

GIOVANNI MINUTOLI

Rocca San Silvestro

Restauro per l'archeologia

FIRENZE
UNIVERSITY
PRESS



Ricerche. Architettura, Pianificazione, Paesaggio, Design

La Firenze University Press, in collaborazione con il Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze, promuove e sostiene la collana *Ricerche. Architettura, Pianificazione, Paesaggio, Design*. Questa iniziativa si propone di offrire un contributo alla ricerca nazionale e internazionale sul progetto in tutte le sue dimensioni, teoriche e pratiche. I volumi delle collane sono valutati secondo le migliori policy editoriali internazionali e raccoglie i risultati delle ricerche di studiosi dell'Università di Firenze e di altre istituzioni nazionali e internazionali. *Ricerche. Architettura, Pianificazione, Paesaggio, Design* supporta pienamente la pubblicazione ad accesso aperto come strumento ideale per condividere idee e conoscenze in ogni campo di ricerca con un approccio aperto, collaborativo e senza scopo di lucro. Le monografie e i volumi miscelanei ad accesso aperto consentono alla comunità scientifica di ottenere un elevato impatto nella ricerca, nonché una rapida diffusione.

ricerche | architettura, pianificazione, paesaggio, design

Editor-in-Chief

Saverio Mecca | University of Florence, Italy

Scientific Board

Gianpiero Alfarano | University of Florence, Italy; **Mario Bevilacqua** | University of Florence, Italy; **Daniela Bosia** | Politecnico di Torino, Italy; **Susanna Caccia Gherardini** | University of Florence, Italy; **Maria De Santis** | University of Florence, Italy; **Letizia Dipasquale** | University of Florence, Italy; **Giulio Giovannoni** | University of Florence, Italy; **Lamia Hadda** | University of Florence, Italy; **Anna Lambertini** | University of Florence, Italy; **Tomaso Monestiroli** | Politecnico di Milano, Italy; **Francesca Mugnai** | University of Florence, Italy; **Paola Puma** | University of Florence, Italy; **Ombretta Romice** | University of Strathclyde, United Kingdom; **Luisa Rovero** | University of Florence, Italy; **Marco Tanganelli** | University of Florence, Italy

International Scientific Board

Nicola Braghieri | EPFL - Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne, Switzerland; **Lucina Caravaggi** | University of Rome La Sapienza, Italy; **Federico Cinquepalmi** | ISPRA, The Italian Institute for Environmental Protection and Research, Italy; **Margaret Crawford**, University of California Berkeley, United States; **Maria Grazia D'Amelio** | University of Rome Tor Vergata, Italy; **Francesco Saverio Fera** | University of Bologna, Italy; **Carlo Francini** | Comune di Firenze, Italy; **Sebastian Garcia Garrido** | University of Malaga, Spain; **Xiaoning Hua** | NanJing University, China; **Medina Lasansky** | Cornell University, United States; **Jesus Leache** | University of Zaragoza, Spain; **Heater Hyde Minor** | University of Notre Dame, France; **Danilo Palazzo** | University of Cincinnati, United States; **Pablo Rodríguez Navarro** | Universitat Politècnica de València, Spain; **Silvia Ross** | University College Cork, Ireland; **Monica Rossi** | Leipzig University of Applied Sciences, Germany; **Jolanta Sroczynska** | Cracow University of Technology, Poland

GIOVANNI MINUTOLI

Rocca San Silvestro

Restauro per l'archeologia



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA

Rocca San Silvestro : restauro per l'archeologia / Giovanni Minutoli. — Firenze : Firenze University Press, 2021.

(Ricerche. Architettura, Pianificazione, Paesaggio, Design ; 11)

<https://www.fupress.com/isbn/9788855184311>

ISBN 978-88-5518-459-5 (Print)

ISBN 978-88-5518-431-1 (PDF)

ISBN 978-88-5518-469-4 (XML)

DOI 10.36253/978-88-5518-431-1

in copertina


Rocca San Silvestro, vista della parte sommitale dell'ingresso. Fotografia di Marco Repole

FUP Best Practice in Scholarly Publishing (DOI: 10.36253/fup_best_practice)

All publications are submitted to an external refereeing process under the responsibility of the FUP Editorial Board and the Scientific Boards of the series. The works published are evaluated and approved by the Editorial Board of the publishing house, and must be compliant with the Peer review policy, the Open Access, Copyright and Licensing policy and the Publication Ethics and Complaint policy.

Firenze University Press Editorial Board

M. Garzaniti (Editor-in-Chief), M.E. Alberti, F. Vittorio Arrigoni, E. Castellani, F. Ciampi, D. D'Andrea, A. Dolfi, R. Ferrise, A. Lambertini, R. Lanfredini, D. Lippi, G. Mari, A. Mariani, P.M. Mariano, S. Marinai, R. Minuti, P. Nanni, A. Orlandi, I. Palchetti, A. Perulli, G. Pratesi, S. Scaramuzzi, I. Stolzi.

