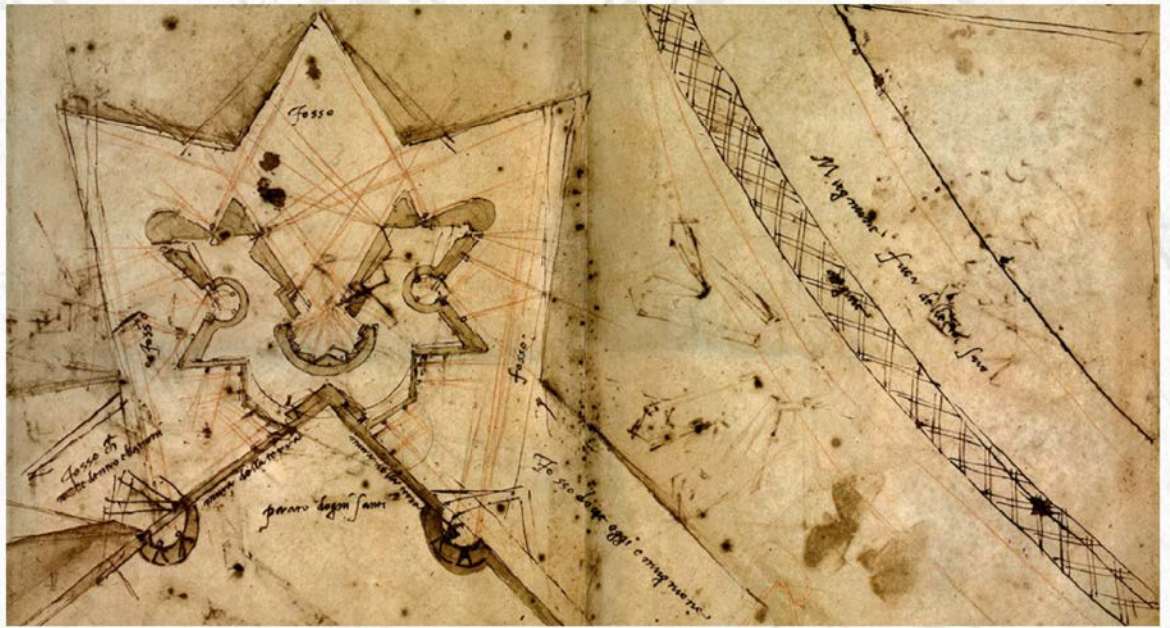


# LE RAGIONI DEL DISEGNO THE REASONS OF DRAWING

Pensiero, Forma e Modello nella Gestione della Complessità  
Thought, Shape and Model in the Complexity Management



**38°** CONVEGNO  
INTERNAZIONALE  
DEI DOCENTI DELLE DISCIPLINE  
DELLA RAPPRESENTAZIONE



GANGEMI EDITORE  
INTERNATIONAL PUBLISHING



**UID** UNIONE ITALIANA PER IL DISEGNO  
**DIDA** Dipartimento di Architettura



**UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE**  
**DIDA**  
DIPARTIMENTO DI  
ARCHITETTURA

**38° CONVEGNO INTERNAZIONALE  
DEI DOCENTI DELLE DISCIPLINE DELLA RAPPRESENTAZIONE  
TREDICESIMO CONGRESSO UID – FIRENZE 15 • 16 • 17 SETTEMBRE 2016  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE – AULA MAGNA DEL RETTORATO Piazza San Marco, 4  
AUDITORIUM DI SANTA APOLLONIA Via XXVII aprile, 25A**

**Comitato Scientifico internazionale / International Scientific Committee**

Caroline Astrid Bruzelius, *Duke University, North Carolina, USA – member of the American Academy of Arts and Sciences*  
Pedro Cabesos, *Universidade da Coruña, Spagna*  
Fabiana Andrea Carbonari, *La Universidad Nacional de La Plata, Argentina*  
Arivaldo Leao De Amorim, *Universidade Federal da Bahia, Brasile*  
Livio De Luca, *Direttore di Ricerca del CNRS MAP-Gamsau, Marsiglia, Francia*  
Juan José Fernandez Martin, *Universidad de Valladolid, Spagna*  
Roberto Ferraris, *Universidad Nacional de Cordoba, Argentina*  
José Antonio Franco Carlos de San Antonio Gomez, *Universidad Politécnica de Madrid, Spagna*  
José Antonio Franco Taboada, *Universidade da Coruña, Spagna*  
Ángela García Codotier, *Universitat Politècnica de València, Spagna*  
Pedro Antonio Janeiro, *Universidade de Lisboa, Portogallo*  
Walsh Michael John Kir, *School of Art, Design and Media - College of Humanities, Arts, & Social Sciences of the Nanyang Technological University, Singapore*  
Cornelie Leopold, *University of Kaiserslautern, Germania*  
Juan Samuell Lladó, *Universidad de Extremadura, Spagna*  
Francisco Martinez Mindeguia, *Universitat Politècnica de Catalunya, Spagna*  
Carlos Montes, *Universidad de Valladolid, Spagna*  
Javier Mosteiro, *Universitat Politècnica de Catalunya, Spagna*  
Pablo José Navarro Esteve, *Universitat Politècnica de Valencia, Spagna*  
Fang Yibing, *Accademia nazionale delle scienze Pechino, Repubblica Popolare Cinese*

**Comitato Scientifico Nazionale / National Scientific Committee**

Piero Albisinni, *"Sapienza" Università di Roma*  
Fabrizio Ivan Apollonio, *Università di Bologna*  
Paolo Belardi, *Università di Perugia*  
Stefano Bertocci, *Università di Firenze*  
Carlo Bianchini, *"Sapienza" Università di Roma*  
Marco Bini, *Università di Firenze*  
Vito Cardone, *Università di Salerno*  
Mario Centofanti, *Università dell'Aquila*  
Emanuela Chiavoni, *"Sapienza" Università di Roma*  
Michela Cigola, *Università di Cassino e del Lazio Meridionale*  
Antonio Conte, *Università della Basilicata*  
Antonella Di Luggo, *Università di Napoli Federico II*  
Mario Docci, *"Sapienza" Università di Roma*

©

Proprietà letteraria riservata  
**Gangemi Editore spa**  
Piazza San Pantaleo 4, Roma  
www.gangemieditore.it

Nessuna parte di questa pubblicazione può essere memorizzata, fotocopiata o comunque riprodotta senza le dovute autorizzazioni.

