20 DEFENSIVE ARCHITECTURE OF THE MEDITERRANEAN

Ornella ZERLENGA, Vincenzo CIRILLO (Eds.)



DEFENSIVE ARCHITECTURE OF THE MEDITERRANEAN

Vol. XX

DEFENSIVE ARCHITECTURE OF THE MEDITERRANEAN

Vol. XX

Editors
Ornella Zerlenga, Vincenzo Cirillo
Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*

DADI PRESS
edUPV
Universitat Politècnica de València

Series *Defensive Architecture of the Mediterranean*

General editor: Pablo Rodriguez-Navarro

The papers published in this volume have been peer-reviewed by the Scientific Committee of FORTMED2025_Caserta
© editors: Ornella Zerlenga, Vincenzo Cirillo
© editorial team: Alessandro Antonini, Margherita Cicala, Rosa De Caro, Angelo De Cicco, Felicia Di Girolamo, Carlo Di Rienzo, Monica Esposito, Raffaela Fiorillo, Francesca Gasparetto, Gianluca Gioioso, Fabiana Guerriero, Rosina Iaderosa, Gennaro Pio Lento, Daniele Lucariello, Luca Mangiacapre, Riccardo Miele, Mario Sansone, Adriana Trematerra, Veronica Tronconi
© cover picture: Rosina Iaderosa, Domenico Iovane (photo by drone)
© papers: the authors
© publishers: DADI_PRESS (Department of Architecture and Industrial Design, University of Campania *Luigi Vanvitelli*), edUPV (Universitat Politècnica de València)

© Copyright 2025 DADI_PRESS
Department of Architecture and Industrial Design, University of Campania *Luigi Vanvitelli*
ISBN: 978-88-85556-39-3 (four-volume collection)
ISBN: 978-88-85556-37-9 (vol. 20)

© Copyright edUPV (Universitat Politècnica de València) 2025
ISBN: 978-84-1396-335-8 (four-volume collection)
ISBN: 978-84-1396-333-4 (vol. 20)
edUPV Ref. 6829_01_01_01
DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20442
ISSN: 2792-5633 (Series *Defensive Architecture of the Mediterranean*)

PROCEEDINGS of the International Conference on Fortifications of the Mediterranean Coast FORTMED 2025
Caserta, 10, 11 and 12 April 2025

CC BY-NC-SA 4.0
Legal Code: https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode.en



© 2025 Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

Organization and committees

Organizing Committee

Chairs:
Ornella Zerlenga. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*
Vincenzo Cirillo. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*

Scientific Secretary:
Luigi Corniello (coordinator), Margherita Cicala, Rosina Iaderosa, Domenico Iovane, Alice Palmieri
Università della Campania *Luigi Vanvitelli*

Topic Chairs:
Danila Jacazzi. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*
Ornella Zerlenga. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*
Giuseppe Pignatelli Spinazzola. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*
Raffaella Aversa. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*
Vincenzo Cirillo. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*
Fabiana Forte. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*
Manuela Piscitelli. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*

Scientific Committee

Almagro Gorbea, Antonio. Real Academia de Bellas Artes de San Fernando. Spain
Barrera Vera, José Antonio. Universidad de Sevilla. Spain
Bertocci, Stefano. Università degli Studi di Firenze. Italy
Bevilacqua, Marco Giorgio. Università di Pisa. Italy
Bragard, Philippe. Université Catholique de Louvain. Belgium
Bouzid, Boutheina. École Nationale d'Architecture. Tunisia
Bru Castro, Miguel Ángel. Instituto de Estudios de las Fortificaciones – AEAC. Spain
Cámara Muñoz, Alicia. UNED. Spain
Camiz, Alessandro. Özyeğin University. Turkey
Campos, João. Centro de Estudos de Arquitectura Militar de Almeida. Portugal
Castrorao Barba, Angelo. Escuela de Estudios Árabes, CSIC. Spain
Cherradi, Faissal. Ministère de la Culture du Royaume du Maroc. Morocco
Cirafici, Alessandra. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*. Italy
Cirillo, Vincenzo. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*. Italy
Cobos Guerra, Fernando. Arquitecto. Spain
Columbu, Stefano. Università di Cagliari. Italy
Coppola, Giovanni. Università degli Studi Suor Orsola Benincasa di Napoli. Italy
Córdoba de la Llave, Ricardo. Universidad de Córdoba. Spain
Cornell, Per. University of Gothenburg. Sweden
Corniello Luigi, University of Campania *Luigi Vanvitelli*, Italy
Daci, Entela. Universiteti Politeknik i Tiranës
Dameri, Annalisa. Politecnico di Torino. Italy
Eppich, Rand. Universidad Politécnica de Madrid. Spain
Fairchild Ruggles, Dorothy. University of Illinois at Urbana-Champaing. USA
Fatta, Francesca. Università Mediterranea di Reggio Calabria. Italy
Faucherre, Nicolas. Aix-Marseille Université – CNRS. France
García Porras, Alberto. Universidad de Granada. Spain
García-Pulido, Luis José. Escuela de Estudios Árabes, CSIC. Spain