 The online digital edition is published in Open Access on www.fupress.com.

Content license: except where otherwise noted, the present work is released under Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode>).

This license allows you to share any part of the work by any means and format, modify it for any purpose, including commercial, as long as appropriate credit is given to the author, any changes made to the work are indicated and a URL link is provided to the license.

Metadata license: all the metadata are released under the Public Domain Dedication license (CC0 1.0 Universal: <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/legalcode>).

© 2021 Author(s)

Published by Firenze University Press

Firenze University Press
Università degli Studi di Firenze
via Cittadella, 7, 50144 Firenze, Italy
www.fupress.com

*This book is printed on acid-free paper
Printed in Italy*

progetto grafico

didacommunicationlab

Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Firenze

Susanna Cerri
Federica Aglietti

Stampato su carta di pura cellulosa *Fedrigoni Arcoset*

ELEMENTAL
CHLORINE
FREE
GUARANTEED



Presentazione Presentation	9
<i>Giuseppe De Luca</i>	
Prefazione Preface	11
<i>Andrea Camilli</i>	
Rocca San Silvestro: percorsi innovativi di ricerca e valorizzazione	13
<i>Silvia Guideri</i>	
Introduzione Introduction	19
<i>Giovanni Minutoli</i>	
Il progetto di conoscenza The knowledge project	35
Scavi archeologici Archaeological excavations	46
Valutazioni geomorfologiche Geomorphological evaluations	50
Materiali e tecniche costruttive Materials and construction techniques	54
Degradati architettonici e strutturali Architectural and structural degradation	69
Gli interventi di restauro Restoration work	81
La cantierizzazione dell'area The area as a construction site	84
Disgaggi di materiali pericolanti e chiodature dei costoni rocciosi	88
Removal of unsafe material and riveting of rocky ridges	
Pulizia delle aree Cleaning of areas	92
Interventi di consolidamento con terre armate Consolidation interventions with reinforced soil	94
Regimentazione delle acque meteoriche Rainwater control	96
Restauro e consolidamento delle murature Restoration and consolidation of masonry	104
Restauro e manutenzione delle pavimentazioni Restoration and maintenance of flooring	118
Archeologia sperimentale e restauro dell'unità tecnica tre	122
Experimental archaeology and restoration of technical unit three	
Interventi di restauro e consolidamento: la cisterna, la chiesa, il cimitero	126
Restoration and consolidation interventions: the cistern, the church, the cemetery	
Il progetto di valorizzazione The valorisation project	141
Ampliamento dei percorsi di visita Expansion of the visit routes	144
Il progetto di illuminazione The lighting project	150
Cartellonistica e segnaletica per una nuova accessibilità Signage and signage for new accessibility	158
Fruizione in remoto dell'area archeologica Remote use of the archaeological area	160

Appendice Appendix	167
Il restauro dei palinsesti murari: tecniche di consolidamento alla prova del tempo	169
The restoration of palimpsest walls: consolidation techniques that stand the test of time	
<i>Francesco Pisani</i>	
Per un piano integrato di progettazione e valorizzazione	177
An integrated plan of design and valorization	
<i>Francesca Giusti</i>	
Il rilievo digitale per l'archeologia Digital survey for archeology	185
<i>Matteo Bingongiari</i>	
Il rilievo laser scanner Laser scanner survey	195
<i>Andrea Lumini</i>	
Il rilievo fotogrammetrico Photogrammetric survey	207
<i>Matteo Bigongiari, Andrea Lumini</i>	
La malta a campione come origine The sample mortar as original	217
<i>Stefano Buratti</i>	
Analisi propedeutiche agli interventi di restauro, caratterizzazione delle tipologie costruttive	229
Preparatory analyzes for restoration interventions, characterization of construction types	
<i>Gianluca Fenili</i>	
Conservazione dei paramenti lapidei The restoration of stone surfaces	237
<i>Giorgio Ghelfi</i>	
Applicazioni HBIM per il restauro HBIM Application for restoration	245
<i>Sara Marchini</i>	
La fotografia come specchio del restauro Photography as a mirror of the restoration	255
<i>Marco Repole</i>	
Bibliografia Bibliography	271
Ringraziamenti	281

Campagne di acquisizione dei dati fotogrammetrici SfM

Utilizzata in vari ambiti, la fotogrammetria SfM è una metodologia che consente di realizzare modelli tridimensionali di un oggetto partendo da dati fotografici.

Nel progetto di rilievo e di restauro della Rocca di San Silvestro, la fotogrammetria ha avuto un ruolo fondamentale per lo studio diagnostico dei materiali, dei degradi superficiali e per le letture archeologiche propedeutiche agli interventi di consolidamento e di restauro.