Le nostre edizioni sono disponibili in Italia e all'estero anche in versione ebook.

Our publications, both as books and ebooks, are available in Italy and abroad.

**GANGEMI EDITORE®**  
INTERNATIONAL PUBLISHING

FINITO DI STAMPARE NEL MESE DI SETTEMBRE 2016  
www.gangemieditore.it

ISBN 978-88-492-3295-0

Francesca Fatta, *Università Mediterranea della Calabria*  
Paolo Giandebbiaggi, *Università di Perna*  
Andrea Giordano, *Università di Padova*  
Elena Ippoliti, *"Sapienza" Università di Roma*  
Francesco Maggio, *Università di Palermo*  
Anna Marotta, *Politecnico di Torino*  
Arturo Livio Sacchi, *Università Chieti-Pescara*  
Rossella Salerno, *Politecnico di Milano*  
Alberto Slegno, *Università di Trieste*  
Ornella Zerlenga, *Seconda Università di Napoli*

**Peer reviewer internazionali / International peer reviewers**

Pedro Cabesos, *Universidade da Coruña, Spagna*  
Andrea Fabiana Carbonari, *La Universidad de La Plata, Argentina*  
Arivaldo Leao De Amorim, *Universidade Federal da Bahia, Brasile*  
Roberto Ferraris, *Universidad Nacional de Cordoba, Argentina*  
José Antonio Franco Carlos de San Antonio Gomez, *Universidad Politécnica de Madrid, Spagna*  
José Antonio Franco Taboada, *Universidade da Coruña, Spagna*  
Pedro Antonio Janeiro, *Universidade de Lisboa, Portogallo*  
Juan Samuell Lladó, *Universidad de Extremadura, Spagna*  
Francisco Martinez Mindeguia, *Universitat Politècnica de Catalunya, Spagna*  
Carlos Montes, *Universidad de Valladolid, Spagna*  
Javier Mosteiro, *Universitat Politècnica de Catalunya, Spagna*  
Pablo José Navarro Esteve, *Universitat Politècnica de Valencia, Spagna*

**Peer reviewer nazionali / National peer reviewers**

Fabrizio Agnello, *Università degli Studi di Palermo*  
Giuseppe Amoroso, *Politecnico di Milano*  
Marinella Arena, *Università Mediterranea Reggio Calabria*  
Marcello Balzani, *Università di Ferrara*  
Laura Baratin, *Università di Urbino Carlo Bo*  
Salvatore Barba, *Università di Salerno*  
Cristiana Bedoni, *Università degli Studi Roma Tre*  
Marco Giorgio Bevilacqua, *Università di Pisa*  
Fabio Bianconi, *Università di Perugia*  
Enrica Bistagnino, *Università di Genova*  
Antonio Bixio, *Università degli Studi della Basilicata*  
Stefano Brusaporci, *Università degli Studi dell'Aquila*  
Adele Carla Buratti, *Politecnico di Milano*  
Massimiliano Campi, *Università degli Studi di Napoli Federico II*  
Marco Canciani, *Università degli Studi Roma Tre*  
Mara Capone, *Università degli Studi di Napoli Federico II*  
Laura Carlevaris, *"Sapienza" Università di Roma*  
Laura Carnevali, *"Sapienza" Università di Roma*  
Marco Carpicci, *"Sapienza" Università di Roma*  
Andrea Casale, *"Sapienza" Università di Roma*  
Francesco Cervellini, *Università di Camerino*  
Luca Cipriani, *Università di Bologna*  
Paolo Cini, *Università, Politecnica delle Marche*  
Luigi Cocchiarella, *Politecnico di Milano*  
Luisa Chiara Cogorno, *Università di Genova*  
Daniele Colistra, *Università Mediterranea Reggio Calabria*  
Romolo Contenza, *Università degli Studi dell'Aquila*  
Secondino Coppo, *Politecnico di Torino*  
Cesare Cundari, *"Sapienza" Università di Roma*  
Laura De Carlo, *"Sapienza" Università di Roma*  
Francesco Paolo De Mattia, *Politecnico di Bari*  
Roberto De Rubertis, *"Sapienza" Università di Roma*  
Aldo De Sanctis, *Università Mediterranea Reggio Calabria*  
Edoardo Dotto, *Università di Catania*

