

## The drawing of Hadrian's Villa in Tivoli. Extensive survey for heritage documentation

### *Il disegno di Villa Adriana a Tivoli. Rilievo estensivo per la documentazione del patrimonio*

The documentation project for the digital representation of Hadrian's Villa represents a multi-year survey program promoted by Joint Laboratory University and Enterprise "Landscape Survey & Design" with the aim of providing to the Superintendence a three-dimensional database of Villa's rooms, capable to describe the state of places. Hadrian's Villa represents the highest expression of imperial architecture, combining spaces linked both to political needs and to recreational and leisure activities in a complex with urban articulation immersed in the harmony of a landscape where nature permeates the structures with pools, water games and visual cones that open up to Rome. The documentation and survey activities of the ruins, have produced today a partial database of the Villa made up of high density point clouds from which 3D models are processed to study morphological systems, construction details and walls.

*Il progetto di documentazione per la rappresentazione digitale di Villa Adriana rappresenta un programma pluriennale di indagine promosso dal Laboratorio Congiunto Università e Impresa Inter Ateneo "Landscape Survey & Design" con l'obiettivo di fornire alla Soprintendenza una banca dati tridimensionale degli ambienti della Villa, capace di descrivere lo stato dei luoghi. Villa Adriana rappresenta la più alta espressione di architettura imperiale coniugando spazi legati ad esigenze politiche e attività ricreative e di piacere in un complesso dall'articolazione urbana immerso nell'armonia di un paesaggio dove la natura permea le strutture con vasche, giochi d'acqua e con visivi che si aprono verso Roma. Le attività di documentazione e rilievo hanno prodotto ad oggi un database parziale della Villa costituito da nuvole di punti ad alta densità dalle quali vengono elaborati modelli 3D sui quali poter studiare i sistemi morfologici, i dettagli costruttivi e parietali.*



#### **Stefano Bertocci**

He is an architect and full professor of Architectural Surveying at the Department of Architecture of the University of Florence. He coordinates several research groups that study various aspects of the survey, from the landscape to the urban to the monumental area. He has studied various buildings and historical centers both in Italy and abroad with particular attention to the Middle East.



#### **Sandro Parrinello**

Associate Professor at the Department of Civil Engineering and Architecture of the University of Pavia and European PhD; scientific coordinator of the Joint Landscape Survey & Design Laboratory and director of the Dada Lab. Laboratory He is responsible for numerous research projects in Italy and abroad for the documentation of the Cultural Heritage.

#### Key words:

Hadrian's Villa in Tivoli, Integrated Survey, Structure for Motion, digital museum, archaeological survey

#### Parole chiave:

Villa di Adriano a Tivoli, Rilievo Integrato, Structure for Motion, museo digitale, rilievo archeologico

## 1. EMPEROR HADRIAN'S VILLA

Hadrian's Villa represents an example, the greater known, of the tradition of Roman residences out of urban centers, a building typology that had particular spread in the Imperial Period and which took hold from the late Republican period, with examples such as the rustic villas of the group of Cicero or the villa of Tiberio in Capri. All those have in common an important aspect, the interaction with the surrounding natural environment that was coherently modified in a landscape way to accommodate the various buildings that constituted them: in the case of Tivoli, numerous buildings with residential destination, libraries, impressive thermae and building complexes of service connected by paths, arcades and pergolas, and equipped with an internal service of underground tunnels. The villa, therefore, starting from a smaller complex dating back to the early Republican period, has evolved several times, based on the design ideas of same Hadrian: he decided to move the imperial residence out of the capital, on a plateau not far from Rome (28 Km) at the base of Tiburtini mountains, bordered by two streams, Acqua Ferrata and Roccabruna, converging into Aniene river. The last stream was flanked by one of the main consular roads, Tiburtina Valeria road. The location was favored by numerous springs, which also supplied the main aqueducts of Rome, guaranteed a constant supply of water for the villa and the large gardens that were expected to be built with numerous fountains, nymphaeums and artificial pools of water [1].

The site, probably, had to cover an area of at least 120 hectares, of which only 40 can now be visited within the archaeological park.

The strong relationship between idyllic rural environment and city comfort is naturally also present in Hadrian's Villa. The succession of buildings and pavilions was wisely alternated with gardens and open areas that hosted nymphaeums and fountains, creating a landscape made of perspective views carefully designed to put in constant relation the buildings themselves. In particular, between them, it is also possible to recognize a profound typological evolution: thermae, libraries, service buildings appear in grandiose and completely contemporary buildings, leaving behind

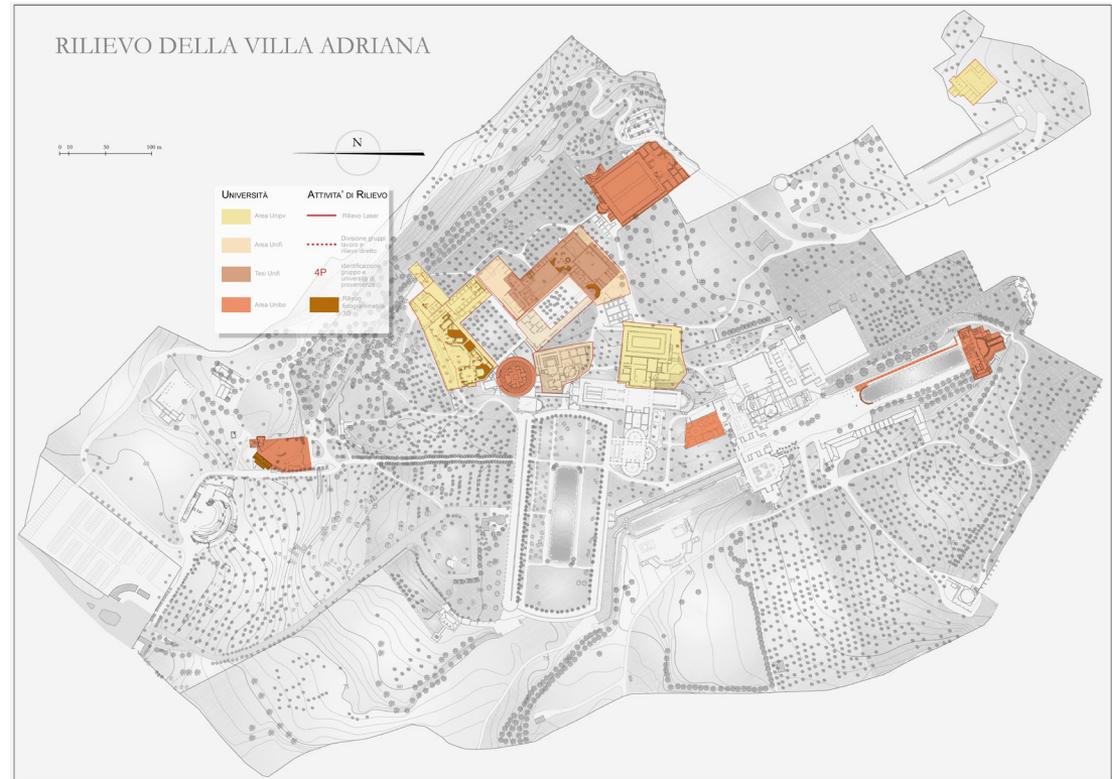


Fig. 1 - General plan of the Villa with identified areas involved in the research.