Georgopoulos, Andreas. Nat. Tec. University of Athens. Greece
Gil Crespo, Ignacio Javier. Asociación Española de Amigos de los Castillos. Spain
Gil Piqueras, Teresa. Universitat Politècnica de València. Spain
Guarducci, Anna. Università di Siena. Italy
Guidi, Gabriele. Politecnico di Milano. Italy
González Avilés, Ángel Benigno. Universitat d'Alacant. Spain
Hadda, Lamia. Università degli Studi di Firenze. Italy
Harris, John. Fortress Study Group. United Kingdom
Islami, Gjergji. Universiteti Politeknik i Tiranës. Albania
Jiménez Castillo, Pedro. Escuela de Estudios Árabes, CSIC. Spain
León Muñoz, Alberto. Universidad de Córdoba. Spain
López González, Concepción. Universitat Politècnica de València. Spain
Marotta, Anna. Politecnico di Torino. Italy
Martín Civantos, José María. Universidad de Granada. Spain
Martínez Medina, Andrés. Universitat d'Alacant. Spain
Mazzoli-Guintard, Christine. Université de Nantes. France
Mira Rico, Juan Antonio. Universitat Oberta de Catalunya. Spain
Navarro Palazón, Julio. Escuela de Estudios Árabes, CSIC. Spain
Orihuela Uzal, Antonio. Escuela de Estudios Árabes, CSIC. Spain
Parrinello, Sandro. Università di Pavia. Italy
Pirinu, Andrea. Università di Cagliari. Italy
Piscitelli, Manuela. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*. Italia
Pompejano Federica, Università di Genova, Italy
Quesada García, Santiago. Universidad de Sevilla. Spain
Rodríguez Domingo, José Manuel. Universidad de Granada. Spain
Rodríguez-Navarro, Pablo. Universitat Politècnica de València. Spain
Romagnoli, Giuseppe. Università degli Studi della Tuscia. Italy
Ruiz-Jaramillo, Jonathan. Universidad de Málaga. Spain
Russo, Michele. Università degli Studi di Roma "La Sapienza". Italy
Santiago Zaragoza, Juan Manuel. Universidad de Granada. Spain
Spallone, Roberta. Politecnico di Torino. Italy
Toscano, Maurizio. Universidad de Granada. Spain
Ulivieri, Denise. Università di Pisa. Italy
Veizaj, Denada. Universiteti Politeknik i Tiranës
Varela Gomes, Rosa. Universidade Nova de Lisboa. Portugal
Verdiani, Giorgio. Università degli Studi di Firenze. Italy
Vitali, Marco. Politecnico di Torino. Italy
Vokshi, Armand. Universiteti Politeknik i Tiranës
Zaragoza, Catalán Arturo. Generalitat Valenciana. Spain
Zerlenga, Ornella. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*. Italy

Advisory Commitee

Pablo Rodríguez-Navarro. President of FORTMED. Universitat Politècnica de València
Giorgio Verdiani. Vice-president of FORTMED. Università degli Studi di Firenze
Teresa Gil Piqueras. Secretary of FORTMED. Universitat Politècnica de València
Roberta Spallone. FORTMED advisor. Politecnico di Torino
Gjergji Islami. FORTMED advisor. Universiteti Politeknik i Tiranës
Denada Veizaj, FORTMED advisor. Universiteti Politeknik i Tiranës

Technical-operating staff

Alessandro Antonini, Margherita Cicala, Rosa De Caro, Angelo De Cicco, Felicia Di Girolamo, Carlo Di Rienzo, Monica Esposito, Raffaela Fiorillo, Francesca Gasparetto, Gianluca Gioioso, Fabiana Guerriero, Rosina Iaderosa, Gennaro Pio Lento, Daniele Lucariello, Luca Mangiacapre, Riccardo Miele, Mario Sansone, Adriana Trematerra, Veronica Tronconi

Organized by:

Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*

Dipartimento di Architettura e Disegno Industriale

With the patronage of:

CITTÀ DI CASERTA

With the patronage of:

COMUNE DI AVERSA

Partnership:

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE — DIDA DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

Politecnico di Torino — Dipartimento di Architettura e Design

DESTEC DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'ENERGIA, DEI SISTEMI, DEL TERRITORIO E DELLE COSTRUZIONI

CSIC CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

UNIVERSITETI POLITEKNIK I TIRANËS

SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA BELLE ARTI E PAESAGGIO CASERTA E BENEVENTO

With the patronage of:

ordine degli architetti pianificatori paesaggisti conservatori della provincia di caserta

unione italiana disegno

Istituto Italiano dei Castelli

SEZIONE CAMPANIA

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI CASERTA

© 2025 Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

Table of contents

Preface.....XIII

Contributions

CHARACTERIZATION OF GEOMATERIALS

Geophysical investigation at the Castle of Ceglie Messapica (Italy)..... 797
D. F. Barbolla, L. De Giorgi, I. Ferrari, F. Giuri, C. Torre, G. Leucci

Un'originale architettura storica nella Piana di Sibari. Il Castello-Masseria di San Mauro..... 803
C. Gattuso, D. Gattuso, T. Gattuso

Riflessioni sulla conservazione delle cortine murarie della cittadella fortificata di Berat, Albania 809
G. Martines

Lorenese forts on the Tuscan coast: type, construction materials, state of preservation 817
M. Mattone, F. Fratini, S. Rescic

Geopolymers: from origins to advanced applications of sustainable and adaptive materials 825
L. Ricciotti, V. Perrotta, D. Lucariello, R. Aversa

Geopolymer materials from wastes for sustainable building application: mineralogical and morphological characterization 833
G. Roviello, C. Migliaccio, F. Falzarano, E. De Gregorio, A. Occhicone, G. De Marino, O. Tarallo, F. Izzo, A. Langella, C. Ferone

Il Fortino Lorense a Forte dei Marmi: caratterizzazione petrografica dei materiali e tecniche di restauro..... 839
M. Scalici, A. Di Paola, S. Garuglieri, I. Nizzi

Conservation of historical buildings: use of traditional and innovative consolidants for natural stones 847
A. Verniero, I. Capasso, D. Caputo, B. Liguori

Conoscenza e conservazione di superfici fragili nei complessi fortificati del Trentino: antichi problemi e nuove sfide 855
I. Zamboni

DIGITAL HERITAGE

Lo sguardo vigile. La fortificazione bizantina di Monte Kassar a Castronovo di Sicilia..... 867
F. Agnello, M. Cannella, V. Garofalo

Architettura militare, la linea difensiva di Messina durante la Seconda Guerra Mondiale.
Dati per l'ampliamento del progetto GIS sull'area peloritana 877
A. Altadonna, A. Chillemi, G. Salvo, F. Todesco

The medieval fortress of Catino (Poggio Catino, RI). Recent digital survey and new architectural interpretations 885
A. Angelini, V. Petraroli