Fabio Fabbrizzi, *Università degli Studi di Firenze*  
Maria Linda Falcidieno, *Università di Genova*  
Federico Fallavolta, *Università di Bologna*  
Patrizia Falzone, *Università di Genova*  
Marco Fasolo, *"Sapienza" Università di Roma*  
Riccardo Florio, *Università degli Studi di Napoli Federico II*  
Giorgio Garzino, *Politecnico di Torino*  
Fabrizio Gay, *Università IUAV di Venezia*  
Gaetano Ginex, *Università Mediterranea Reggio Calabria*  
Massimo Giovannini, *Università Mediterranea Reggio Calabria*  
Guido Guidano, *Università di Genova*  
Manuela Incerti, *Università di Ferrara*  
Serenio Marco Innocenti, *Università di Brescia*  
Mariangela Liuzzo, *Università di Enna*  
Massimiliano Lo Turco, *Politecnico di Torino*  
Giovanna Angela Massari, *Università di Trento*  
Giampiero Mele, *Università telematica eCampus*  
Barbara Messina, *Università di Salerno*  
Riccardo Migliari, *"Sapienza" Università di Roma*  
Giuseppa Novello, *Politecnico di Torino*  
Anna Osello, *Politecnico di Torino*  
Caterina Palestini, *Università di Chieti-Pescara "G. d'Annunzio"*  
Lia Maria Papa, *Università degli Studi di Napoli Federico II*  
Leonardo Paris, *"Sapienza" Università di Roma*  
Sandro Parrinello, *Università di Pavia*  
Paolo Piumatti, *Politecnico di Torino*  
Fabio Quici, *"Sapienza" Università di Roma*  
Luca Ribichini, *"Sapienza" Università di Roma*  
Andrea Ricci, *Università degli Studi di Firenze*  
Andrea Rolando, *Politecnico di Milano*  
Michela Rossi, *Politecnico di Milano*  
Daniele Rossi, *Università di Camerino*  
Salvatore Santuccio, *Università di Camerino*  
Roberta Spallone, *Politecnico di Torino*  
Giacinto Taibi, *Università di Catania*  
Camillo Trevisan, *Università IUAV di Venezia*  
Pasquale Tunzi, *Università di Chieti-Pescara "G. d'Annunzio"*  
Maurizio Unali, *Università di Chieti-Pescara "G. d'Annunzio"*  
Graziano Mario Valenti, *"Sapienza" Università di Roma*  
Rita Maria Valenti, *Università di Catania*  
Cesare Verdoscia, *Politecnico di Bari*  
Chiara Vernizzi, *Università di Parma*  
Andrea Zerbi, *Università di Parma*

**Comitato Organizzatore / Organizing Committee**

Giovanni Anzani, Barbara Aterini, Maria Teresa Bartoli, Stefano Bertocci, Carlo Biagini, Marco Bini, Carmela Crescenzi, Cecilia Luschì, Emma Mandelli, Alessandro Merlo, Paola Puma, Marcello Scalzo, Giorgio Verdiani

**Staff Tecnico - Operativo / Staff - Operative**

Laura Aiello, Francesco Algostino, Andrea Aliperta, Eleonora Ceccconi, Paolo Formaglini, Filippo Giansanti, Gaia Lavoratti, Giancarlo Littera, Andrea Pasquali, Francesca Picchio, Francesco Tioli

**Coordinamento Scientifico / Scientific Coordination**

Stefano Bertocci  
Marco Bini

**I testi e le relative traduzioni oltre che tutte le immagini pubblicate sono state fornite dai singoli autori per la pubblicazione con copyright e responsabilità scientifica e verso terzi. La revisione e redazione dei testi è stata dei curatori del volume.**

In copertina: Michelangelo Buonarroti - *Studi di fortificazione per la Porta al Prato d'Ognissanti* - Firenze, Casa Buonarroti. (per gentile concessione della Dott.ssa Pina Ragionieri direttrice del museo "Casa Buonarroti")



## Rilievo digitale e virtual heritage: il *Castellum Aquarum* di Poggio Murelle a Manciano (GR)

### Digital Surveying and Virtual Heritage: the *Castellum Aquarum* of Poggio Murelle in Manciano (Grosseto – Italy)

Giuseppe Nicastro\*

LO STUDIO AFFRONTA IL RILIEVO DEL *CASTELLUM AQUARUM* DI POGGIO MURELLE, SITO A MANCIANO (GROSSETO), ALLO SCOPO DI DOCUMENTARNE OGNI CARATTERISTICA PER FINI DI CONOSCENZA E VALORIZZAZIONE. L'IMPEGNO AD OTTENERE RISULTATI ANALOGHI A QUELLI PRODOTTI CON SISTEMI COMPLESSI, UTILIZZANDO TECNOLOGIE *ENTRY LEVEL*, HA ORIENTATO LA SCELTA METODOLOGICA VERSO LA FOTOMODELLAZIONE TRIDIMENSIONALE INTEGRATA DA RILIEVO TOPOGRAFICO. SULL'ESAME DELLE FONTI BIBLIOGRAFICHE E DEI CONFRONTI TIPOLOGICI È STATA, INFINE, BASATA UNA IPOTESI DI RICOSTRUZIONE ORIGINARIA.

PAROLE CHIAVE: RILIEVO DIGITALE, VIRTUAL HERITAGE, STRUCTURE FOR MOTION, FOTOMODELLAZIONE, *CASTELLUM AQUARUM*

#### **L'oggetto di studio**

Il *Castellum Aquarum* di Poggio Murelle, importante esempio architettonico dell'ingegno romano nel campo dell'idraulica, è anche testimonianza di una forte presenza di coloni romani nella bassa Maremma. Con le più recenti scoperte topografiche sull'esatta localizzazione della città di Heba, e le altre realtà coeve, l'agro cosano, Roselle, Vulci, etc., la cisterna di Poggio Murelle contribuisce ad ampliare il racconto degli eventi che hanno segnato la colonizzazione dell'Etruria meridionale in quel processo di "romanizzazione" che dal IV secolo a.C. in poi si estenderà ben oltre i confini nazionali.

In questo panorama storico, Saturnia ed il suo intorno rivelano una forte presenza etrusca prima, e romana successivamente nel territorio della valle dell'Albegna; numerose sono infatti le tracce di costruzioni romane rinvenute all'interno del paese stesso dove lacerti di muri si vedono affiorare nei pressi della chiesa arcipretale e della porta Romana e resti di pavimenti a smalti policromi furono ritrovati sotto alle case che prospettano la piazza Vittorio Veneto.