Per il sito archeologico sono state portate avanti una serie di campagne di rilievo fotogrammetrico SfM, non solo per ottenerne una mappatura globale andando ad integrare i dati non rilevati dal laser-scanner (ad esempio alcune creste murarie), ma soprattutto per acquisire tutte le informazioni cromatiche e materiche relative allo stato di conservazione dei ruderi presenti. Per lo sviluppo di questa documentazione sono stati svolti sia rilievi a terra mediante fotocamere professionali, sia rilievi in quota tramite UAV. (fig. 1)

Per il rilievo fotogrammetrico close-range sono state utilizzate diverse camere digitali: una reflex Canon EOS 1100D, una DSLR Nikon D3100 ed una mirrorless Olympus OM-D EM-1 mark II, tutte dotate di varie ottiche, ma sempre impostate in modalità manuale con settaggi perlopiù costanti (ISO 100-F7), al fine di ottenere scatti in sequenza con colori e tonalità più simili possibili.

Per il rilievo aerofotogrammetrico è stato impiegato un drone DJI Mavic Pro, avente una fotocamera da 12 Mp incorporata che ha permesso la cattura di immagini aeree ad alta definizione, fornendo una mappatura globale del complesso architettonico e ambientale.

SfM Photogrammetric data acquisition campaigns

Used in various fields, SfM photogrammetry is a methodology that allows the creation of three-dimensional models of an object starting from photographic data.

In the project of survey and restoration of the Rocca di San Silvestro, photogrammetry has played a key role in the diagnostic study of materials, surface degradation and archaeological analysis preparatory to the consolidation and restoration interventions.

For the archaeological site, a series of SfM photogrammetric survey campaigns were carried out, not only to obtain a global mapping by integrating the data not detected by laser-scanner (for example some wall crests), but above all to acquire all the chromatic and material information related to the state of conservation of the ruins present. For the development of this documentation, both ground surveys using professional cameras and elevated surveys using UAVs were carried out. (fig. 1) For the close-range photogrammetric survey several digital cameras were used: a Canon EOS 1100D SLR, a Nikon D3100 DSLR and a mirrorless Olympus OM-D EM-1 mark II, all equipped with various lenses, but always set in manual mode with mostly constant settings (ISO 100-F7), in order to obtain sequential shots with colors and tones as similar as possible.

For the aerial photogrammetric survey a DJI Mavic Pro drone was used, having a built-in 12 Mp camera that allowed the capture of high definition aerial images, providing a global mapping of the architectural and environmental complex.

The photographic data acquired on the ground turn out to be huge (more than 10000 photos),

since every fragment present has been studied, and therefore its photographic survey necessary. The drone shots are instead about 300, of which 1/3 concern a general mapping, while the remainder are detailed for the numerous elevations. The substantial number of photographic shots taken ensured a wide overlap between them, so as to facilitate digital photogrammetric processing.

Photogrammetric data processing

The large number of photogrammetric acquisitions required a preliminary structuring and setting of the various datasets related to the surveyed works, in order to create an organized archive well prepared for digital processing.

For the latter, the potentialities of the Agisoft Metashape Pro SfM photomodelling software were exploited, through which the data of the photogrammetric survey campaigns were first re-processed, and then three-dimensional mapped models were realized. The processing of the photogrammetric data related to each architectural elevation involved the same methodology, which involves the development of 4 phases, each dedicated to a specific photogrammetric process. (fig. 2)

After importing the photographs into the program, the first phase of photomodelling begins, which is the alignment of the images. At this first point, the software refines the position of the camera from which each photograph was taken, determining the orientation of each photo, and defining a very sparse point cloud, which already makes clear the morphology of the object of study. Once the alignment is done, the sparse point cloud is refined and densified through a long process of elaboration, in which the software calculates the complete and necessary information for each photograph, and combines them into a single, more graphically defined point cloud, called dense cloud. At this stage, the object is clearly explained and begins to reveal not only its shape, but also the colors that distinguish it. After the realization of the dense cloud, there is the phase of triangulation of the point cloud, which develops through the creation

I dati fotografici acquisiti a terra risultano essere ingenti (più di 10000 foto), poiché ogni lacerto presente è stato oggetto di studio, e quindi il suo rilievo fotografico necessario. Gli scatti da drone risultano essere invece circa 300, dei quali 1/3 riguardano una mappatura generale, mentre i restanti sono di dettaglio per i numerosi alzati. Il sostanzioso numero di scatti fotografici eseguiti ha assicurato un'ampia sovrapposizione tra loro, così da favorire le elaborazioni fotogrammetriche digitali.

Fasi principali di elaborazione dati

L'ampio numero di acquisizioni fotogrammetriche ha necessitato di una preliminare strutturazione e impostazione dei vari dataset relativi alle opere rilevate, in modo da creare un archivio organizzato e ben predisposto alla elaborazione digitale.