The current names of some parts of the archaeological site derive precisely from those early descriptions, even if today it is practically impossible to accurately reconstruct the functions of each environment or the correspondences between what has been transmitted by historiography and today's ruins.

The attribution of names to the buildings of the Villa was a practice begun from the Renaissance, when, with the first studies of humanist Flavio Biondo, the interest of noble Roman families for the ancient ruins was rekindled. In the archaeological area three categories of constructions can be read, all generally made mainly in *opus mixtum* and *opus reticolatum*, consisting of an inner core of mortar and stones in which are inserted the *cubilia* (pyramid trunks in tufa), arranged so as to form a 45° rotated grid with brick ties; for the most part, vaults and domes are made of concrete realized in situ with the use of formwork. In the area there are noble buildings (Pecile, Maritime Theater, Imperial Palace, Libraries, Baths, Canopus, Greek Theater, Rocca Bruna Tower), secondary buildings for rank personnel (Hospitalia) and servile buildings (Cento Camerelle, Pretorio, Caserma dei Vigili, Criptoportici system).

The largest group of buildings is that of noble buildings reserved for the emperor: these are characterized by complex and innovative architectures for the period, paved in mosaic or *opus sectile* with frescoed walls. For the cladding of the most exclusive environments, precious marbles from all areas of Empire were used. The Archaeological Area of Hadrian's Villa is currently an archaeological site of public property of the Superintendence for Archaeological Heritage of Lazio. The Villa was included in 1999 in the list of UNESCO World Heritage Sites (WHL), being a "masterpiece that unites the highest expression of material cultures of the ancient world of the Mediterranean" [3].

## 2. THE ORGANIZATION OF DOCUMENTATION CAMPAIGNS

The development of digital survey systems, and the opportunities offered by the world of 3D models, navigable and queried, together with the experiences gained by our research group in the survey of large archaeological complexes [4], constituted the methodological premises for the digital documentation



Fig. 3 - Survey activities in Hadrian's Villa.

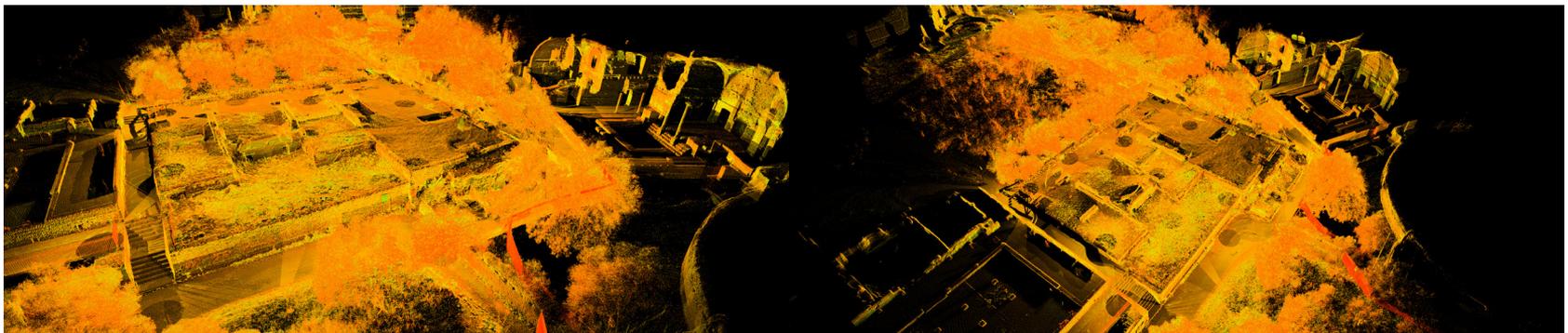
project of Hadrian's Villa site. The project aims at the creation of a digital and reliable database capable of responding both to the specific needs for archaeological sector and to the purposes connected with the site management plan, protected by UNESCO, also aiming at the documentation of the state of conservation of structures and single walls. In particular, high reliability databases play a key role in the ability to provide accurate information on structures, materials and elements that can guide studies in stratigraphic readings and historical reconstructions as well as museum visitors in understanding environments.

The insertion of models in software of rendering and simulation of Virtual Reality (VR) becomes fundamental for the understanding of the morphology of the monumental reality of buildings and for the proposal of museum itineraries through applications of Augmented Reality (AR) in which the user can interact with architectural space through virtual interfaces for a more aware use of place.

Over the course of years, the survey campaign has covered various areas of Hadrian's Villa complex and was carefully monitored by the responsible of the archaeological area, Benedetta Adembri of the Superintendence for Archaeological Heritage of Lazio. The work was attended by groups of researchers and numerous students from the universities of Florence, Pavia and Bologna, which were organized through on-site workshops dedicated to educational training in the field of digital archaeological survey and involved the analysis of two areas inside the villa complex, completing some experiments with 3D laser scanner equipment and digital photogrammetric survey systems.

These data, appropriately subject to cross-checks and validated from a technical and metric point of view, constitute reliable basis for the production of various models and elaborations, aimed at documenting the site on the territorial scale: from the general displacement of building in the park system, to the documentation of green system in the analyzed areas, reaching

Fig. 4 - Laser scanner point clouds of parts of the Villa.



the scale of the most specific architectural and archaeological detail. First surveys were located in the area of Palace's Ninfeo, near the Doric Pillars' Hall and in Hospitalia of the residential area of the Palace. The architectural complex of Palace's Ninfeo and the large adjoining rooms, located within the complex of the magnificent archaeological site of Hadrian's Villa, have constituted the first experimental stage of the digital documentation project.

### 3. FROM THE SURVEY TO THE ELABORATION OF 3D DRAWINGS AND MODELS

For the accurate design of data collection and measurement operations, an integrated survey program was set up that involved the deployment of various operating methods and in particular the use of 3D laser scanner instruments. These tools allow to acquire a large quantity of digital measurements in a relatively small time, returned through a three-dimensional database that displays a cloud of 3D digital points (millions of points having spatial coordinates  $x, y, z$ ). The campaign also included some latest-generation digital photogrammetric applications (*SFM Structure From Motion*), which allow the reconstruction of a scene in three dimensions starting from a series of digital photographs. With these procedures it is possible to obtain a 3D digital model, consisting of a continuous surface of triangles (*Mesh*), which reproduces the shape of the object detected by approximating the surface of the object itself, which is then mapped with data related

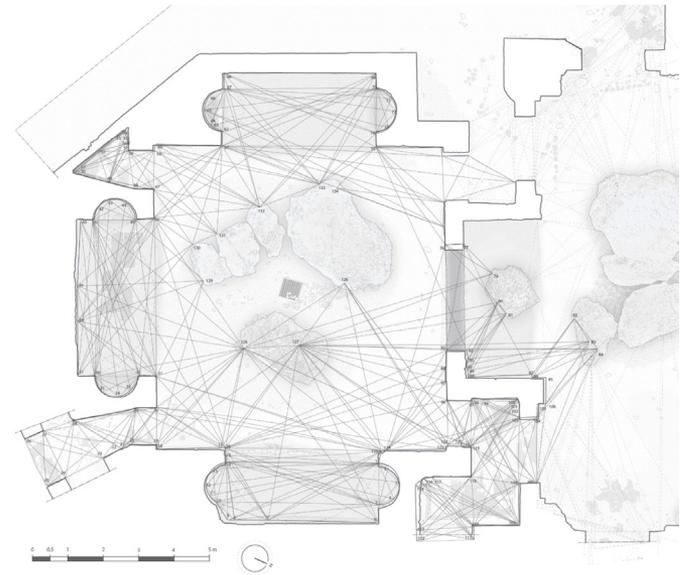


Fig. 4 - Direct survey procedures, trilateration restitution and orthophoto processing.