Nel punto più elevato della città, ove nel secolo XV si innalzò la rocca Ciacci, appaiono le vestigia di una grandiosa costruzione che abbraccia la rocca stessa: la muratura in calcestruzzo e lo strato di smalto soprastante hanno fatto pensare che la costruzione possa riferirsi ad un grande *castellum aquae*. Negli anni più recenti, sulla base di alcune segnalazioni e dall'esame accurato della cartografia storica è stata individuato un ulteriore complesso di cisterne che testimonia ancora una volta il grande sistema di approvvigionamento di acqua potabile nel sottosuolo della città (Rendini 1999 pp. 101-116)

La cisterna delle Murelle appare come un recinto murario di 35 ml per 11 ml quello corto, che fuoriesce dal terreno per un'altezza di 5 ml e ciò che si vede oggi è la parte fuori terra di una costruzione per la maggior parte interrata al di sotto del piano di camminamento.

Il fronte principale presenta dieci specchiature in *opus reticulatum* scandite da altrettanti contrafforti in opera listata (filari di sottili mattoni alternati a conci di pietra semi squadrate). Sempre sullo stesso

THIS PAPER DEALS WITH THE SURVEY OF THE *CASTELLUM AQUARUM* OF POGGIO MURELLE, LOCATED IN MANCIANO (GROSSETO – ITALY), CARRIED OUT WITH THE INTENTION OF DOCUMENTING EVERY ASPECT OF THE CISTERN, WHILE PURSUING OBJECTIVES IN TERMS OF KNOWLEDGE AND VALORISATION. IN SEEKING TO OBTAIN RESULTS SIMILAR TO THOSE PRODUCED WITH MORE COMPLEX SYSTEMS BY ADOPTING, INSTEAD, ENTRY LEVEL TECHNOLOGIES, THE METHODOLOGICAL APPROACH CHOSEN WAS THAT OF THREE-DIMENSIONAL PHOTO MODELLING INTEGRATED BY A TOPOGRAPHICAL SURVEY. IN CONCLUSION, A HYPOTHESIS OF RECONSTRUCTION OF ITS ORIGINAL STATE WAS ADVANCED, BASED ON THE EXAMINATION OF BIBLIOGRAPHIC RESOURCES AND TYPOLOGICAL COMPARISONS.

KEYWORDS: DIGITAL SURVEY, VIRTUAL HERITAGE, STRUCTURE FROM MOTION, PHOTO MODELLING, *CASTELLUM AQUARUM*

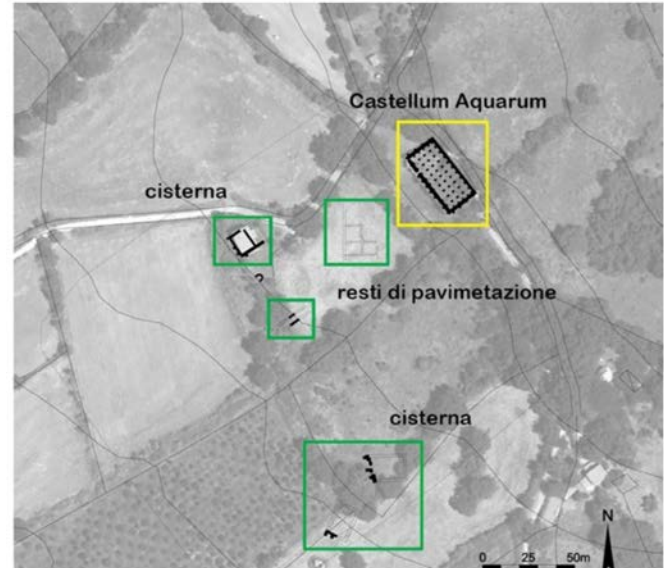
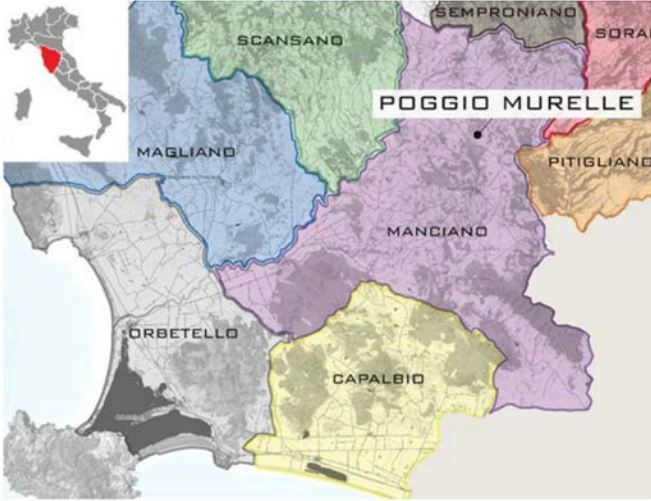
#### **The object of study**

The *Castellum Aquarum* of Poggio Murelle, an important example of Roman hydraulic engineering and architectural design, also bears testimony to a strong presence of Roman settlers in the southern part of the Maremma area of Tuscany. Following the latest discoveries regarding the exact topographical location of the city of Heba and other sites of the same period, such as the countryside of Cosa, Roselle, Vulci, etc., the cistern of Poggio Murelle contributes to expanding the story of the events that marked the colonialization of southern Etruria during the process of Romanisation which, from the 4th century B.C. onwards, would come to extend far beyond national borders.

In this historical context, Saturnia and its surroundings reveal a strong Etruscan, and subsequently Roman presence in the territory of the Albegna Valley; in fact there are many traces of Roman constructions found in the town itself, where fragments of walls are seen to emerge near the archpriest church and the Roman gate, and the remains of polychrome enamel floors are found beneath the houses overlooking Piazza<sup>13</sup> Vittorio Veneto.

On the highest point in the city, where in the 15th century the Ciacci Fortress arose, lie the remains of a massive construction enclosing the fortress itself: the concrete masonry and overlying layer of enamel suggest that the construction may have been a great *castellum aquae*, (water tower). In more recent years, based on certain reports as well as the thorough examination of historical cartography, an additional group of cisterns has been discovered that once again bears witness to the great drinking water supply system in the subsoil of the city (Rendini 1999 pp. 101-116).

