rilievo (elaborazione dei dati) descrive invece le qualità del soggetto in esame, con riferimento alle proprietà contingenti o permanenti, e a qualsiasi aspetto formale concretamente determinato di una data realtà.

[4] Ciò assume ancora più rilevanza in questo periodo storico, in cui i terremoti dell'Italia centrale hanno provocato danni enormi o spesso irreparabili. Un caso emblematico è quello della chiesa di San Salvatore in Campi (Umbria), completamente rasa al suolo dal terremoto dell'agosto 2016. La struttura presentava sul pavimento della navata un complesso tracciato inciso, raffigurante la pianta e l'alzato del campanile originario, realizzati per il taglio stereotomico e utilizzati come modello per la ricostruzione del manufatto in seguito al terremoto del 1859.

[5] Ciò viene giustificato da motivazioni di carattere puramente economico: solo in questi casi, infatti, si aveva a disposizione il denaro per retribuire maestranze altamente specializzate in grado di realizzare le incisioni. Uno dei pochi esempi di incisione in un edificio privato è quella della scala incisa sulla parete della Casa del Fauno a Pompei.

[6] Quanto esposto di seguito è il risultato di numerose campagne di rilievo che hanno coinvolto la Soprintendenza Archeologica e il Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'architettura nel 1999

e nel 2013.

[7] Per il rilevamento della facciata del Pantheon sono state predisposte due tipologie di scansioni: una generale (con un sample spacing di 5x5mm) dedicata all'acquisizione dell'intero complesso e a porzioni di grandi dimensioni; una scansione di dettaglio (con un sample spacing di 2x2mm) per particolari di interesse architettonico e per i target, successivamente utilizzati per la registrazione delle scansioni.

[8] Tecnica utilizzata in ambito artistico per trasferire un'immagine da una superficie all'altra. Può essere in qualche modo assimilata al tracciamento di incisioni su grandi superfici ed è utile per realizzare più schizzi o diverse ipotesi che precedono la realizzazione completa di un lavoro.

[9] Si fa riferimento alla gestione di parametri quali il probe e il sample spacing che, nel caso dello scanner laser 3D, consentono di definire la distanza tra i punti rilevati sulle superfici e la precisione della misura. Il modello numerico ottenuto risulta essere comunque in scala rispetto all'oggetto rilevato. Nel caso della SfM, invece, l'integrazione con altre metodologie di rilevamento risulta essere necessaria al fine di controllare i modelli numerici ottenuti nell'aspetto metrico.

[10] Il confronto è stato effettuato con gli ordini architettonici del trattato del Vignola, Regola delli Cinque Ordini d'Architettura (1562).

[11] Le porzioni di archi hanno consentito di costruire circonferenze per tre punti i cui centri ricadono in un intorno di diametro inferiore al cm.

## BIBLIOGRAFIA

Attilia, L. 1987. Il Mausoleo di Augusto. In Coarelli, F. Roma repubblicana dal 270 a.C. all'età augustea. V.3. Roma: Quasar, 1987, pp. 29-34.

Bianchini, C., Inglese, C. and Ippolito, A. 2017. I Teatri del Mediterraneo come esperienza di rilevamento integrato. The Theaters of the Mediterranean as integrated survey experience. Roma: Sapienza Università editrice, 2017, 244 p. ISBN: 9788898533930.

Branner, R. 1963 Villard de Honnecourt, Reims and the Origin of the Gothic Architectural Drawing, in "Gazette des Beaux-Arts", 105 (61), pp.129-146.

Branner, R. 1957 Note on Gothic Architects and Scholars, Burlington Magazine, n°115, pp.372-375.

Brunet, E. 1928 La restauration de la cathedrale de Soissons, Bulletin Monumental, LXXXVII, pp.65-69.

Bucher, F. 1979 Architector. The Lodge Books and Sketchbooks of Medieval Architects, v.I, New York.

Chiovelli, R., Esposito, D. and Mengali, M.A.L. 2011. El dibujo de obra en Italia central en la época medieval, in Actas del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Santiago de Compostela, 26-29 octubre de 2011  
Deneux, H. (1925). Signes lapidaires et epures du Xlle siecle a la Cathedrale de Reims, in "Bulletin Monumental", 84, pp.99-130.

Colini, A.M., Giglioli, G.Q. 1926. Relazione della prima campagna di scavo del Mausoleo di Augusto. Bollettino della commissione archeologica comunale di Roma, 1926, pp. 191-235.

Docci, M. and Gurgone, A. 1997 Progetti Di Pietra, Disegnare, Idee

ed Immagini n. 15, pp.21-32

Haselberg, L. 1994. Ein Giebelriss der Vohalle des Pantheon: die Werkrise vor dem Augustusmausoleum. Mitteilungen des Deutschen Archaeologism Instituts, Roemische Abteilung, vol. 101, pp.279-308.

Haselberg, L. 1995. Un progetto architettonico di 2000 anni fa. Le scienze, 324, pp. 56-61.

Inglese, C. 2000 Progetti sulla Pietra. Strumenti del Dottorato di Ricerca n° 3, Gangemi Editore, Roma.

Inglese, C. 2013. Il tracciato di cantiere dell'Augusteo in Roma: integrazione di metodologie di rilievo. Disegnare Idee Immagini, 46, pp. 64-73.

Inglese, C. and Pizzo, A. (eds) 2016 I tracciati di cantiere. Disegni esecutivi per la trasmissione e diffusione delle conoscenze tecniche. Roma: Gangemi Editore.

Ruiz de la Rosa, J.A. 1987 Traza y Simetria de la Arquitectura en la Antigüedad y Medioevo, Sevilla: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.