<http://disegnarecon.univaq.it>

to the color of the relative photograph.

*Structure from Motion* photogrammetric survey focused on the elaboration of fragments of architectural decorations in marble such as capitals, bases and portions of ruins, using a common digital *reflex* camera calibrated beforehand; from the series of photographs, made taking into account specific shooting modes, it is possible to reconstruct the three-dimensional space in a virtual environment, using digital stereophotogrammetry programs. In the "photoscansion" the shots have been catalogued through an alphanumeric code, constituting in fact an articulated photographic database. Models produced, compared to those obtained from point cloud coming from 3D laser scanning, have the advantage of the reliable mapping of apparent color using the same photos made for the construction of the model, so that the density of the mesh that constitutes the model is added to the quality of the mapping, obtaining a result of great visual effectiveness but without metric scale of reference. The comparison between models realized directly from the point cloud (metric) and models realized through "photoscanning" is necessary to determine the degree of reliability of the processes of remote sensing implemented through the use of the respective tools and processing programs data.

#### 4. THE PROJECT OF DIGITAL MUSEUM

Developments of project involve the creation of an "intelligent map", produced following tried and tested methodological criteria, which would make it possible to provide scholars with relevant documentary material, architectural details and archaeological information; over time the system should be configured as a "container" of the great amount of studies and research that over the years have been carried out on Hadrian's Villa and which would find an appropriate location and a better logical structure, even with respect to possible uses in relation to contemporary studies. The implementation of a project thus conceived would make it possible to make information available at various levels of users and at different scales, being able to be used both for expert technicians and a wider public, enhancing thematic itineraries also for tourism purposes, systematizing the information and the data

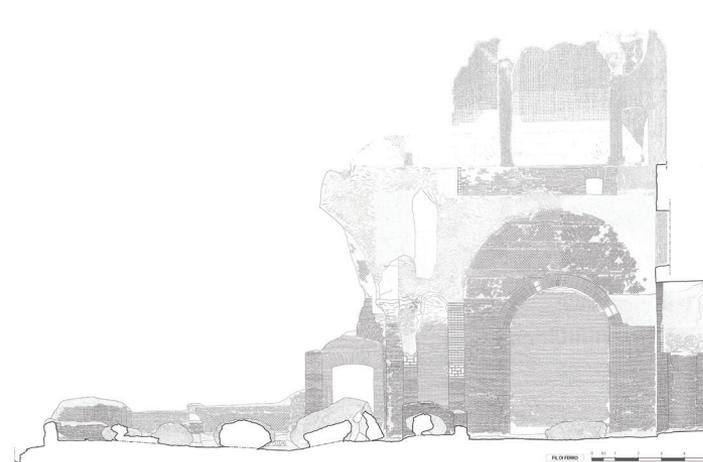


Fig. 6 - Drawing of fronts in CAD environment.

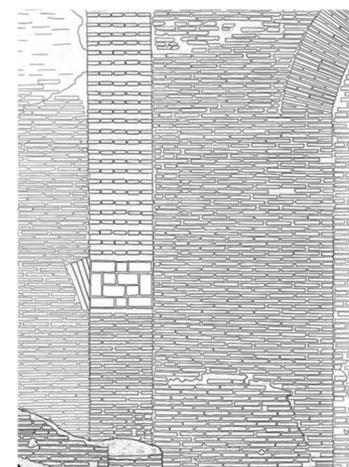
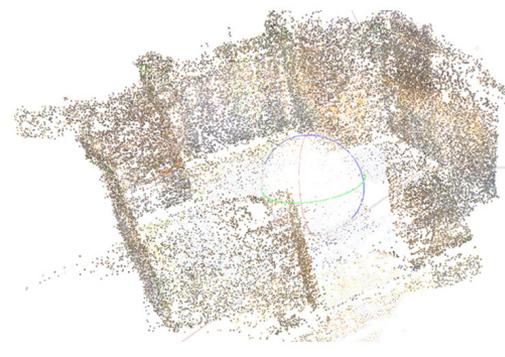


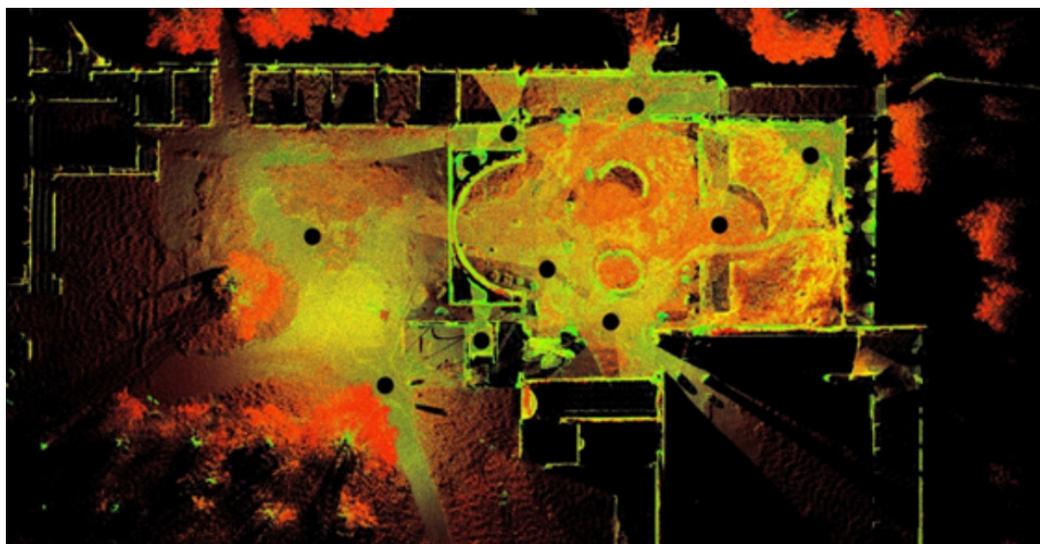
Fig. 7 - Processing of partial point clouds using SfM photogrammetry.



creating cognitive structures that, by re-presenting the complexity of reality, would allow to elaborate experiments and forecasts of development coherent with the site's Management Plan.