The cistern of Le Murelle appears as an enclosing wall measuring 35 meters in length and 11 meters in width, emerging above ground to a height of 5 meters. What can be seen today is the above-ground portion of a construction which extends mostly underground, buried beneath ground level.



fronte, tre aperture dall'altezza molto ridotta potevano probabilmente rappresentare i punti di fuoriuscita e aggancio delle condutture al *castellum*. Una di queste tre aperture è anche il solo punto di accesso odierno all'interno del recinto murario, essendo le altre due ostruite da terra e detriti. Entrando ci ritroviamo nella terza di dieci volte a botte che corrono secondo la lunghezza minore dello spazio interno: essendo privo di qualunque rivestimento di intonaco, l'*opus caementicium* con le quali sono state gettate, rivela un insieme di pietre di taglio e dimensione molto ridotte, tenute insieme dal conglomerato. Ognuna delle volte è sorretta sui lati lunghi da tre pilastri centrali, e due contrafforti esterni, anche essi in opera listata: questi appoggi sono collegati da quattro archi in mattoni di pregevole fattura. Delle dieci volte originali soltanto sei sono ancora integre: le prime cinque sono collocate nell'ambiente attualmente d'ingresso mentre le successive quattro navate non hanno retto al peso del tempo e sono crollate; a loro posto oggi resta un muro privo di copertura delimitato dalle sole pareti esterne, al cui interno sono ammassati i detriti della struttura.

Superato questo tumulo si può accedere all'ultima navata integra: ciò si deve probabilmente a recenti lavori di restauro testimoniati anche da un pilastro in cemento. Come è dimostrato dalle numerose conserve che dall'antichità sono giunte fino a noi, la tipologia della cisterna non sempre segue un rigido schema costruttivo, ma cambia in funzione delle variabili presenti al momento della sua costruzione: questa peculiarità ci offre dunque un quadro articolato che presenta però diverse caratteristiche costruttive comuni. La struttura delle cisterne costruite (non scavate) era solitamente molto possente dovendo difatti sopportare notevoli spinte, dovute alla pressione esercitata dall'acqua. Le strutture murarie

The main façade has ten panels in *opus reticulatum* divided by ten buttresses in *opus listatum* (thin rows of bricks alternating with blocks of roughly squared stone). On the same façade, there are three very low openings that were probably the points where conduits exited from or were attached to the *castellum*. One of these three openings is presently the only point of access to the space inside the surrounding wall, the other two being blocked by earth and debris. Upon entering, we find ourselves in the third of ten barrel vaults running along the shorter length of the interior space: being devoid of any mortar coating, the *opus caementicium* with which they have been built shows a mass of very small, differently shaped stones, held together by a conglomerate. Each of the vaults is supported on its long sides by three central pillars and by two external buttresses, also in *opera listata*: these supports are connected by four brick arches of exquisite workmanship. Of the original ten vaults only six are still intact: the first five are located in the current entrance area while the subsequent four vaults have not withstood the test of time and have collapsed; in their place today remains an area without a covering roof or ceiling, defined only by external walls, and filled with rubble accumulated from the structure. On the other side of the mound of debris you can access the last intact vault, perhaps a result of the recent work of restoration, also evidenced by a concrete pillar.

As demonstrated by the many reservoirs that have come down to us from ancient times, cistern typology does not always follow a rigid construction scheme, but changes in relation to the variables present at the time of construction: therefore, this particular characteristic



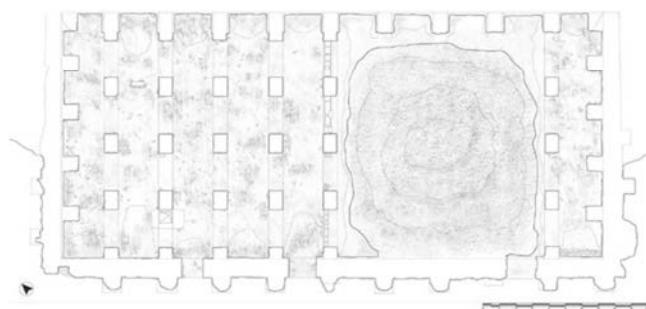


venivano generalmente realizzate in *opus caementicium*, all'interno di cortine che fungevano da casseforme; il paramento veniva realizzato, a seconda del materiale locale disponibile, in varie tecniche: *opus incertum*, *opus vittatum*, *opus mixtum*, *opus latericium*, sempre rivestito con un intonaco eminentemente idraulico. A seconda delle dimensioni, della forma e della collocazione, le cisterne potevano essere dotate di contrafforti laterali, di solito a pianta trapezoidale o rettangolare, atti a contrastare le spinte dovute alla pressione idraulica. Adattandola alle caratteristiche orografiche del sito, la struttura poteva essere simmetrica, avere cioè i contrafforti su entrambi i lati lunghi, oppure asimmetrica, con i contrafforti esclusivamente fuori terra. Il sistema d'impermeabilizzazione era realizzato mediante un rivestimento con malte idrauliche: la malta veniva realizzata con calce aerea, cocchio pesto e materiali vulcanici. Le conserve erano caratterizzate da un numero variabile di vani, con sistema di copertura a volte: vi erano depositi composti da una sola camera o viceversa formati da stanze collegate in sequenze, depositi costituiti da una rete di condutture; i depositi avevano infine coperture sostenute da pilastri cruciformi, quadrati, rettangolari o da colonne. Oltre alla perizia costruttiva, il parziale od il totale interrimento delle cisterne ha fatto sì che molti di questi complessi idraulici siano giunti a noi in perfetto stato di conservazione.