Tra dongioni normanni ed echi federiciani, il Castello Rufo Ruffo di Scaletta Zanclea (ME). Ipotesi per la comunicazione e la fruizione 893
M. Arena, S. Mercurio

Paesaggi fortificati. Pissignano e i castelli triangolari dell'Appennino Centrale 901
F. Bianconi, M. Filippucci, S. Ceccaroni, C. Cerbai, F. Cornacchini, M. Cozzali, M. Meschini, A. Migliosi, C. Mommi, R Rossi, L. Suvieri

Studying Marseille's citadel: *a multiple perspectives* strategy 909
J. Y. Blaise, I. Dudek, A. Pamart, L. Bergerot, I. Fasse

Sperimentazione di LiDAR a stato solido per comparti urbani fortificati. Il caso studio dei vicoli saraceni di Forio d'Ischia 919
M. Campi, V. Cera, M. Falcone

Il Fratello ritrovato. Ricostruzione virtuale di un forte ottocentesco genovese 927
C. Candito, A. Meloni

Rilievo 3D e Ricostruzione Digitale della Fortezza di Bergamo: la tenaglia di Sant'Agostino e la cannoniera di San Michele 935
A. Cardaci, P. Azzola, A. Versaci

The defensive system of the fortified citadel of Berat 943
R. Casalino, V. Cerroni, M. Mastrapasqua, A. Occhinegro, B. Qosja

The defensive system of Montecatini Val di Cecina. Digital integrated relief for knowledge and enhancement 949
R. Castiglia, L. Ceccarelli

Reconstrucción de la muralla virreinal de Lima: Análisis histórico, urbano y tecnológico mediante fotogrametría y GIS 957
D. J. Celis-Estrada, P. Rodriguez-Navarro, T. Gil-Piqueras

Strategie di valorizzazione del patrimonio culturale "minore". Analisi, rilievo e riconfigurazione digitale dell'Abbazia di San Nicola di Casola in Otranto, ponte tra Oriente e Occidente 965
G. M. Cennamo, F. Tarantino

Traces of the fortification past from poor ruins: the extreme case of Torre Flavia 973
A. Charalambous, G. Verdiani, A. Pasquali

Il paesaggio militare del XX secolo a *Is Mortorius*. La Sardegna tra storia e disegno 981
E. Chiavoni, A. Martínez-Medina, N. Paba, A. Pirinu, G. Sanna

Il Circeo e il sistema di fortificazione di torri sul mare 989
M. G. Cianci, D. Calisi, S. Colaceci, S. Botta, M. Schiaroli

Complesso nuragico di Palmavera ad Alghero. Rilievo e ricostruzione digitale 997
E. Cicalò, M. Valentino, A. Fusinetti, A. Sias, D. Simula, N. Corgiolu

Una iper-mappa del Castello di Ischia a supporto della lettura del contesto antropizzato: nuove ipotesi sulla configurazione di un ambito urbano 1005
S. D'Auria, M. I. Pascariello, G. Antuono, P. D'Agostino

La conoscenza del patrimonio fortificato di Terraloggia in Pago Veiano. Rilievi e prime considerazioni 1013
A. De Cicco

I castelli sul mare di Puglia visti dall'alto 1021
A. Diceglie

L'Isola d'Elba nella Seconda guerra mondiale. Studi e riflessioni a 80 anni dallo sbarco del 17 giugno 1944 1029
T. Empler, A. Caldarone

Torri costiere della Calabria Citra. Il caso della Torre-Isola Talao a Scalea (CS)..... 1037
F. Fatta, L. Pizzonia, F. Stilo

Scan-to-BIM strategies and standards for HBIM purposes. A case study 1045
E. J. Fernández-Tapia, J. A. Benavides-López, J. A. Barrera-Vera

Torre di Santa Maria dell'Alto, Nardò (LE): studio architettonico per la conoscenza e la conservazione 1053
I. Ferrari, F. Giuri, A. Giuri

Multi-scalar digital approaches for heritage knowledge. Integrated documentation strategies of the Morella fortifications in the cultural route of Jaime I..... 1061
F. Galasso, F. Picchio

I "torresini da polvere" della Serenissima: storia, rilievo e ricostruzione digitale di un'architettura militare perduta 1069
L. Galeazzo, G. Dellabartola, F. Panarotto

Forte San Giovanni: dal rilievo digitale, all'accessibilità culturale, passando per la modellazione e ricostruzione BIM delle fasi storiche del sito 1079
R. M. Giannelli, M. Afonchanka, M. Codeglia

Erice: la cinta muraria, le porte e i percorsi extra-moenia su Monte San Giuliano. Rilievo, analisi grafica e interpretazioni digitali 1087
G. Girgenti, F. Avella, D. G. Abbate

Conoscenza e divulgazione della Torre di Cala Moresca all'Argentario. Dal rilievo dello stato di fatto all'ipotesi ricostruttiva 1093
F. Lanfranchi, P. Barlozzini, M. Fasolo, E. Guarino

Connessioni ritrovate. La rete delle torri della Calabria Ultra: mutui sguardi tra passato e presente.... 1101
N. La Vitola, S. Mollica

Esperienze digitali immersive per il patrimonio culturale: il caso studio del Forte di Fortezza e dei suoi armamenti..... 1109
A. Luigini, G. Nicastro, M. Ceracchi, M. Menendez-Blanco, R. Cuel, F. Condorelli

The Montalbano Fortress, an updated report about a lost fortification in the Gulf of La Spezia 1119
L. Marinaro, G. Verdiani

Verso un glossario grafico castellano. Rilievo e catalogazione degli elementi tipologici delle architetture fortificate in Umbria 1127
V. Menchetelli, F. Cotana, E. Dottorini

Análisis territorial y caracterización tipológica-constructiva de la torre del Villar de Oria (Almería) mediante modelos digitales 1135
J. Moya-Muñoz

Documentare i caratteri dei sistemi fortificati in terra cruda dello Ksar di Tamnougalt in Marocco 1143
G. Pancani, A. Pettineo

Surveying and LiDAR scanning of fortification on Goriška Gradina site near Šibenik..... 1151
J. Pavić, T. Zojčeski, A. Nakić