To create this interactive platform, based on the indispensable database of measurement (maps and reliable processing of the state of places), various documentation activities, such as those that have been implemented as first experimental step, have been planned for the purpose to integrate data from survey

activities that may develop over time. Topographic surveys supporting photogrammetric and laser scanning experiments have been carried out for the realization of 3D models from which reflections can be made on the value of virtual design for archaeology. Point clouds data, with high metric reliability, coming from the processing of laser scans, will be part of the documentation database together with the photographic and video shootings. The project includes a phase of post-production of data, consisting of further 2D and



3D elaboration of point clouds, of direct documentation, drawings and photos, in order to extract reliable documentary critical apparatus consisting of vector drawings (plans, sections and elevations), 3D rendering and 2D and 3D details for the study of architectural details. These elaborations, in face of their digital features, will constitute the documentary basis for the conservation of the site, and can be easily exploited also for a museum fruition, about simulation possibilities, even for educational purposes, of any virtual reconstructions or proposals for restoration and enhancement actions.

The realization of the project also includes didactic activities that will take place in the framework of academic seminars giving students, PhD students and specialists, coming not only from Italy, the opportunity to participate actively in these activities, which will be led by scholars and expert professors in the field of digital heritage documentation to acquire new knowledge on the latest methodologies of data acquisition of sites of architectural and archaeological interest. Combined with the conventional representation of architecture, the creation of light but, at the same time, reliable digital models make it possible to obtain a product that can be used through commonly used IT devices, for example for tourists, such as laptops, smartphones and tablets, with on-line connection. Technologies able to restore 3D visualizations in *real-time* give new possibilities for data collection in databases, easily consulted by more or less experienced operators, and expand the concept of virtual visit making the use of digital reconstructions more immediate and direct, involving users through web interfaces with lower levels of complexity.

Fig. 8 - Point cloud, section and processing of 3D model for a portion of Palace area.

## CREDITS

Responsible of the survey: Stefano Bertocci, Sandro Parrinello, Luca Cipriani.

Participants:

- University of Florence: Prof. Stefano Bertocci, Ph.D. Sergio Di Tondo, Ph.D. Andrea Arrighetti, Ph. D. student Monica Bercigli;

- University of Pavia: Prof. Sandro Parrinello, Ph.D. Francesca Picchio, Ph.D. Stud. Raffaella De Marco;

- University of Bologna: Prof. Luca Cipriani, Prof. Filippo Fantini, Ph.D. Silvia Bertacchi.

Partnership Public Institutions: Soprintendenza per i Beni Archeologici del Lazio - Area Archeologica di Villa Adriana.

Partnership for Technological Support: Microgeo srl.

## CREDITS OF CONTRIBUTION

Paragraphs 1 and 2 are due to Stefano Bertocci; paragraphs 3 and 4 are due to Sandro Parrinello.

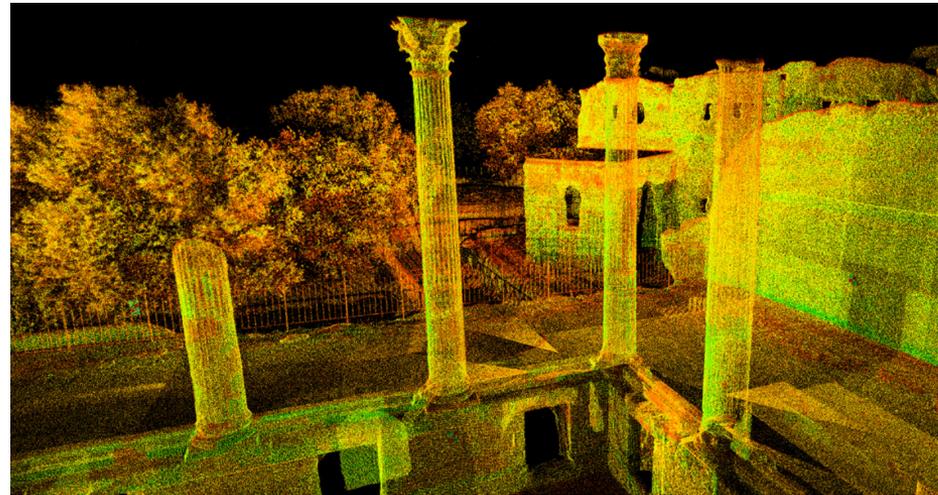


Fig. 9 - Laser scanner point cloud and three-dimensional reconstruction of Peschiera in Palace area.

<http://disegnarecon.univaq.it>

## NOTES

[1] Cfr. G. E. Cinque, *A Tivoli Vecchio casa d'Adriana*, in *Romula* 15, 2016, pp. 1 – 56.

[2] Spaziano E., *Historia Augusta, Vita Hadriani*, XXVI, 5. Yourcenar makes say to the protagonist of her work: "Avevo dotato ciascuno di quegli edifici di nomi evocanti la Grecia: Il Pecile, l'Accademia, il Pritaneo. Sapevo bene che quella valle angusta, disseminata di olivi, non era il Tempe, ma ero giunto in quell'età in cui non v'è una bella località che non ce ne ricordi un'altra" (Yourcenar M., *Memorie di Adriano*).

[3] <http://whc.unesco.org/en/list/907>.

[4] Cfr. Bertocchi S., Parrinello S., Masada Notebook, Vol. 1, Edifir, 2014.

## BIBLIOGRAPHY

AA. VV., (2002). *Italia Antiqua. Envois degli architetti francesi (1811 – 1950). Italia e area mediterranea*. Catalogo della mostra, Ecole Nationale Supérieure des Beaux – Arts, Parigi.

Adembrì B., (2000). *Villa Adriana Guida*, Electa, Milano.

Adembrì B., (2004). *Architettura e paesaggio a Villa Adriana*, in: G. Arcangeli (ed.), *Villa Adriana, Suggerimenti Architettoniche, Tivoli*, p. 7 seg.

Adembrì B., (2005). *Edificio a tre esedre*, in: Filippi F. (ed.): *Palazzo Altemps. I colori del fasto. La domus del Gianicolo e i suoi marmi*, Milano.

Adembrì B., (2013). *La Villa, in Forma Urbis*, anno XVIII, n. 8, Settembre 2013, *Villa Adriana. Storia, archeologia, restauro e conservazione*, 18 - 31.

Aurigemma S., (1961) *Villa Adriana*. Istituto Poligrafico di Stato, Roma.

Bertocchi S., Parrinello S., (2013). *Un'esperienza di collaborazione scientifica per la documentazione del sito archeologico di Villa Adriana*, in *Forma Urbis*, anno XVIII, n. 8, Settembre 2013, *Villa Adriana. Storia, archeologia, restauro e conservazione*, 48 - 49.

Bertocchi S., Minutoli G., *Villa Adriana, esperienze di rilievo digitale ed analisi per il restauro e la musealizzazione dell'edificio dei Pilastrì Dorici*, in *RA Restauro Archeologico*, n. 1, 2016, pp. 96 - 119.

Chateaubriand M. F., (1969). *Voyage en Italie, Oeuvres romanesque et voyages II. Texte établi, présenté et annoté par M. Regard, Lonrai*.

Chiappetta F., (2008) *I percorsi an-*

*tichi di Villa Adriana*. Edizioni Quasar, Roma.