#### **Stato dell'arte**

Gli ultimi dieci anni hanno visto una notevole espansione delle tecnologie legate al rilievo e alla sua rappresentazione. Strumentazioni nate in campo industriale, come i laser scanner, hanno dimostrato di poter essere felicemente applicate anche nel rilievo architettonico dove un numero sempre maggiore di professionisti ricorre a queste soluzioni. Benchè i prezzi delle attrezzature necessarie siano costantemente in calo, ancora. Recentemente si è perciò sempre diffusa la sperimentazione di tecniche *low cost* di acquisizione del dato, tra le quali è la fotomodellazione.

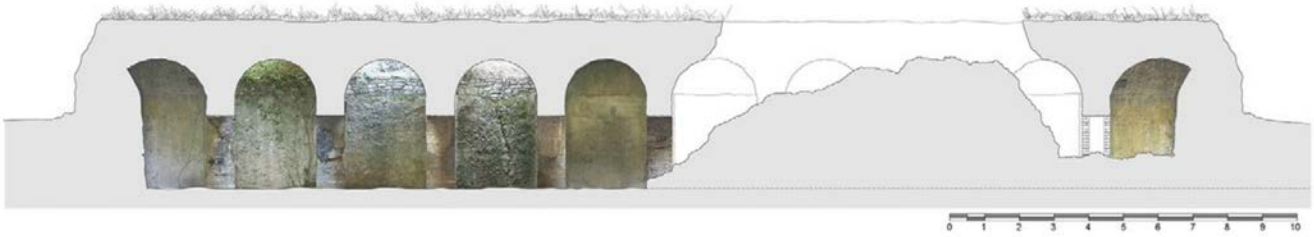
Con il termine "fotomodellazione" si intende il processo di operazioni effettuate in ambito digitale con le quali, a partire da immagini *raster*, si giunge alla creazione di un modello tridimensionale fotorealistico (Filippucci 2010, p.51). Come noto, la tecnica conosciuta



gives us a comprehensive framework presenting, however, several common constructional features. The structure of the cisterns that were actually built, not excavated, was usually very massive since, in fact, they had to withstand considerable forces due to the pressure exerted by the water. The walls were generally constructed with the technique called *opus caementicium*, inside temporary walls that served as formwork; the facades were built, depending on the material available locally, with various techniques: *opus incertum*, *opus vittatum*, *opus mixtum*, *opus latericium*, always covered with a specific hydraulic mortar. Depending on their size, shape and location, the cisterns could be equipped with lateral buttresses, usually trapezoidal or rectangular, able to contrast the thrusts caused by hydraulic pressure. Adapting it to the orographic conditions of the site, the structure could be symmetric, that is, with buttresses on both long sides or, rather, asymmetrical, with buttresses exclusively above ground. The waterproofing system was realized by means of a coating with hydraulic mortars: the mortar was made with air-hardened lime, crushed terra cotta and volcanic materials. The reservoirs were characterized by a variable number of compartments, with a system of vaulted ceilings: there were reservoirs consisting of a single chamber or, vice versa, formed of chambers connected in sequence, reservoirs consisting of a network of conduits; finally, the reservoirs had coverings supported by cruciform, square, rectangular pilasters or by columns. In addition to the expertise applied

5/ *Castellum Aquarum*: sezione longitudinale  
5/ *Castellum Aquarum*: longitudinal section

6/ *Castellum Aquarum*: veduta dell'esterno  
6/ *Castellum Aquarum*: exterior view



anche con il termine di *structure from motion*, permette di ricostruire la geometria di oggetti attraverso la collimazione automatica di punti da una serie di foto. Basata su algoritmi di *computer vision*, estrae i punti notevoli dalle singole foto incrociando i punti omologhi su più immagini, trovando così le coordinate nello spazio dei punti stessi. In uscita dalla prima fase del calcolo, il software allinea le varie foto nello spazio tridimensionale e genera una nuvola di punti densa. Nelle successive fasi viene generata la mesh triangolare e la conseguente texturizzazione (Filippucci 2010 p.52).

L'impegno ad ottenere risultati analoghi a quelli prodotti con sistemi più complessi utilizzando invece tecnologie *entry level*, ha orientato dunque la scelta metodologica di questo studio verso la fotomodellazione tridimensionale integrata da un rilievo topografico.

#### **Definizione delle metodologie adottate nella ricerca**

Per il rilievo topografico è stata realizzata una maglia di nove stazioni, mentre per la fotomodellazione il numero di prese fotografiche necessarie si attesta intorno alle 10000 immagini: in fase di elaborazione questo numero ha subito una riduzione dovuta all'eliminazione delle prese fotografiche inadatte perché fuori fuoco, con variazioni cromatiche troppo marcate, o per problemi di sovra/sotto esposizione.

Al termine della campagna di rilievo (svolta nell'arco di varie giornate nel febbraio del 2015) sono state completate anche le operazioni relative alla fotomodellazione: ogni set fotografico è stato "alli-

in their construction, the partial or total burial of the cisterns underground has meant that many of these ancient water conservation systems have survived to the present day in perfect condition.

#### **State of the**

The last ten years have seen a considerable expansion of the technologies related to surveying and its representation. Instruments created for industrial use, such as laser scanners, have also been successfully applied in architectural surveying, where more and more professionals adopt these solutions. Though the prices of necessary equipment are constantly diminishing, they are still rather high. Recently, therefore, experimentation with low-cost techniques of data acquisition, including photo modelling, has become wide-spread.

The term "photo modelling" refers to the process of operations performed digitally with which, starting from raster images, a photorealistic three-dimensional model is created. As is known, the technique also identified as "structure from motion" allows us to reconstruct the geometry of objects through the automatic collimation of points from a series of photos. Based on computer vision algorithms, it extracts the significant points from individual photos, matching the common points on multiple images, thus finding the coordinates in space of the points themselves. After the first stage, the software aligns the various photographs in three-dimensional space and generates a dense point cloud. In the next stages, the mesh is built and, consequently, textured (Filippucci 2010 p.52).