Per quest'ultima sono state sfruttate le potenzialità del software di fotomodellazione SfM Agisoft Metashape Pro, tramite il quale sono stati dapprima rielaborati i dati delle campagne di rilievo fotogrammetrico, e successivamente ne sono stati realizzati i modelli tridimensionali mappati. L'elaborazione dei dati fotogrammetrici relativi ad ogni alzata architettonica ha visto la medesima metodologia che prevede lo sviluppo di 4 fasi, ognuna delle quali dedicata a un determinato processo fotogrammetrico. (fig. 2)

Dopo aver importato le fotografie nel programma, inizia la prima fase della fotomodellazione, ovvero l'allineamento delle immagini. In questo primo punto il software affina la posizione della camera da cui è stata scattata ogni fotografia, determinando l'orientamento di ogni foto, e definendo una nuvola di punti molto rada, chiamata *sparse cloud*, che rende già chiara la morfologia dell'oggetto di studio. Una volta eseguito l'allineamento, la nuvola di punti rada viene perfezionata e densificata attraverso un lungo processo di elaborazione, in cui il software calcola le informazioni complete e necessarie per ogni fotografia, e le combina in un'unica nuvola di punti graficamente più definita, detta *dense cloud*. A questo stadio, l'oggetto è chiaramente esplicitato ed