Su alcune chiese medievali inglobate in strutture fortificate. I casi di Trani, Bari e Monopoli in Puglia 1157
P. Perfido, N. Rossi, S. Narracci

Digital dialogues between Military Architecture Treatises. The case of "Le Fortificationi..." by Bonaiuto Lorini and "La Fortificatione guardia difesa et espugnatione delle fortezze..." by Francesco Tensini..... 1165
P. Rechichi, V. Miele, M. G. Bevilacqua

Le fortificazioni di Rutigliano: studio e ricostruzione tramite il rilievo digitale 1173
N. Rossi

San Benedetto alla Canapina: una "chiesa-torre" come cerniera verticale tra la città vecchia e la città nuova..... 1181
R. Rossi, F. Bianconi, M. Filippucci

Survey experiences of city walls of Alessandria and Lucca: an overview 1189
M. Russo, M. Asciutti, G. Flenghi, M. Casciola, P. Bertoncini Sabatini, G. Caroti

Ontological definition of Information Classes for Early Modern fortified heritage 1197
M. Saccucci, A. Pelliccio, A. Giordano

Multi-objective VR-based strategy for preservation and promotion of cultural heritage..... 1205
M. Scorpio, A. Rosato, M. Masullo, D. Jacazzi, R. Serraglio, V. Cirillo, D. Cermola, G. Rea, R. Iaderosa, S. Iachini, G. Ciampi

Parametric variations of the "delineationi seconde delle fortezze, e dell'ortografia loro", from the Trattato di Fortificatione by Guarini..... 1213
R. Spallone, M. Vitali, F. Natta, E. Pupi

Le fortificazioni urbane di Alghero. Documentazione carto-grafica dell'evoluzione storica..... 1221
M. Valentino, N. Corgiolu

Out of time but in the right place: a first report about the "old tower" on the Gorgona's island.....1229
G. Verdiani, Y. Ricci, S. Giraudeau

Preface

After the first edition of the *International Conference FORTMED*, held in 2015 in Valencia and promoted by the President of the *International Scientific Society for Mediterranean Fortifications* (FORTMED), Prof. Pablo Rodríguez-Navarro from the Universitat Politècnica de València, the international event celebrates a decade of activity in 2025, establishing itself as one of the main reference points in Europe for the study, conservation, and enhancement of Mediterranean fortified architecture.

The eighth edition is once again hosted in Italy and is organized by the Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*, Department of Architecture and Industrial Design (DADI).

In collaboration with various local, national, and international institutions, this eighth edition represents a renewed opportunity to further explore Mediterranean fortifications from a historical-cultural perspective while also reviving the debate on the strategic role of defensive architectures in relation to contemporary realities.

The Mediterranean is a region characterized by an extraordinary diversity of cultures, languages, and traditions, but it is also an area where fortifications have always played a crucial role in the defense of communities and commercial exchanges.

Indeed, fortifications scattered along the Mediterranean coasts and inland territories tell stories of conflicts, cultural exchanges, defense strategies, and technical/technological innovations. The need to understand and protect this heritage is becoming increasingly important, particularly in response to threats such as abandonment, degradation, and transformation of the urban and coastal landscape.

Furthermore, the valorization of this heritage is increasingly essential where strategies for sustainable use can trigger virtuous production processes while respecting both the identity testimonies recognized by local communities and the increasingly multidisciplinary scientific studies involving architects, engineers, archaeologists, historians, geographers, and specialists in conservation and restoration.

The eighth edition of FORTMED 2025 has maintained this interdisciplinary structure, welcoming contributions ranging from historical research to the analysis of construction materials, the use of digital technologies, and the management and promotion of Fortified Heritage.

As in previous editions, all contributions have undergone a rigorous double-blind peer review process to ensure the high scientific quality of the publications collected in the volumes of the "Defensive Architecture of the Mediterranean" series, now reaching its twenty-first volume.

In this edition, particular attention has been dedicated to the evolution of defense techniques over the centuries and the role of fortifications in contemporary times.

Discussions have addressed the influence of new technologies for the documentation and conservation of heritage, as well as the use of digital tools for modeling and structural analysis. Additionally, the pros and cons of the impact of mass tourism on fortified sites, in contrast with sustainable tourism that enhances cultural awareness regarding restoration and management policies, have been examined.

The eighth edition of FORTMED 2025 received numerous contributions. Among them, approximately 195 papers were selected, written by more than 370 authors and subjected to double-blind peer review by the Scientific Committee and field experts. The authors come from various countries, including Italy, Spain, Albania, Algeria, Croatia, France, Germany, Greece, Mexico, Poland, Portugal, Serbia, and Turkey.

As envisioned by the FORTMED Conferences, the participation of authors reflects a diverse community, not only comprising university researchers but also independent scholars, professionals, representatives of cultural heritage protection institutions, volunteers, and members of cultural associations, as well as doctoral candidates and graduate students, who have always represented the future of research.

The broad participation of multiple countries has allowed FORTMED to evolve over the years into an important platform for research and dissemination, fostering dialogue among experts and promoting the spread of innovative knowledge. The aspiration for this edition is that the conference will continue to stimulate new studies and collaborations, significantly contributing to the valorization of Mediterranean Defensive Heritage.

As introduced at the beginning, this edition marks a significant milestone in the history of FORTMED: the tenth anniversary of the conference. Ten years of studies, meetings, and research have expanded the knowledge landscape of Mediterranean fortified architecture, involving an increasing number of experts and scholars from various disciplines. In this sense, the International Conference FORTMED 2025 has also become an opportunity to reflect on past progress while outlining new research perspectives aimed at a greater sharing of knowledge and experiences.

One of the fundamental objectives of FORTMED 2025 has been the inclusion of new perspectives and innovative approaches in the study of Mediterranean fortifications.