In seeking to obtain results similar to those produced with more complex systems by adopting, instead, entry level technologies, the methodological approach chosen was that of three-dimensional photo modelling integrated by a topographical survey.

#### **Definition of the methodologies adopted in the research**

For the topographic survey, a network of nine stations was created, while for the photo modelling, the number of necessary photo frames was more or less 10,000 images: while being processed, this number showed a reduction due to the elimination of the frames that were deemed unsuitable because out of focus, or with excessively pronounced color variations, or with problems of over/under exposure.

At the end of the survey campaign (carried out over several days in February 2015) the operations related to photo modelling were also completed: every set of photos was aligned in order to assess its ge-

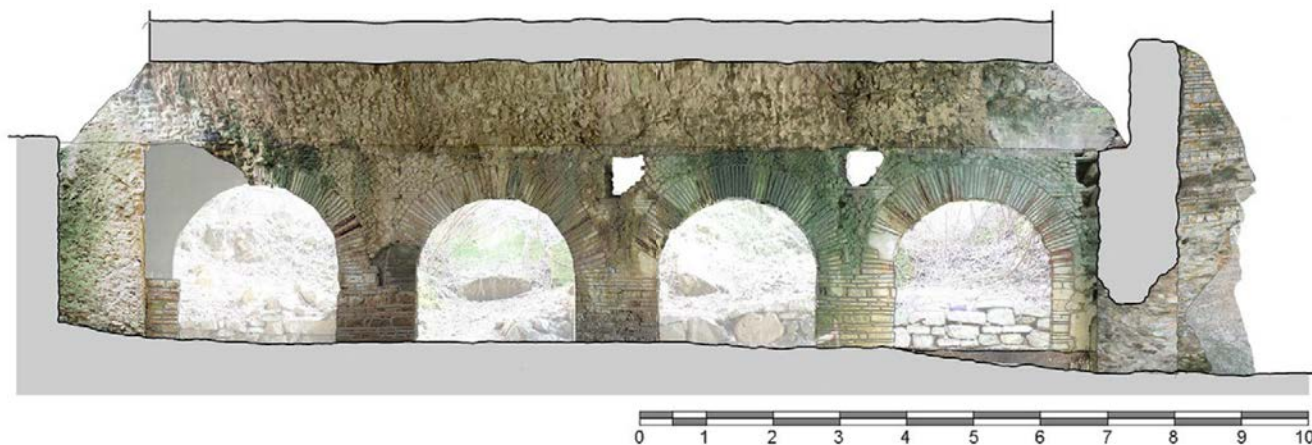


7/ *Castellum Aquarum*: sezione trasversale

7/ *Castellum Aquarum*: cross section

8/ *Castellum Aquarum*: veduta di una delle volte e particolare di un pilastro

8/ *Castellum Aquarum*: interior view. Vault and pillar

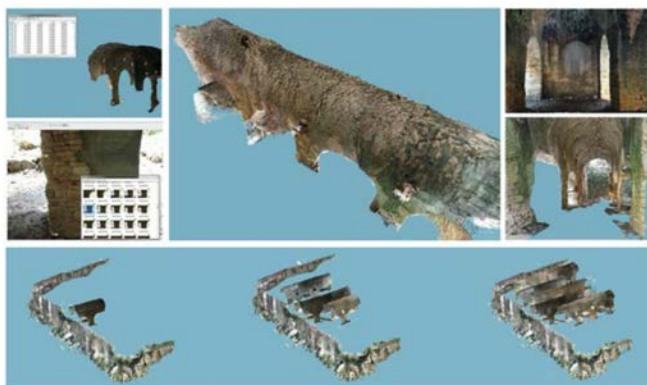


neato” al fine di valutarne la corrispondenza geometrica con il reale per poi generare, in un secondo momento, una *point cloud* densa, ovvero una nuvola composta da un elevato numero di punti. Terminati tutti gli allineamenti è stato necessario integrare i due sistemi di acquisizione ovvero utilizzare i dati del rilievo topografico per ‘registrare’ e quindi rendere univoci quelli frammentari e indipendenti generati dalla fotomodellazione. In termini operativi occorre ricercare su ogni presa fotografica i corrispondenti punti misurati con la stazione totale, evidenziandoli con marker a cui vengono associate le rispettive coordinate x, y e z. Il software esegue una computazione confrontando la posizione dei pixel in ogni immagine e i punti indicati dall’utente generando una valutazione di errore la cui unità di misura è, appunto, il pixel: escludendo dall’analisi quei punti che presentano scarti significativi, si ottimizza la singola scansione referenziandola rispetto al sistema di riferimento generato dal rilievo topografico. Importando tutte le singole porzioni,

ometric correspondence with the real object and then generate, at a later time, a dense point cloud, i.e. a cloud composed of a large number of points. All the alignments having been completed, it was necessary to integrate the two systems of acquisition, that is, to use data resulting from the topographic survey for recording and thus making the fragmentary and independent ones generated by photo modelling univocal. In operational terms, in every frame it is necessary to find the corresponding points measured with the total station, highlighting them with markers, to which their x, y and z coordinates are associated. The software performs a computation by comparing the position of the pixels in each image, and the points indicated by the user, generating an error evaluation whose unit of measurement is, therefore, a pixel: excluding from consideration those points which have significant differences, it optimizes each single scan by referencing them to the reference system generated by the topographic survey. By importing all the individual portions, referenced and optimized, in a software environment specifically designed for this purpose, a single georeferenced point cloud was created from which it was possible to extract all the data useful for the elaboration of 2D graphic representations and three-dimensional models specifically dedicated to virtual restoration.