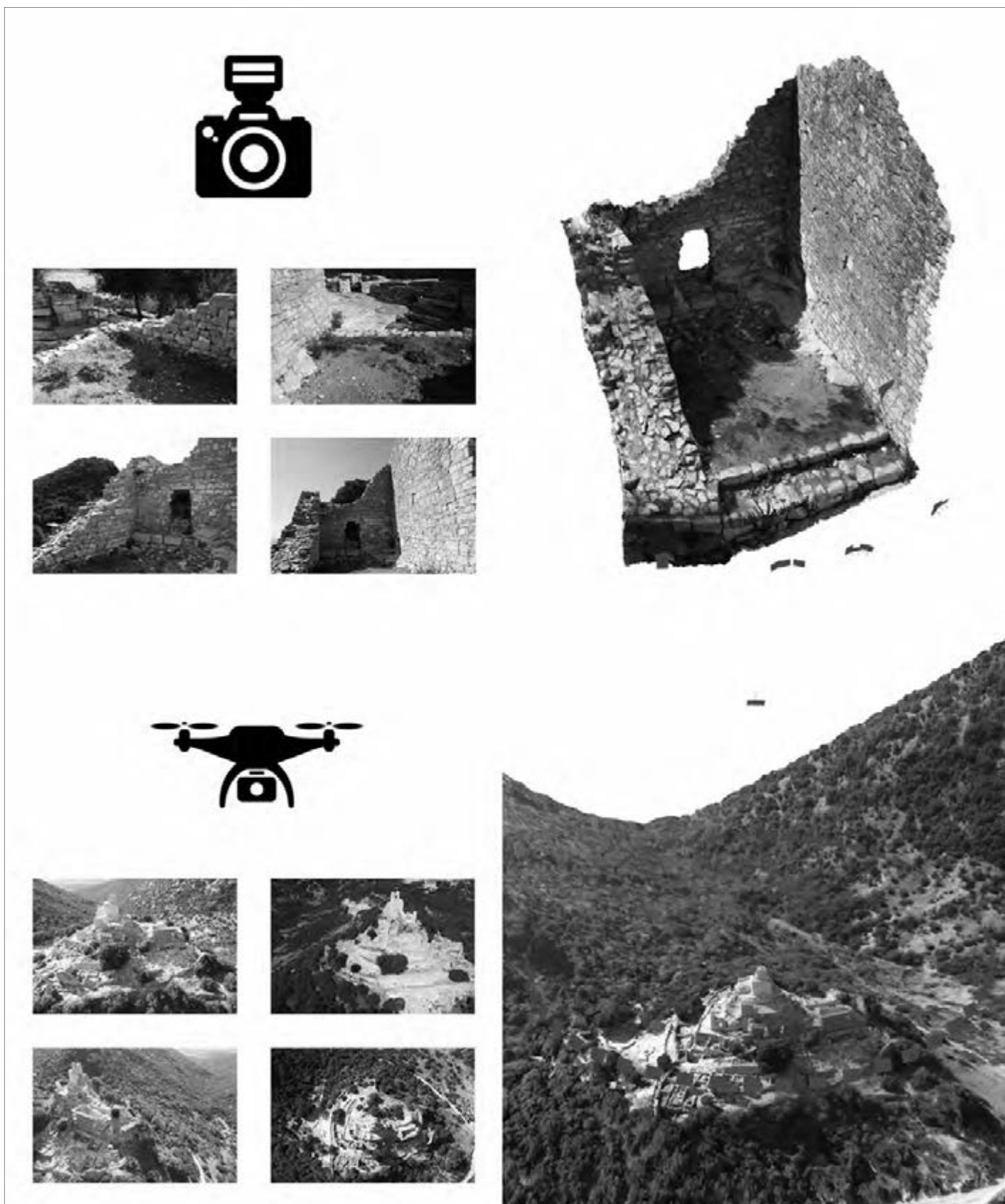


Figura 1
Schemi di acquisizione dati fotogrammetrici close-range e in quota

of the so-called mesh, which consists of a polygonal model formed by vertices, edges and faces. Unlike a real solid object, the mesh does not have a mass; it is a kind of empty volume. It can be displayed either with a uniform color, or with real colors, although these will still not be well defined. The last step in the photomodeling process is to place the texture on the surface of the newly created mesh. The texture mapping consists in applying the photographic data on the 3D model, from which the orthomosaic will be subsequently exported, i.e. what will become the orthophoto in the post-production phase.

The elaboration of these 3D models, integrated with the data of the laser-scanner surveys, allows to extrapolate the graphic elaborations necessary for the development of the diagnostic and archaeological analyses.

Complexity and possibility of Image Based Survey

Since its first applications in the field of architectural surveying, the degree of innovation that SfM applications could bring to the disciplines of representation was evident: the possibility of creating three-dimensional models on which to apply highly reliable textures has greatly improved the descriptive capacity of both digital models and two-dimensional drawings. The need to have photographic orthomosaics is due to the demand to create a database of 2D graphic drawings useful to map the different types of analysis, from archaeological to material to the identification of decays. Up to that moment this requirement had nevertheless been satisfied through the use of photogrammetry software, calibrating the frames on the basis of the orthoimages from the point clouds [Pancani 2015], while for the realization of three-dimensional photorealistic models, useful graphic communication tools especially if they are intended for non-technical subjects, very simplified models were used on which to apply the textures of the various faces of the building starting from the orthomosaics of the facades (Bertocci S. et al. 2014).

inizia a rivelare, oltre alla forma, anche i colori che lo contraddistinguono. Dopo la realizzazione della nuvola densa, si ha la fase di triangolazione della nuvola di punti, che si sviluppa attraverso creazione della cosiddetta mesh, che consiste in un modello poligonale formato da vertici, spigoli e facce. Differentemente da un oggetto solido reale, la mesh non presenta una massa; ma è una sorta di volume vuoto. Essa può essere visualizzata sia con un colore uniforme, sia con colori reali, anche se questi risulteranno ancora non ben definiti. L'ultima fase del processo di fotomodellazione è rappresentata dal fissaggio della texture sulla superficie della mesh appena creata. La mappatura della texture consiste nell'applicazione dei dati fotografici sul modello 3D, dal quale sarà successivamente esportata l'orthomosaic, ovvero ciò che in fase di post-produzione diverrà il fotopiano.

L'elaborazione di questi modelli 3D, integrati con i dati dei rilievi laser-scanner, permette di estrapolare gli elaborati grafici necessari per lo sviluppo delle analisi diagnostiche e archeologiche.

Complessità e possibilità del Rilievo Image Based

Fin dalle sue prime applicazioni nel campo del rilievo architettonico, è stato evidente il grado di innovazione che le applicazioni SfM potevano apportare alle discipline della rappresentazione: la possibilità di creare modelli tridimensionali su cui applicare tessiture altamente affidabili ha notevolmente migliorato la capacità descrittiva di sia modelli digitali che disegni bidimensionali. La necessità di disporre di ortomosaici fotografici è dovuta all'esigenza di creare un database di disegni grafici 2D utili a mappare le diverse tipologie di analisi, da quelle archeologiche a quelle materiche fino all'identificazione dei decadimenti. Fino a quel momento tale esigenza era stata comunque soddisfatta mediante l'utilizzo di software di fotogrammetria, calibrando i frame sulla base delle ortoimmagini provenienti dalle nuvole di punti (Pancani G. 2015), mentre per la realizzazione di modelli fotorealistici tridimensionali, utili strumenti di comunicazione grafica soprattutto se destinati a soggetti non tecnici, sono stati utilizzati