Cinque G (2017). *Le rappresentazioni planimetriche di Villa Adriana tra XVI e XVII secolo* (Ligorio, Contini, Kircher, Gondoin, Piranesi). *Collection de l'Ecole Francaise de Rome*, vol. 525, p. 5-474, ROMA, Ecole Francaise de Rome.

Cinque G (2017). *a Tivoli vecchio casa d'Adriano*. *ROMULA*, vol. 15, in *Romula* 15, 2016, pp. 1-56.

Cipriani, Luca; Fantini, Filippo; Bertacchi, Silvia, Chapter 10 - 3D Digital Models for Scientific Purpose: Between Archaeological Heritage and Reverse Modelling, in: *Handbook of Research on Emerging Technologies for Architectural and Archaeological Heritage*, Hershey PA, IGI Global, 2016, pp. 291 - 321.

Cipriani, L., Fantini F., Bertacchi S., *Understanding ancient design through survey: examples from Hadrian's Villa*, «SCIRES-IT», 2016, 6, pp. 133 - 150.

Conforto M. L., (2002) *Villa Adriana: significati simbolici, connotati formali, scelte funzionali nell'architettura del paesaggio*, in *Villa Adriana paesaggio antico e ambiente moderno: elementi di novità e ricerche in corso*, Roma, Italia, 2000, pp. 90–124.

Crescenzi L., Hurtado de Mendoza M., Robini M. (a cura di), (1996), *Disegni per Villa Adriana*, Soprintendenza Archeologica per il Lazio, Roma.

Di Tondo S., (2013). *I restauri virtuali della decorazione architettonica del Teatro Marittimo e della Piazza d'Oro*, in *Forma Urbis*, anno XVIII, n. 8, Settembre 2013, *Villa Adriana. Storia, archeologia, restauro e conservazione*, pp. 41 - 43.

Ehrlich T. L., (1989). *The Waterwor-*

*ks of Hadrian's Villa*, *Jurnal of Garden History* 9, pp. 161-176.

Fagiolo M., Madonna M. L., (2003). *Il progetto della Villa tra antichità e natura*, in: I. Barisi, M. Fagiolo M., Madonna M. L. (eds): *Villa d'Este, Roma*.

Giuliani C. F., (1988). *La Villa*, in *Giuliano A. et alii (eds), Villa Adriana*, Milan, pp. 71-146.

Hidalgo R. (2006b). *Piranesi y el dibujo preparatorio de la "Planta delle fabbriche esistenti nella Villa Adriana" del Museo de San Marti-noen Napoles"*, *Homenaje a Pilar León, Córdoba*.

Lanciani R., (1906) *La Villa Adriana, guida e descrizione*. Tipografia Accademia dei Lincei, Roma.

Lavagne H., (2000). *Pianta di Villa Adriana*, Adriano, *Architettura e Progetto*, Milan, pp. 196-199.

Ligorio P., (1553). *Libro delle Antichità di Pirro Ligorio*, Venecia.

Michel M.R., (2000). *Artisti e turisti a Villa Adriana nel XVIII secolo*, Adriano *Architettura e progetto*, Milano, 103 ss.

Nibby A., (1827). *Descrizione della Villa Adriana*, Roma.

Remondino F., Rizzi A., Agugiario G., Jimenez B., Menna F., Baratti G., (2011), *Rilievi e Modellazione 3D*, Atti 15a Conferenza Nazionale ASITA - Reggio di Colorno, Italia, 2011.

Yourcenar M., (1963) *Memorie di Adriano (seguite da Tacuini di Ap-punti)*. Einaudi, Torino.

## ***Il disegno di Villa Adriana a Tivoli. Rilievo estensivo per la documentazione del patrimonio***

### 1. LA VILLA DELL'IMPERATORE ADRIANO

Villa Adriana costituisce un esempio, il maggiore per quanto ne sappiamo, della tradizione delle residenze extraurbane romane, tipologia edilizia che ebbe particolare diffusione del periodo imperiale e che prese piede dal periodo tardo repubblicano, con esempi come le ville rustiche della cerchia di Cicerone o la villa di Tiberio a Capri. Tutte hanno in comune un importante aspetto, l'interazione con l'ambiente naturale circostante che veniva modificato paesaggisticamente in maniera coerente per ospitare i vari edifici che le costituivano: nel caso di Tivoli numerosi edifici con destinazione residenziale, biblioteche, imponenti terme e complessi edilizi di servizio collegati da percorsi, portici e pergolati, e dotati di una viabilità interna di servizio sotterranea. La villa dunque, partendo da un complesso risalente al primo periodo repubblicano, si è evoluta a più riprese, sulla base delle idee progettuali dello stesso Adriano: decise di spostare la residenza

imperiale fuori dalla Capitale, su di un pianoro poco distante da Roma (28 Km) alla base dei monti Tiburtini, delimitato da due torrenti, l'Acqua Ferrata e il Rocca-bruna, affluenti dell'Aniene. Quest'ultimo corso d'acqua era affiancato da una delle vie consolari principali la Tiburtina Valeria. La localizzazione era privilegiata da numerose sorgenti, che rifornivano anche i principali acquedotti di Roma, garantivano un costante approvvigionamento d'acqua per la villa ed i grandi giardini che si prevedeva di realizzare con numerose fontane, ninfei e specchi d'acqua artificiali [1].

Il sito, probabilmente, doveva coprire allora un'area di almeno 120 ettari, di cui oggi soltanto 40 sono visitabili all'interno del parco archeologico.

La forte relazione tra ambiente rurale idilliaco e comodità cittadine è presente naturalmente anche in Villa Adriana. Il susseguirsi di edifici e padiglioni era sapientemente alternato da giardini ed aree aperte che ospitavano ninfei e fontane, andando a creare un paesaggio fatto di vedute prospettiche attentamente

progettate per mettere in costante relazione gli edifici stessi. Proprio in questi ultimi è possibile inoltre riconoscere una profonda evoluzione tipologica: terme, biblioteche, edifici di servizio si manifestano in edifici grandiosi e completamente contemporanei, lasciandosi alle spalle le caratteristiche formali delle ville precedenti. L'estro architettonico di Adriano e le esperienze e conoscenze maturate nei suoi lunghi viaggi attraverso le province dell'impero, fecero di questa Villa un esempio di architettura d'avanguardia per il periodo. La villa repubblicana che costituì la base di partenza per la realizzazione del palazzo imperiale, influenzò certamente l'organizzazione e disposizione urbanistica degli altri edifici.

La recente storiografia attribuisce ad Adriano stesso, in virtù della sua passione per l'architettura e per la sperimentazione di soluzioni innovative, l'ideazione se non la progettazione dell'intero complesso, con costanti interventi negli adattamenti dei progetti anche in corso d'opera. Gli edifici della villa non furono edi-

ficati contemporaneamente, come confermano i vari bolli di fabbrica rinvenuti nelle murature, ma sappiamo che la costruzione ha avuto inizio nella parte nord per poi seguire verso sud. Fu lo storico Elio Sparziano il primo a suggerire l'idea che Villa Adriana includesse al suo interno edifici e giardini modellati per ricordare i luoghi più noti tra tutte le province dell'Impero: "Fece costruire con eccezionale sfarzo una villa a Tivoli ove erano riprodotti con i loro nomi i luoghi più celebri delle province dell'impero, come il Liceo, l'Accademia, il Priatano, la città di Canopo, il Pecile e la valle di Tempe; e per non tralasciare proprio nulla, vi aveva fatto raffigurare anche gli inferi" [2].