In addition to historical-architectural studies, the conference has provided space for research analyzing the social and economic impact of fortifications when integrated into contemporary urban regeneration plans, assessing the costs and benefits of their rehabilitation and enhancement. Similarly, great interest has been shown in the topic of advanced digital technologies (such as 3D modeling and augmented reality), whose applications offer new possibilities for documenting and remotely experiencing defensive heritage, which is often inaccessible.

Another central aspect of the conference has been sustainability in conservation actions for fortified heritage. These architectures, often located in environmentally sensitive areas and in an advanced state of degradation, require management strategies that consider the balance between preservation, accessibility, and contribution to local development, as well as the maintenance of the site itself.

This is why integrating fortifications into cultural-tourism circuits represents a significant challenge, and FORTMED 2025 has provided a valuable opportunity to discuss best practices and innovative strategies in this field. We firmly believe that this eighth edition of FORTMED 2025 in Caserta has once again confirmed its success, bringing together a scientific and cultural community united by a vision in which the valorization of these historical testimonies embodies an ethical principle: transitioning from war to peace as an expression of harmony and empathy among people.

In conclusion, as chairs of this 2025 edition, we wish to express our gratitude to all those who made the organization of this event possible.

A special thanks goes to the Scientific Committee, which ensured the high-quality standards of the presented research; to the Topic Chairs, who coordinated the seven thematic areas of the conference: Danila Jacazzi (Historical Research), Ornella Zerlenga (Theoretical Concepts), Giuseppe Pignatelli Spinazzola (Research on Built Heritage), Raffaella Aversa (Characterization of Geomaterials), Vincenzo Cirillo (Digital Heritage), Fabiana Forte (Culture and Management), and Manuela Piscitelli (Miscellany); and to the Organizing Committee for its constant dedication to the successful realization of the conference.

We also extend our thanks to the academic institutions, local authorities, and scientific associations that sponsored this edition of FORTMED 2025, as well as to the sponsors who placed their trust in the event and supported its organization.

Finally, our heartfelt gratitude goes to the authors and participants, whose contributions have been essential to the success of the initiative.

We are confident that FORTMED 2025 will offer new study perspectives and further strengthen the international research network on Mediterranean defensive architecture.

Ornella Zerlenga, Vincenzo Cirillo

FORTMED 2025 Chairs

Characterization of geomaterials

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20326

Geophysical investigation at the Castle of Ceglie Messapica (Italy)

Dora Francesca Barbolla[a], Lara De Giorgi[b], Ivan Ferrari[c], Francesco Giuri[d], Chiara Torre[e], Giovanni Leucci[f]

[a] ISPC-CNR, Lecce, Italy, dorafrancesca.barbolla@cnr.it, [b] ISPC-CNR, Lecce, Italy, lara.degiorgi@cnr.it, [c] ISPC-CNR, Lecce, Italy, ivan.ferrari@cnr.it, [d] ISPC-CNR, Lecce, Italy, francesco.giuri@cnr.it, [e] University of Catania, Catania, Italy, chiara.torre@phd.unict.it, [f] ISPC-CNR, Lecce, Italy, giovanni.leucci@cnr.it

Abstract

The castle of Ceglie Messapica was originally born as a fortification – a lookout point. According to some hypotheses, the construction of the central core, consisting of a Norman tower alongside the square tower that was built in the following centuries, dates back to around 1070-1100. The first family to live there was the Pagano family.
The castle was abandoned for several years, and a restoration project was presented in 2019. Before the restoration, geophysical investigations were carried out to identify the presence of metal reinforcement bars in the structure of the castle. 58 corbels were analysed using Ground – Penetrating radar (GPR), method. GPR data were acquired along parallel profiles 5 cm spaced using the Ris Hi-Mod georadar system with the 2000MHz antenna. GPR data were processed in a 3D mode using Gpr-slice software. Results well evidenced the 3D distribution of the metal bars and their advanced corrosion that causes stability problems.

Keywords: ground-penetrating radar, restoration work, castle.

1. Introduction

The Castle of Ceglie Messapica (Province of Brindisi, Italy) (Fig. 1) is a medieval defensive structure of the ancient city, starting from the central nucleus of the Norman era over the centuries it has been remodelled and expanded several times. Together with the Collegiate Church, it dominates the medieval village being located at the highest point of the hill on which the municipality is located.

There are not many documentary traces of the Castle. For example, it is not mentioned in the *Statutum de reparatione castrorum* of Frederick II of Swabia (Fonseca, Conte, 2010). The castle was originally built as an observation tower by the Normans from which one can observe a vast territory up to Brindisi and Taranto. The construction of the Norman Tower, next to which the square tower was built in the following centuries, dates back according to some hypotheses to around 1070-1100. The first family to live there was the Pagano family. The walls of the Tower are built using the folio technique. The wall is made up of deformed blocks of local limestone not plastered and is double, with an interspace of crushed stone and waste stone cemented in bole.

Between the 12th and 13th centuries, under the Swabian and Angevin dominations, the castle was first expanded with the construction of additional fortifications, including the 3 circular towers. During this period, various families succeeded one another at the helm of the castle. In 1484, the castle passed to the Sanseverino family following the marriage between a member of the family and a member of the Dentice family. The Sanseverinos are certainly the family that has most influenced the history of the Castle and the town. The Sanseverinos purchased the fiefdom

BY-NC-SA

from the Curia of Brindisi between 1361 and 1368. It was they who gave the castle a more noble appearance, promoted the construction of the 34 m high square tower in the 15th century and favored the feudal lord Aurelia Sanseverino, the arrival in the city of some monastic orders (Fonseca, Conte, 2010).



Fig. 1- The castle of Ceglie Messapica (Province of Brindisi, Italy).

The tower recalls other similar structures in Puglia and Basilicata from the same period. A square-shaped tower, decorated with battlements in symmetrical formation.

The rooms are divided into three floors and it is finally equipped with a well and underground rooms with the function of a cistern or food storage. The dating of 1492 reported by Cosimo De Giorgi and then by Primaldo Coco referring to an inscription on the castle is incorrect. In reality, the inscription is '1602' and refers to the year in which all the current buildings overlooking the courtyard were present, including the door on which the inscription in question is placed (Fonseca, Conte, 2010).