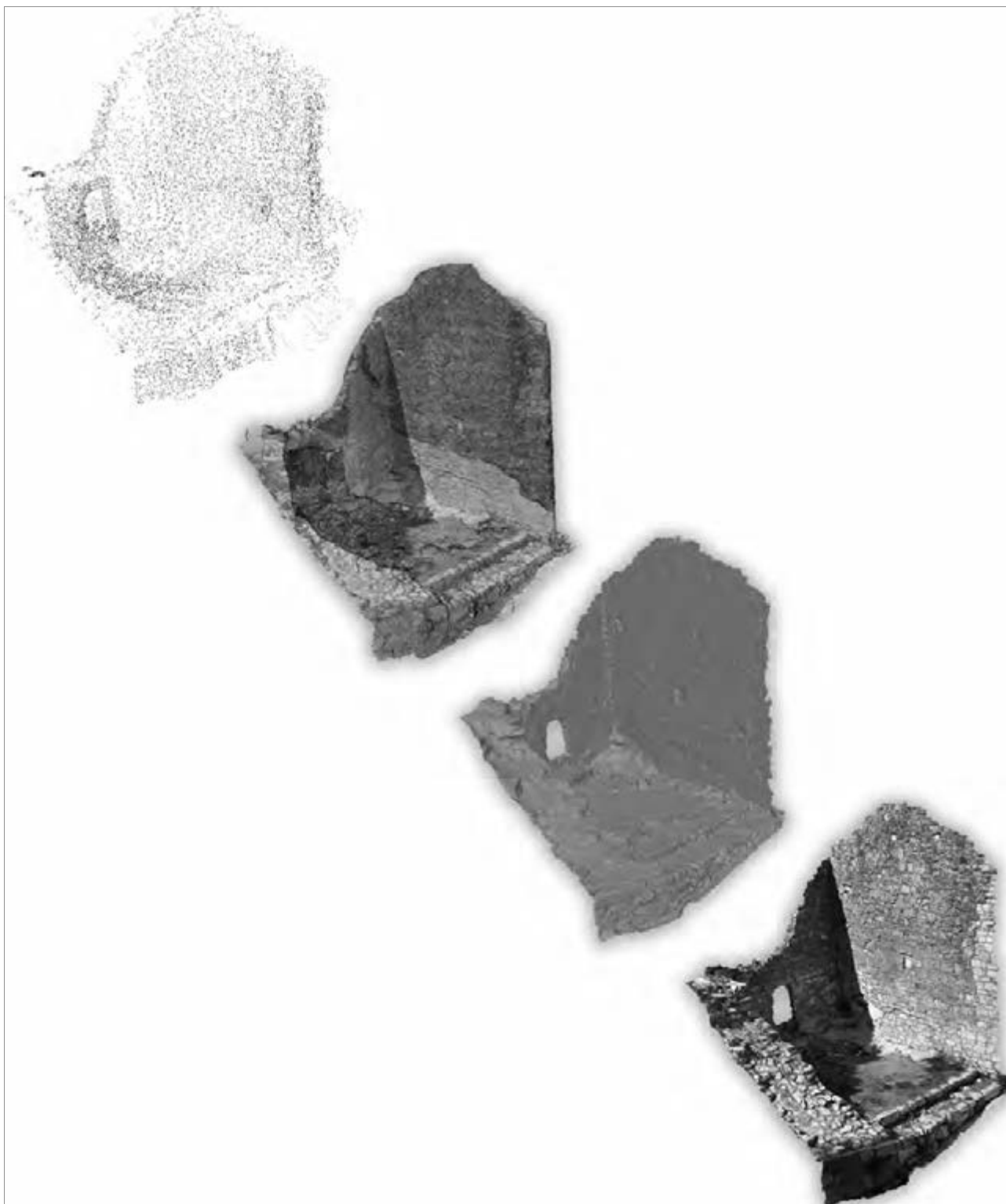


Figura 2
Principali processi di elaborazione fotogrammetrica SfM

Photomodelling has considerably modified the methodological procedures for the realization of orthomosaics and digital models. From the survey point of view, however, it immediately became clear how the models obtained from the frames were not comparable, as regards the metric reliability, with the point clouds obtained by laser scanners: at first, we tried to contain the problem by using, in support of the models obtained from the photographs, points taken with more reliable instruments such as total stations (Gaiani M. 2015). Recent software developments permitted to have lower metric errors and the ability to build models from large-scale photo datasets, things that were difficult until a few years ago.

The main reliability problem affecting photomodelling consists in its measurement mode: the frame comes from a passive acquisition method, that is, the camera sensor is impressed by light, doing nothing else but remaining exposed to it. Precisely for this reason it is not possible to determine the error that a survey can achieve before seeing the result obtained; this is decidedly different than the laser scanner survey, where the instrument sensor emits a light signal that is checked in order to test the results in the laboratory from which the technical data sheets of the instruments are made. The success of a 3D photographic survey does not really depend only on the morphology of the building, the acquisition method of the photographs and the materials that form the architecture, but also on the lighting conditions of the object, both artificial and natural. These problems mainly lead to cause different effects: if on the one hand they cannot recreate a uniformly balanced coloured texture on the other they can cause morphological errors due to the misinterpretation of badly lit surfaces (whether they are unduly underexposed or burned). It is possible to limit these errors in post production by modifying some parameters of the frames, which is possible only if the shots have been made in .raw format, otherwise the pixel changes lead to obvious errors: in this way shadows and burns are attenuated and the white balance of the photographs can be

modelli molto semplificati sui quali applicare le texture delle varie facce dell'edificio a partire dagli ortomosaici delle facciate (Bertocci S. et al. 2014).