#### *Objectives pursued and achieved*

In conclusion, a hypothesis of reconstruction of the cistern to its original state was advanced, based on the examination of the historical resources (bibliographic and iconographic) regarding the cistern and works chronologically and typologically related to it; through the realization of a three-dimensional model, the virtual reconstruction offers the possibility of producing simulations regardless of the physical reality of the artefact, thus allowing us to formulate hypotheses of reconstruction. At the same time, the many ways of using a digital model and its multiple outputs guarantee the flexibility of the virtual reconstruction that can be both documentation of the artefact and communication of the chosen cultural object.



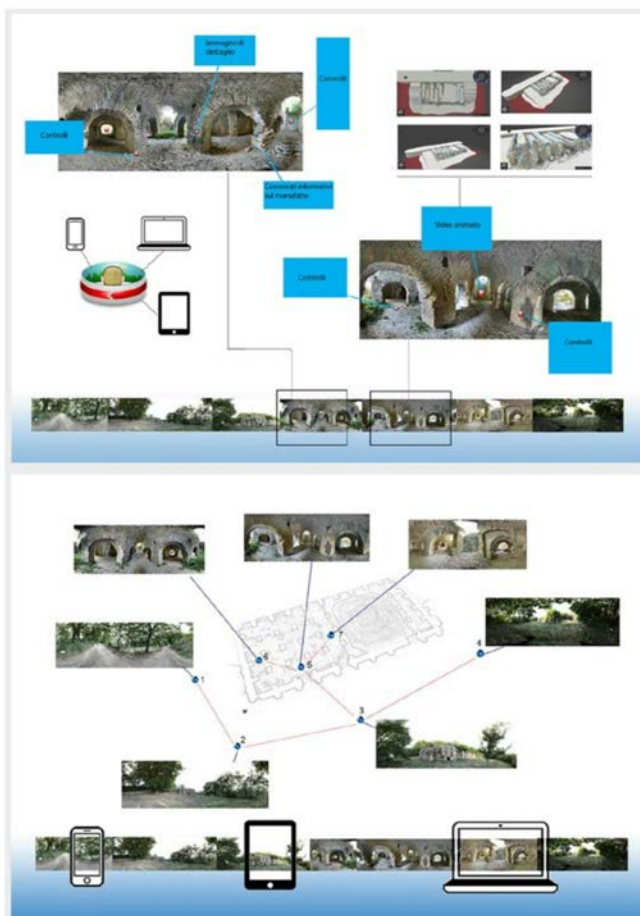
referenziate e ottimizzate, in un ambiente software specifico allo scopo si compone così un'unica point cloud georeferenziata da cui è stato possibile estrarre tutti i dati utili all'elaborazione dei grafici 2d e dei modelli tridimensionali finalizzati al restauro virtuale.

#### Obiettivi perseguiti e raggiunti

Sull'esame delle fonti storiche (bibliografiche ed iconografiche) del manufatto e delle opere ad esso riconducibili cronologicamente e tipologicamente è stata, infine, basata una ipotesi di ricostruzione originaria della cisterna; attraverso la realizzazione di un modello tridimensionale, la ricostruzione virtuale offre la possibilità di operare le simulazioni prescindendo dalla realtà fisica del manufatto permettendoci di dare forma alle ipotesi ricostruttive. Allo stesso tempo, la pluralità delle forme di utilizzo di un modello digitale e i suoi molteplici output garantiscono una flessibilità della ricostruzione virtuale che può essere, allo stesso tempo documentazione del manufatto e comunicazione del bene culturale scelto.

#### Note

\* Università degli studi di Firenze, Dida (Dipartimento di Architettura) Piazza Ghiberti 27-50122 Firenze. Email giuseppe.nicastro@stud.unifi.it



#### Notes

\*Università degli studi di Firenze, Dida (Dipartimento di Architettura) Piazza Ghiberti 27-50122 Firenze. Email giuseppe.nicastro@stud.unifi.it

#### Bibliografia - Bibliography

- Bertocci Stefano, Bini Marco, 2012. *Manuale di rilievo architettonico e urbano*. Milano: Città studi, 2012, 436 p. ISBN: 8825173628  
 BiASA, Periodici Italiani Digitalizzati, <periodici.librari.beniculturali.it>  
 Camilli Andrea, 2007. Manciano (Gr) Saturnia: elaborazione di una cartografia numerica di dettaglio e analisi del territorio. *Notiziario della Soprintendenza per i Beni Archeologici della Toscana*, 2007, p. 470  
 Carandini Andrea, La villa romana e la piantagione schiavistica. In Giardina, Schiavone. *Storia di Roma*. Torino: Einaudi, 1984, vol. 4, pp. 101 – 193. ISBN: 8806116444  
 Filippucci Marco, 2010. La fotomodellazione con software liberi per il rilievo d'architettura. In *DisegnareCon*, vol. 3, n. 6, 2010  
 Lugli Giuseppe, 1957. *La tecnica edilizia romana*. Roma: Bardi, 1991, 966 p. ISBN: 9788885699182  
 Minto Antonio, 1925. Saturnia etrusca e romana. *Monumenti Antichi*, 1925, XXX, pp. 585 - 702  
 Pasqui Angiolo, 1882. VII. Saturnia. *Notizie dagli scavi di antichità*, 1882, pp. 52 – 62  
 Projekt Dyabola, Archaeologische Bibliographie, <dyabola.de>  
 Puma Paola, 2014. *Contributi per il rilievo archeologico di Populonia*. Firenze: Edifir, 2014, 300 p. ISBN: 9788879707060  
 Rendini Paola, 1999. L'urbanistica di Saturnia. Un Aggiornamento. In Quilici, Quilici Gigli. *Città e monumenti dell'Italia antica*. Roma: L'Erma di Bretschneider, pp 97 – 118. ISBN: 8882650189  
 Rosada Guidi, Riera Italo, 1994. *Utilitas Necessaria: Sistemi idraulici nell'Italia Romana*. Milano: Progetto Quarta Dimensione, 1994, 565 p.