The Sansevirino family left the fiefdom in the early 17th century. After brief interregnums in 1624 the fiefdom was ceded to the Lubrano family, who in 1641 obtained the title of Duke on the fiefdom of Ceglie and from them after a few generations it arrived through the marriage between Caterina Lubrano and Luigi to the Sisto y Britto family.

The families that followed did not manage to leave a mark comparable to the legacy of the Sanseverinos. The families continued to increasingly restrict the assets of the fiefdom.

The last feudal families alternated in the 19th century when the Castle passed from the Sisto y Britto to the Neapolitan family of Verusio. The Castle came to the Verusio as a unicum. In the first half of the 20th century, the castle was divided into several parts according to the hereditary axis. Thus began a phase of decline for some portions of the Castle.



Fig. 2- Geophysical campaign: acquisition phase (photo by Author, 2019).

The descendants of the Verusio family decided to no longer live in the castle, part of the family returned to Naples.

The result was the transfer of the furnishings, the abandonment of some of its parts and a serious structural deterioration that caused, among other things, the collapse of the roofs and coverings in many areas.

The Council Room was also involved in the collapse, where a completely painted wooden false ceiling was lost. It was precisely these abandoned parts that the municipality took charge of with an initial intervention of structural consolidation of the Torre Quadrata, which at the time was not yet municipal property, in the 1980s and subsequently starting from the end of the 1990s.

Since the last years of the twentieth century, the municipal administration has begun to acquire portions of the Ducal Castle, the last acquisition dates back to 2014 when the Norman and Square Towers and the adjacent areas became municipal property.

In 2019 a geophysical campaign was undertaken to help the restoration work (Fig. 2). A three-dimensional georadar survey was carried out using a pulsed Ris Hi-Mod (IDS) GPR (Ground Penetrating Radar), equipped with a 2000MHz antenna. The investigations aimed to identify the possible presence of metal reinforcement structures inside 58 corbels (Fig. 4).

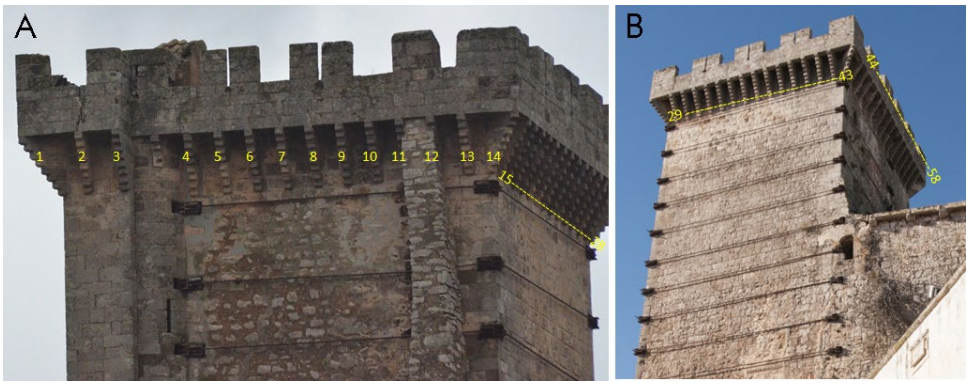


Fig. 3- The castle of Ceglie Messapica. Numbering of corbels: A) Northeast and Southeast sides; B) Northwest and Southwest sides (authors, 2024).

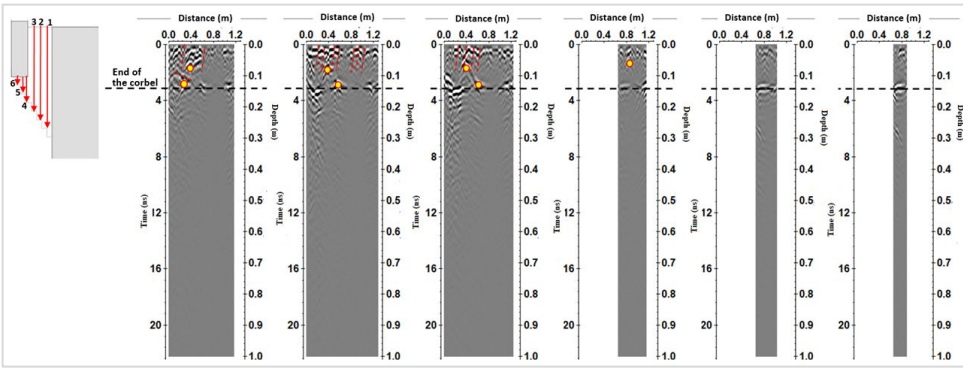


Fig. 4- The castle of Ceglie Messapica. Numbering of corbels: A) Northeast and Southeast sides; B) Northwest and Southwest sides (authors, 2024).

2. GPR data acquisition and interpretation

GPR data were acquired on 58 corbels using a geometry of acquisition which involves the creation of equally spaced parallel profiles of 0.05m. The time window was set at 30 ns and were acquired 512 sample per scan.

Other acquisition parameters were set directly in situ according to the response of the electromagnetic signal. As regards the georadar surveys, the quality of the data acquired during the measurements was good thanks to a series of measures adopted in the acquisition phase. However, to eliminate a noise component, which was still present in the data, and to facilitate its interpretation, an elaboration of the acquired profiles was carried out, the steps of which are listed below (Conyers, 2012):

1) background removal filter: this type of filter allows the removal of the horizontal band visible in the radar sections, which can represent reflections from objects that remain at a constant distance from the antenna. The algorithm, based on a simple arithmetic process, which adds all the amplitudes of the reflections generated at the same time along the profile and divides by the number of the added tracks, allows the average track removal and thus enhances the non-horizontal events present in the radar sections;

2) low pass filter: allows to elimination the high-frequency noise component (fog effect) present in the radar sections

3) migration: a technique that allows to elimination of distortions introduced in the recorded data. a GPR section does not contain

unidirectional information due to the conical radiation lobe of the energy, so some reflections present can also be generated by objects placed laterally with respect to the position of the antenna. This multidirectional character of the recording of GPR reflections manifests itself in the generation of hyperbolas that can cause serious problems in interpretation. Migration solves this image problem by bringing the energy back to its true reflection point.