La fotomodellazione ha notevolmente modificato le procedure metodologiche per la realizzazione di ortomosaici e modelli digitali. Dal punto di vista del rilievo, però, è apparso subito chiaro come i modelli non fossero confrontabili, per quanto riguarda l'affidabilità metrica, con le nuvole di punti ottenute dai laser scanner: in un primo momento si è cercato di contenere il problema utilizzando, a supporto dei modelli ricavati dalle fotografie, punti rilevati con strumenti più affidabili come le stazioni totali (Gaiani 2015). I recenti sviluppi del software hanno permesso di avere errori di metrica inferiori e la capacità di costruire modelli da set di dati fotografici su larga scala, cose che erano difficili fino a pochi anni fa.

Il principale problema di affidabilità della fotomodellazione consiste nella sua modalità di misurazione: un metodo di acquisizione passivo, dove il sensore della fotocamera viene impressionato dalla luce, non facendo altro che rimanervi esposto. Proprio per questo motivo non è possibile determinarne l'errore prima di vedere il risultato ottenuto; questo è decisamente diverso dal rilievo laser scanner, dove il sensore dello strumento emette un segnale luminoso che viene controllato per testare i risultati nel laboratorio da cui sono ricavate le schede tecniche degli strumenti.

Il successo di un rilievo fotografico 3D non dipende in realtà solo dalla morfologia dell'edificio, dal metodo di acquisizione dei fotogrammi e dai materiali che compongono l'architettura, ma anche dalle condizioni di illuminazione dell'oggetto, sia artificiale che naturale. Questi problemi portano principalmente a provocare effetti diversi: se da un lato non riescono a ricreare una texture colorata uniformemente bilanciata dall'altro possono causare errori morfologici dovuti all'errata interpretazione di superfici poco illuminate (siano esse indebitamente sottoesposte o bruciate). È possibile limitare questi errori in post produzione modificando alcuni parametri dei fotogrammi, cosa

possibile solo se gli scatti sono stati realizzati in formato .raw, altrimenti i cambiamenti di pixel portano ad errori evidenti: in questo modo si attenuano ombre e bruciature e il bilanciamento del bianco delle fotografie può essere uniformato tra loro, ma inevitabilmente la realizzazione di un archivio molto più pesante risulta.

Nel caso studio di Rocca San Silvestro sono stati riscontrati molti di questi problemi, soprattutto all'interno della chiesa: la differenza delle condizioni di illuminazione tra interno ed esterno ha portato ad avere superfici esposte diversamente a contatto e soprattutto nei punti di passaggio, come le porte questo ha provocato imprecisioni morfologiche importanti. Le fotografie scattate per creare un modello tridimensionale, hanno risentito di questi problemi ed infatti nello sviluppo del modello 3D tramite il software sono state evidenziate significative imprecisioni morfologiche; principalmente gli errori sono dovuti alla differente illuminazione delle superfici delle murature. Il risultato dell'allineamento automatico ha evidenziato questi problemi in diversi modi: la nuvola di punti densa creata presentava infatti molto rumore digitale, infatti le sezioni della nuvola di punti non erano filiformi, ma il software, a causa della difficoltà di posizionando i punti nello spazio, restituivano sezioni molto spesse.

Un modello errato avrebbe comportato una grande perdita di affidabilità e informazione; per risolvere le lacune all'interno del modello si è deciso di utilizzare un software diverso (reality capture) che permette di gestire i dati delle scansioni laser contemporaneamente ai dati fotografici. Il programma importa sia i dati delle scansioni, precedentemente filtrati e registrati (con il software Leica Cyclone), sia i frame, successivamente e cerca di allineare automaticamente i dati tra loro; questo è possibile perché i dati laser possono essere assimilati ai frame, ogni scansione può essere considerata come una vista panoramica che viene scomposta in un cubo (6 frame). L'unione tra i due sistemi di acquisizione porta a grandi miglioramenti: la ricostruzione tridimensionale di un modello mesh non si basa solo sui punti calcolati dalle fotografie, ma basa principalmente la sua morfologia sui punti

uniformed among them, but inevitably the realization of a much heavier archive results.

In the Rocca San Silvestro case study many of these problems were encountered, especially inside the church: the difference in lighting conditions between inside and outside has led to differently exposed surfaces in contact and especially in the passageways, such as the doors this resulted in important morphological inaccuracies. The photographs taken to create a three-dimensional model were affected by these problems and in fact significant morphological inaccuracies were highlighted in the development of the 3D model using the software; mainly the errors are due to the different lighting of the masonry surfaces. The result of the automatic alignment highlighted these problems in several ways: the dense point cloud created had in fact a lot of digital noise, in fact the sections of the point cloud were not filiform, but the software, due to the difficulty of positioning the points in the space, they returned very thick sections.