Gli attuali nomi di alcune parti del sito archeologico derivano proprio da quelle prime descrizioni, anche se oggi è praticamente impossibile ricostruire con esattezza le funzioni di ogni ambiente o le corrispondenze tra quanto tramandato dalla storiografia e le rovine odierne.

L'attribuire nomi agli edifici della villa fu una pratica iniziata a partire dal Rinascimento, quando con i primi studi dell'umanista Flavio Biondo si riaccese l'interesse delle nobili famiglie romane per le antiche rovine. Nell'area archeologica si possono leggere tre categorie di costruzioni, tutte generalmente realizzate prevalentemente in *opus mixtum* e *opus reticolatum*, costituito da un nucleo interno di malta e sassi in cui sono inseriti i  *cubilia* (tronchi di piramide in tufo), disposti in modo da formare un reticolato ruotato di 45°, con ammorsature in mattoni; volte e cupole sono per la maggior parte realizzate in calcestruzzo gettato in opera con l'utilizzo di cassetture. Nell'area si trovano edifici nobili (Pecile, Teatro Marittimo, Palazzo Imperiale, Biblioteca, Terme, Canopo, Teatro Greco, torre di Rocca Bruna), edifici secondari per personale di rango (Hospitalia) ed edifici servili (Cento Camerelle, Pretorio, Caserma dei Vigili, sistema dei Criptoportici).

Il gruppo di edifici più numeroso è quello degli edifici nobili riservati all'imperatore: questi sono contraddistinti da architetture complesse e innovative per il periodo, pavimentate in mosaico o *opus sectile* con pareti affrescate. Per i rivestimenti degli ambienti più esclusivi erano utilizzati marmi pregiati provenienti da ogni zona dell'Impero.

L'Area Archeologica di Villa Adriana è attualmente un sito archeologico di proprietà pubblica della Soprinten-

denza per i Beni Archeologici del Lazio. La Villa è stata inserita nel 1999 nella lista dei siti Patrimonio dell'Umanità dell'UNESCO (WHL), essendo un "*capolavoro che unisce insieme le più alte espressioni delle culture materiali dell'antico mondo del Mediterraneo*" [3].

## 2. L'ORGANIZZAZIONE DELLE CAMPAGNE DI DOCUMENTAZIONE

Lo sviluppo di sistemi di rilevamento digitale, e le opportunità offerte dal mondo dei modelli 3D, navigabili ed interrogabili, unitamente alle esperienze maturate dal nostro gruppo di ricerca nel rilevamento di grandi complessi archeologici [4], hanno costituito le premesse metodologiche per il progetto della documentazione digitale del sito di Villa Adriana. Il progetto mira alla creazione di una banca dati digitale ed affidabile capace di rispondere sia alle esigenze specifiche per il settore archeologico sia alle finalità connesse con il piano di gestione del sito, tutelato dall'UNESCO, mirando anche alla documentazione dello stato di conservazione delle strutture e dei singoli paramenti murari. In particolare anche dati dall'affidabilità elevata assumono un ruolo chiave nella capacità di fornire informazioni puntuali su strutture, materiali ed elementi che possono orientare lo studioso nelle letture stratigrafiche e nelle ricostruzioni storiche così come il visitatore del museo nella comprensione degli ambienti. L'inserimento dei modelli in software di rendering e simulazione di Realtà Virtuale (VR) diviene fondamentale per la comprensione della morfologia della realtà monumentale degli edifici e per la proposta di percorsi museali attraverso applicazioni di Realtà Aumentata (AR) nei quali il fruitore può interagire con lo spazio architettonico attraverso interfacce virtuali per una fruizione più consapevole del luogo.

La campagna di rilevamento ha coperto nel corso di alcuni anni varie zone del complesso di Villa Adriana ed è stata seguita con attenzione dalla responsabile dell'area archeologica, Benedetta Adembri della Soprintendenza per i Beni Archeologici del Lazio. Il lavoro ha visto la partecipazione di gruppi di ricercatori e numerosi studenti delle università di Firenze, Pavia e Bologna, che sono stati organizzati attraverso workshop sul posto dedicati alla formazione didattica nel settore del rilievo archeologico digitale ed ha riguardato l'ana-

lisi di due zone all'interno del grande complesso della villa, portando a termine alcune sperimentazioni con apparecchiature laser scanner 3D e sistemi di rilevamento fotogrammetrico digitale.

Questi dati, opportunamente soggetti a controlli incrociati e validati dal punto di vista tecnico e metrico, costituiscono una base attendibile per la produzione di vari modelli ed elaborazioni, finalizzati alla documentazione del sito dalla scala territoriale: dalla disposizione generale dei manufatti nel sistema parco, alla documentazione del sistema del verde nelle aree analizzate, giungendo alla scala del più specifico dettaglio architettonico ed archeologico. I primi rilevamenti sono stati localizzati nella zona del Ninfeo del Palazzo, in prossimità della Sala dei Pilastrini Dorici e negli Hospitalia della zona residenziale del Palazzo. Il complesso architettonico del Ninfeo di Palazzo e dei grandi ambienti attigui, disposto all'interno della trama del grandioso sito archeologico di Villa Adriana, ha costituito la prima tappa sperimentale del progetto di documentazione digitale.

## 3. DAL RILIEVO ALL'ELABORAZIONE DI DISEGNI E MODELLI 3D

Per la progettazione accurata delle operazioni di prelievo dei dati e delle misure è stato approntato un programma di rilevamento integrato che ha previsto la messa in campo di diverse metodologie operative ed in particolare l'utilizzo di strumentazioni laser scanner 3D. Tali strumenti permettono di acquisire una grande quantità di misure digitali in un tempo di presa relativamente ridotto, restituite attraverso un database tridimensionale che visualizza una nuvola di punti digitali 3D (milioni di punti aventi coordinate spaziali x,y,z). La campagna prevedeva inoltre alcune applicazioni di fotogrammetria digitale di ultima generazione (*SfM Structure From Motion*), che permette di ricostruire una scena in tre dimensioni a partire da una serie di fotografie digitali. Con questi procedimenti si ottiene un modello digitale 3D, costituito da una maglia continua di triangoli (*Mesh*), che riproduce la forma dell'oggetto rilevato approssimando la superficie dell'oggetto stesso, la quale viene poi mappata con il dato relativo al colore della fotografia relativa.