Subsequently, the anomalies present on each 2D radar section were correlated using the analysis of the amplitude of the reflected events within assigned time intervals (time slices). This type of analysis gave satisfactory results that facilitated the interpretation. Amplitude time slices were

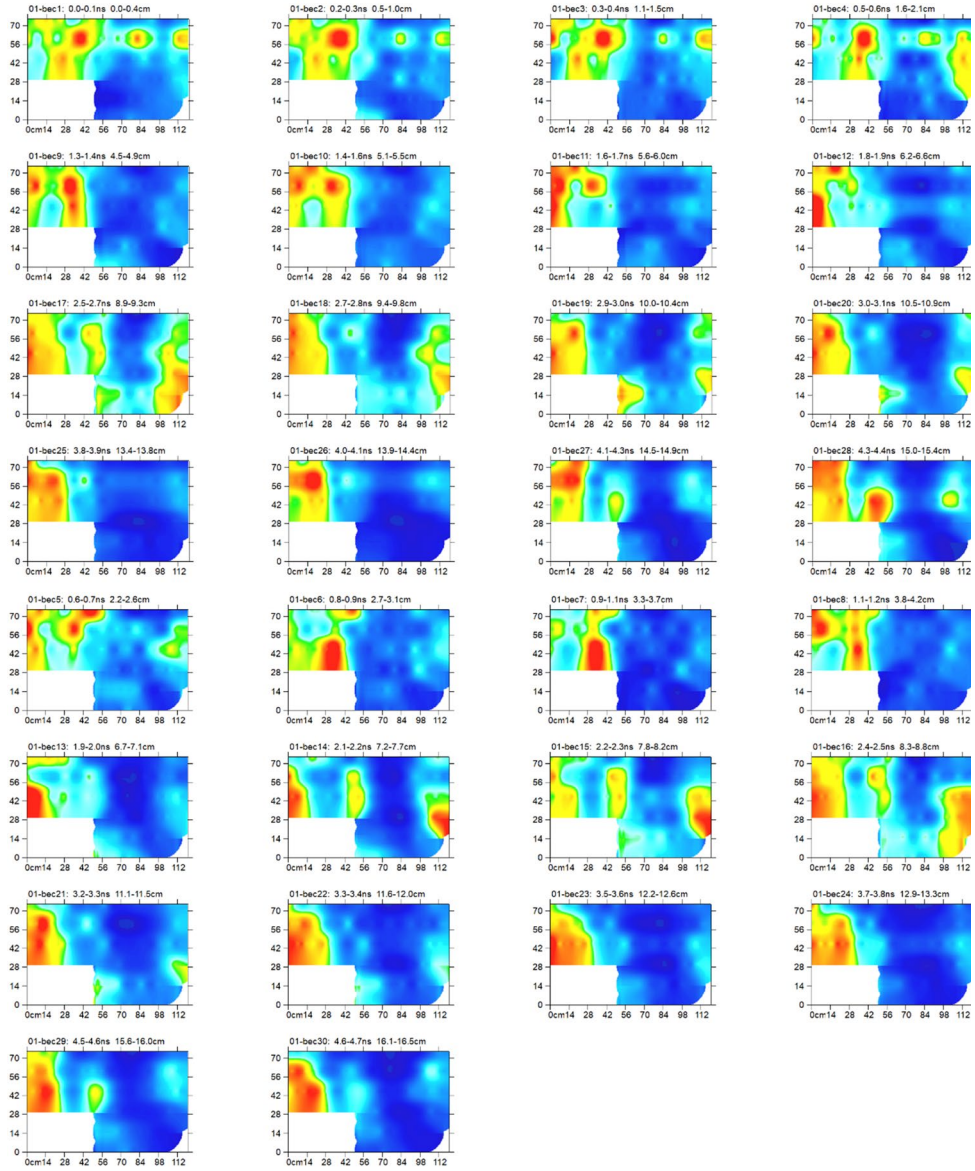


Fig. 5- Acquired data: the time slices (authors, 2024).

therefore constructed at time intervals of 0.2 ns, so that each slice corresponds to a thickness of approximately 0.011 m. The blue colour indicates the weak amplitude of the reflected signal (substantially homogeneous material); the colours from light blue to the most intense red indicate variations in the amplitude of the reflected signal and therefore the presence of significant electromagnetic discontinuities. The variations in amplitude (therefore in colour) in the same slice are indicative of horizontal variations in the electromagnetic characteristics of the medium investigated (Conyers, 2004; Conyers, 2006; Leucci, 2019; Giannino and Leucci, 2021).

The GPR data analysis showed a good penetration of the electromagnetic signal that allowed us to investigate the entire thickness of the corbel. This thickness is of the order of 15.0 cm approximately, considering an average propagation speed of the electromagnetic waves equal to approximately 0.1 m/ns. In particular, the profiles highlight (Fig. 3):

• some events reflected by the characteristic hyperbolic shape (yellow dots) related to the probable presence of metal reinforcements;

• a series of reflected events (linked to a possible diffraction of electromagnetic energy (red dotted lines) probably corresponding to internal micro-fracturing.

In fig. 5 the amplitude time slices are reported. In them, it is possible to identify the probable presence of three metal elements (black dotted lines) at depths between 4.5-4.9 cm and 14.5-14.9 cm. The poor state of conservation linked to the presence of a series of important fractures is also highlighted (high amplitude events ranging from yellow to red.

3. Conclusions

Geophysical investigations conducted on the 58 corbels show a situation of advanced degradation. The distribution of the metal structures does not appear to follow a regular geometry. All the probable metal structures appear to have caused a swelling inside the masonry constituting the corbels. The presence of numerous fractures and voids is highlighted. The following tab. 1 summarises the probable location of the metal structures concerning the GPR results. The results of the GPR survey were useful for the restoration project which included the identification and replacement of the metal reinforcements.