An unsuccessful model would have resulted in a great loss of reliability and information; to solve the gaps within the model it was decided to use a different software (reality capture) that allows to manage the data of the laser scans simultaneously with the photographic data. The program imports both the data of the scans, previously filtered and recorded (with the Leica Cyclone software), and the frames, afterwards and it tries to automatically align the data with each other; this is possible because laser data can be assimilated to frames, each scan can be considered as a panoramic view that is decomposed into a cube (6 frames). The union between the two acquisition systems leads to great improvements: the three-dimensional reconstruction of a mesh model is not only based on the points calculated from the photographs, but mainly bases its morphology on the points coming from point clouds from the laser scanner and integrates the missing data with the data coming from the photographic cameras. Obviously the laser scanner survey of the interior of the church did not suffer from lighting problems and this

allowed to obtain a complete model; the correct overlapping of the two acquisition methods, assisted by control points (with an error of less than 1 px), allowed to realize a complete and textured model of the church, which can be sectioned and used to recreate high resolution orthomosaics.

provenienti dalle nuvole di punti dal laser scanner e integra i dati mancanti con i dati provenienti dalle macchine fotografiche. Ovviamente il rilievo laser scanner dell'interno della chiesa non ha sofferto di problemi di illuminazione e questo ha permesso di ottenere un modello completo; la corretta sovrapposizione delle due modalità di acquisizione, assistita da punti di controllo (con errore inferiore a 1 px), ha permesso di realizzare un modello completo e strutturato della chiesa, che può essere sezionato e utilizzato per ricreare ortomosaici ad alta risoluzione.

Bibliografia Bibliography

Bertocci S., Parrinello S., Bua S.; Picchio F. 2014, *Montepulciano 3D: modelli virtuali per l'urbanistica e lo sviluppo dell'ambiente urbano*, DISEGNARECON, Vol 7, No 13, ISSN 1828-5961.

Gaiani M. 2015, *I portici di Bologna*, Bononia University Press, Bologna, ISBN 978-886923-036-3.

Lumini A., Bordini E. 2019, *Le robbiane al Santuario della Verna: sperimentazioni di rilievo digitale e modellazione 3D*. In Belardi P. (Ed.), *Proceedings of UID 2019 - Riflessioni. L'arte del disegno, il disegno dell'arte. 41° Convegno Internazionale dei docenti delle discipline della Rappresentazione* (pp. 761-768). Perugia: Gangemi Editore International. ISBN: 978-88-492-3762-7.

Picchio F. 2020, *Acquisition protocols for UAV photogrammetric data. Comparison in methodological SfM procedures from architectural till urban scale*, in Barba S., Parrinello S., Limogiello M., Dell'Amico A. (Eds.), «Proceedings of D-SITE - For a spatial and social investigation», Pavia University Press, Pavia, Italia, pp. 71-79, Vol. 1

Pancani G. 2015, *Le quadrature di Palazzo Pitti a Firenze, Lo svolgimento in vera grandezza delle volte affrescate al piano terreno*, in Bertocci S., Farneti F. (Ed.) *Prospettiva, luce e colore nell'illusionismo architettonico: Quadraturismo e grande decorazione nella pittura di età Barocca*, Editoriale Artemide, Roma. ISBN 978-88-7575-164-7.

Pancani G., Bigongiari M. 2020, *The Integrated Survey of the Pergamum by Nicola Pisano in the Cathedral of Pisa*. In: Kremers H. (eds) *Digital Cultural Heritage*. Springer, Cham.



Figura 3
Vista di un modello tridimensionale fotogrammetrico
dove si evidenzia come ogni superficie presenta una diversa esposizione alla luce solare



Finito di stampare da
Officine Grafiche Francesco Giannini & Figli s.p.a. | Napoli
per conto di FUP
Università degli Studi di Firenze

Il presente volume raccoglie cinque anni di studi condotti da vari ricercatori coordinati dall'autore e descrive le diverse fasi del progetto di restauro e del cantiere di Rocca San Silvestro.

Il progetto di restauro si è sviluppato nella consapevolezza che il sito necessitava, non solo di un insieme di operazioni tecniche, ma anche di un atto critico che portasse alla redazione di un progetto non solo reversibile, riconoscibile e compatibile ma soprattutto un restauro sostenibile.

Questo è da valutarsi come momento di confronto tra archeologi e architetti e fa seguito al libro scritto da Andrea Arrighetti, *Rocca San Silvestro: Archeologia per il restauro*, edito nel 2017.

Giovanni Minutoli, ricercatore Legge 240/10, ha svolto gli studi universitari presso la Facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze; nello stesso ateneo si è laureato in Materiali e Strutture dell'Architettura, curriculum Icar 19 nel 2011. Abilitato a professore di seconda fascia nel settore concorsuale 08/E2 Restauro.