L'utilizzo di tecnologie laser a scansione per il rilevamento architettonico prevede la definizione di un pro-

getto di rilievo nel quale siano pianificate le procedure operative e le azioni di ripresa valutando gli scenari e le distanze per ridurre al minimo le mancanze di dati causate dalla presenza di coni d'ombra. Per l'area del Ninfeo di Palazzo sono state effettuate scansioni utilizzando una strumentazione laser basata su tecnologia a variazione di fase (phase shift) che ha permesso di coprire l'intera area con tempi relativamente contenuti. Il dato metrico rilevato con lo strumento è stato integrato, nelle parti occluse e difficilmente raggiungibili, con prese dirette per ottenere il completamento della copertura e produrre degli elaborati grafici 2D (piante, sezioni e prospetti utili per la documentazione e la conservazione del sito). Nelle successive fasi di postproduzione e di elaborazione dei dati le scansioni sono state unite in un unico database attraverso il montaggio delle singole presa basato su targehiet posizionati attraverso un rilievo topografico dell'intera area, eseguito con una stazione totale. Questo processo è fondamentale per riuscire a concatenare i vari ambienti dell'area con il minore errore possibile. La nuvola di punti ottenuta è stata utilizzata sia per ricavare da un lato disegni bidimensionali, una documentazione in scala descrittiva dello spazio architettonico e metricamente affidabile, e dall'altro per realizzare modelli tridimensionali ad alta densità di mesh con una ottima definizione del dettaglio.

Il rilevamento fotogrammetrico *Structure From Motion* si è concentrato sull'elaborazione di frammenti di decorazioni architettoniche in marmo quali capitelli, basamenti e porzioni di ruderi, utilizzando una comune *reflex* digitale calibrata preventivamente; dalla serie delle fotografie, eseguite tenendo conto di modalità di ripresa specifiche, è possibile ricostruire lo spazio tridimensionale in ambiente virtuale, utilizzando programmi di stereofotogrammetria digitale. Nella "fotoscansione" gli scatti sono stati catalogati attraverso un codice alfanumerico, costituendo di fatto un articolato database fotografico. I modelli prodotti, rispetto a quelli ricavati dalla nuvola di punti proveniente dalla scansione laser 3D, presentano il vantaggio della mappatura affidabile del colore apparente utilizzando le foto realizzate per la costruzione stessa del modello, così che alla densità della *mesh* che costituisce il modello si somma la qualità della mappatura ottenendo un risultato di grande efficacia visiva ma privo di scala

metrica di riferimento. Il confronto tra il modello realizzato direttamente dalla nuvola dei punti (metrico) ed il modello realizzato attraverso la "fotoscansione", risulta necessario per determinare il grado di affidabilità dei processi di telerilevamento messi in atto attraverso l'utilizzo dei rispettivi strumenti e programmi di elaborazione dati.

#### 4. IL PROGETTO DEL MUSEO DIGITALE

Gli sviluppi del progetto prevedono la messa a punto di una "mappa intelligente", prodotta seguendo sperimentati criteri metodologici, che permetterebbe di mettere a disposizione degli studiosi il materiale documentario di rilievo, dettagli architettonici ed informazioni di tipo archeologico; con il tempo il sistema dovrebbe configurarsi come il "contenitore" della grande mole di studi e di ricerche che nel corso degli anni sono stati svolti sulla Villa Adriana e che troverebbero una sede appropriata ed una migliore struttura logica, anche rispetto ai possibili utilizzi relativamente agli studi contemporanei. La messa in atto di un progetto così concepito permetterebbe di rendere fruibili le informazioni a vari livelli di utenza e a scale diverse, potendo essere destinate sia a tecnici esperti che ad un pubblico più ampio, valorizzando percorsi tematici anche a fini turistici, sistematizzando l'informazione ed i dati creando strutture cognitive che, ripresentando la complessità del reale, permetterebbero di elaborare sperimentazioni e previsioni di sviluppo congrue con il *Management Plan* del sito.

Per creare questa piattaforma interattiva, basata sulla imprescindibile banca dati della misura (mappe ed elaborazioni affidabili dello stato dei luoghi), le diverse attività di documentazione, quali quelle che si sono sino ad ora realizzate come primo step sperimentale, sono state programmate nell'intento di integrare tra loro dati provenienti da attività di rilievo che si potranno sviluppare nel tempo. Rilievi topografici di supporto a sperimentazioni fotogrammetriche e laser scanner sono stati condotti per la realizzazione di modelli 3D dai quali poter procedere a riflessioni sul valore del disegno virtuale per l'archeologia. I dati delle nuvole di punti, ad elevata affidabilità metrica, provenienti dalla elaborazione delle scansioni laser, faranno parte del database di documentazione insieme alle riprese

fotografiche e video. Il progetto prevede una fase di post produzione dei dati, costituita da ulteriori elaborazioni 2D e 3D delle nuvole di punti realizzate, della documentazione diretta, dei disegni e delle foto, al fine di estrarre un affidabile apparato critico documentario costituito da disegni vettoriali (piante, sezioni e prospetti), rendering 3D e dettagli in 2D e 3D per lo studio di dettagli architettonici e particolari di interesse. Queste elaborazioni, proprio per il carattere digitale, costituiranno, lo speriamo, la base documentaria per la conservazione del sito, e potranno venire facilmente sfruttate anche per una migliore fruizione museale, pensando alle possibilità di simulazione, anche a scopi didattici, di eventuali ricostruzioni virtuali o proposte di interventi di restauro e valorizzazione.

La realizzazione del progetto prevede anche attività didattiche che si sono svolte e che si svolgeranno nel quadro di seminari accademici dando la possibilità a studenti, dottorandi e specialisti, provenienti non solo dall'Italia, di partecipare attivamente a tali attività, che saranno guidate da studiosi e professori esperti nel settore della documentazione digitale del patrimonio e di acquisire nuove conoscenze sulle più recenti metodologie di acquisizione dei dati di siti di interesse architettonico ed archeologico. Affiancata alla rappresentazione convenzionale dell'architettura, la creazione di modelli digitali leggeri ma al contempo affidabili, permette di ottenere un prodotto fruibile attraverso dispositivi informatici di utilizzo comune, ad esempio per il turista, come pc, smartphone e tablet, forniti di connessione on-line. Le tecnologie in grado di restituire visualizzazioni 3D in real-time danno nuove possibilità di raccolta dei dati in database facilmente consultabili da operatori più o meno esperti e ampliano il concetto di visita virtuale rendendo la fruizione delle ricostruzioni digitali più immediata e diretta, coinvolgendo gli utenti mediante interfacce web con livelli di complessità inferiore.

#### CREDITI

Responsabili del rilievo: Stefano Bertocci, Sandro Parrinello, Luca Cipriani.

Partecipanti:

- Università di Firenze: Prof. Stefano Bertocci, Ph.D. Sergio Di Tondo, Ph.D. Andrea Arrighetti, Ph. D. student

Monica Bergigli;

- Università di Pavia: Prof. Sandro Parrinello, Ph.D. Francesca Picchio, Ph.D. Stud. Raffaella De Marco;  
- Università di Bologna: Prof. Luca Cipriani, Prof. Filippo Fantini, Ph.D. Silvia Bertacchi.

Collaborazioni con istituzioni pubbliche:

- Soprintendenza per i Beni Archeologici del Lazio  
- Area Archeologica di Villa Adriana.

Collaborazioni per supporto tecnologico: Microgeo srl.

## CREDITI DELL'ARTICOLO

Si devono a Stefano Bertocci i paragrafi 1 e 2; si devono a Sandro Parrinello i paragrafi 3 e 4.

Fig. 1 - Planimetria generale della Villa con individuate le aree interessate dalla ricerca.

Fig. 2 - Vedute di Villa Adriana.

Fig. 3 - Attività di rilevamento a Villa Adriana.

Fig. 4 - Nuvole di punti laser scanner di porzioni della Villa.

Fig. 5 - Procedure di rilevamento diretto, restituzione delle trilaterazioni ed elaborazione del fotopiano.

Fig. 6 - Restituzione dei fronti in ambiente CAD.

Fig. 7 - Elaborazione delle nuvole di punti parziali mediante fotogrammetria SfM.

Fig. 8 - Nuvola di punti, sezione ed elaborazione del modello 3D per una porzione dell'area di palazzo.

Fig. 9 - Nuvola di punti laser scanner e ricostruzione tridimensionale della Peschiera nell'area di Palazzo.

## NOTE

[1] Cfr. G. E. Cinque, A Tivoli Vecchio casa d'Adriana, in *Romula* 15, 2016, pp. 1 – 56.

[2] Sparziano E., *Historia Augusta, Vita Hadriani*, XXVI, 5. La Yourcenar fa dire al protagonista della sua opera: "Avevo dotato ciascuno di quegli edifici di nomi evocanti la Grecia: Il Pecile, l'Accademia, il Pritaneo. Sapevo bene che quella valle angusta, disseminata di olivi, non era il Tempe, ma ero giunto in quell'età in cui non v'è una bella località che non ce ne ricordi un'altra" (Yourcenar M., *Memorie di Adriano*).

[3] <http://whc.unesco.org/en/list/907>.

[4] Cfr. Bertocci S., Parrinello S., *Masada Notebook*, Vol. 1, Edifir, 2014.

## BIBLIOGRAFIA

AA. VV., (2002). *Italia Antiqua. Envois degli architetti francesi (1811 – 1950). Italia e area mediterranea*. Catalogo della mostra, Ecole Nationale Supérieure des Beaux – Arts, Parigi.

Adembri B., (2000). *Villa Adriana Guida*, Electa, Milano.

Adembri B., (2004). *Architettura e paesaggio a Villa Adriana*, in: G. Arcangeli (ed.), *Villa Adriana, Suggerimenti Architettoniche*, Tivoli, p. 7 seg.

Adembri, B., (2005). *Edificio a tre esedre*, in: Filippi F. (ed.): *Palazzo Altemps. I colori del fasto. La domus del Gianicolo e i suoi marmi*, Milano.

Adembri B., (2013). *La Villa, in Forma Urbis*, anno XVIII, n. 8, Settembre 2013, *Villa Adriana. Storia, archeologia, restauro e conservazione*, 18 - 31.

Aurigemma S., (1961) *Villa Adriana*. Istituto Poligrafico di Stato, Roma.

Bertocci S., Parrinello S., (2013). *Un'esperienza di collaborazione scientifica per la documentazione del sito archeologico di Villa Adriana*, in *Forma Urbis*, anno XVIII, n. 8, Settembre 2013, *Villa Adriana. Storia, archeologia, restauro e conservazione*, 48 - 49.

Bertocci S., Minutoli G., *Villa Adriana, esperienze di rilievo digitale ed analisi per il restauro e la musealizzazione dell'edificio dei Pilastri Dorici*, in *RA Restauro Archeologico*, n. 1, 2016, pp. 96 - 119.

Chateaubriand M. F., (1969). *Voyage en Italie, Oeuvres romanesque et voyages II. Texte etabli, présenté et annoté par M. Regard*, Lonrai.

Chiappetta F., (2008) *I percorsi an-*

tichi di Villa Adriana. Edizioni Quasar, Roma.

Cinque G. (2017). *Le rappresentazioni planimetriche di Villa Adriana tra XVI e XVII secolo* (Ligorio, Contini, Kircher, Gondoin, Piranesi). *Collection de l'Ecole Francaise de Rome*, vol. 525, p. 5-474, ROMA, Ecole Francaise de Rome.

Cinque G. (2017). *a Tivoli vecchio casa d'Adriano*. *ROMULA*, vol. 15, in *Romula* 15, 2016, pp. 1-56.

Cipriani, Luca; Fantini, Filippo; Bertacchi, Silvia, Chapter 10 - 3D Digital Models for Scientific Purpose: Between Archaeological Heritage and Reverse Modelling, in: *Handbook of Research on Emerging Technologies for Architectural and Archaeological Heritage*, Hershey PA, IGI Global, 2016, pp. 291 - 321.

Cipriani, L., Fantini F., Bertacchi S., *Understanding ancient design through survey: examples from Hadrian's Villa*, «SCIRES-IT», 2016, 6, pp. 133 - 150.

Conforto M. L., (2002) *Villa Adriana: significati simbolici, connotati formali, scelte funzionali nell'architettura del paesaggio*, in *Villa Adriana paesaggio antico e ambiente moderno: elementi di novità e ricerche in corso*, Roma, Italia, 2000, pp 90-124.

Crescenzi L., Hurtado de Mendoza M., Robini M. (a cura di), (1996), *Disegni per Villa Adriana, Soprintendenza Archeologica per il Lazio*, Roma.

Di Tondo S., (2013). *I restauri virtuali della decorazione architettonica del Teatro Marittimo e della Piazza d'Oro*, in *Forma Urbis*, anno XVIII, n. 8, Settembre 2013, *Villa Adriana. Storia, archeologia, restauro e conservazione*, pp. 41 - 43.

Ehrlich T. L., (1989). *The Waterwor-*

ks of Hadrian's Villa, *Journal of Garden History* 9, pp. 161-176.

Fagiolo M., Madonna M. L., (2003). *Il progetto della Villa tra antichità e natura*, in: I. Barisi, M. Fagiolo M., Madonna M. L. (eds): *Villa d'Este*, Roma.

Giuliani C. F., (1988). *La Villa*, in *Giuliano A. et alii (eds), Villa Adriana*, Milan, pp. 71-146.

Hidalgo R. (2006b). *Piranesi y el dibujo preparatorio de la "Planta delle fabbriche esistenti nella Villa Adriana" del Museo de San Martiñoen Napoles* , *Homenaje a Pilar León, Córdoba*.

Lanciani R., (1906) *La Villa Adriana, guida e descrizione*. Tipografia Accademia dei Lincei, Roma.

Lavagne H., (2000). *Pianta di Villa Adriana, Adriano, Architettura e Progetto*, Milan, pp. 196-199.

Ligorio P., (1553). *Libro delle Antichità di Pirro Ligorio*, Venecia.

Michel M.R., (2000). *Artisti e turisti a Villa Adriana nel XVIII secolo*, *Adriano Architettura e progetto*, Milano, 103 ss.

Nibby A., (1827). *Descrizione della Villa Adriana*, Roma.

Remondino F., Rizzi A., Agugiario G., Jimenez B., Menna F., Nex F., Baratti G., (2011). *Rilievi e Modellazione 3D*, Atti 15a Conferenza Nazionale ASITA - Reggio di Colorno, Italia, 2011.

Yourcenar M., (1963) *Memorie di Adriano (seguite da Tacuini di Apunti)*. Einaudi, Torino.