Tab. 1- Location of probable metal structures.

Corbels	Probable number of irons	Depth position (cm)
1	3	4.5-4.9 e 14.5-14.9
2	2	4.59-4.69 e 11.33-11.43
3	3	3.1-3.5 e 14.5-14.8
4	2	1.8-2.9 e 8.0-9.2
5	2	4.1-5.3 e 11.5-12.7
6	2	2.3-3.5
7	2	5.4-6.4 e 12.7-13.8
8	2	6.9-7.3 e 9.0-9.5
9	2	5.5-5.9 e 9.8-10.2
10	3	4.7-5.1 e 11.9-12.3
11	2	4.3-4.7 e 1.2-1.6
12	2	4.7-5.9 e 9.4-10.5
13	2	5.1-6.1 e 11.7-12.7
14	2	2.3-2.8 e 4.7-5.2
15	1	7.0-7.4
16	1	7.4-7.8
17	2	7.4-7.6 e 14.8-15.0
18	2	5.7-5.9 e 14.5-14.6
19	1	5.7-5.9
20	1	11.0-12.0
21	1	3.9-4.1
22	1	4.5-4.7
23	3	6.6-6.8, 13.1-13.3 e 14.1-14.3
24	3	3.9-4.3, 11.2-11.6 e 14.3-14.7
25	3	1.7-2.8, 6.4-7.5 e 11.8-12.9
26	3	3.2-4.3 e 7.5-8.6
27	2	4.8-5.8 e 8.1-9.1
28	2	3.1-4.1 e 7.7-8.7
29	2	1.5-2.6 e 3.9-4.9
30	2	4.4-5.7 e 7.7-9.0
31	4	1.9-2.9 e 4.4-5.4
32	2	5.2-6.2 e 7.7-8.8
33	2	3.7-4.7 e 10.3-11.4
34	3	4.5-5.6 e 13.3-14.4
35	2	5.2-6.2 e 11.4-12.4
36	1	3.2-3.9
37	2	1.7-2.1 e 14.8-15.3
38	2	4.3-4.6 e 8.9-9.3
39	3	1.5-155 e 11.8-11.85
40	2	1.5-1.9 e 7.3-7.7
41	2	3.5-3.9 e 5.0-5.4
42	3	3.4-3.9 e 6.9-7.3
43	3	1.5-1.9, 3.1-3.5 e 4.6-5.0

44	2	0.5-0.9 e 3.8-4.3
45	2	1.9-2.4 e 4.7-5.2
46	2	0.4-0.7
47	1	5.6-6.0
48	2	0.9-1.3 e 6.0-6.4
49	1	4.6-5.0
50	2	1.3-1.7 e 6.0-6.4
51	2	3.0-3.4 e 4.3-4.7

52	1	12.9-13.3
53	2	3.4-3.9 e 7.3-7.7
54	1	6.0-6.4
55	1	6.0-6.4
56	2	1.9-2.4 e 5.6-6.0
57	1	5.8-6.2
58	2	4.7-5.2 e 13.5-14.0

References

Conyers L.B. (2004) *Ground-penetrating Radar for Archaeology*. Walnut Creek (California, USA), Altamira Press

Conyers L.B. (2006) *Innovative ground-penetrating radar methods for archaeological mapping*. In *Archaeological Prospection*, 13(2), pp. 139-141

Conyers, L.B. (2012) Advances in ground-penetrating radar exploration in southern Arizona. In *Journal of Arizona Archaeology*, 2(1), 2012, pp. 80-91.

Fonseca, C.D.; Conte, I. (2010) *Dal castello al territorio Dinamiche insediative a Ceglie Messapica tra il XII e XV secolo*. Bari (Italy), Mario Adda editore.

Giannino, F.; Leucci, G. (2021) *Electromagnetic Methods in Geophysics: Applications in GeoRadar, FDEM, TDEM, and AEM*. Hoboken, Hoboken (New York, USA), John Wiley & Sons Inc.

Leucci, G. (2019) *Nondestructive Testing for Archaeology and Cultural Heritage: A Practical Guide and New Perspective*. Clam (Switzerland), Springer editore. (https://doi.org/10.1007/978-3-030-01899-3).

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20327

Un'originale architettura storica nella Piana di Sibari. Il Castello-Masseria di San Mauro

Caterina Gattuso[a], Domenico Gattuso[a], Tuca Gattuso[b]
[a] Università Mediterranea, Reggio Calabria, Italy, caterina.gattuso@unirc.it, [b] Accademia Belle Arti, Reggio Calabria, Italy, tuca.gattuso99@gmail.com

Abstract

The Castle-Farm of Saint Mauro is a relevant architectural ensemble and represents one of the most interesting models of Renaissance architecture in Calabria. The building dates back to the 16th century, probably on the remains of a medieval monastery. The set of buildings has unusual features, in relation to its location in open countryside, the morphology of structural components, the dual and atypical functionality of military defensive fortress and agro-food logistics center for a vast territory. The paper presents the results of a historical research, aimed at an anamnesis of the building, a series of architectural elements derived from a field survey, some results from laboratory analyses on materials samples. In the overall and in conclusion, technical suggestions are proposed for a targeted and effective action of recovery, restoration and enhancement of the monumental complex.

Keywords: Castle-Farm, rural context, laboratory analysis, recovery and restoration.

1. Introduzione

Il Castello-Masseria di San Mauro è un complesso architettonico situato in Calabria, nella Piana di Sibari, non lontano dalla foce del fiume Crati e a margine della SS 106 Jonica. Più precisamente, nella contrada rurale di Cantinelle, Comune di Corigliano-Rossano (Fig. 1). Secondo fonti storiche, esso è sorto sui resti di una struttura militare medievale nei pressi dell'antica colonia greca Copia-Turio fondata intorno al 190 a.C. (Carafa e Calderazzi, 1999).

Edificata nel XVI secolo per volere dei Principi Sanseverino, la masseria era dotata di due corti delimitate da possenti mura di cinta, con un ingresso principale a torrione merlato, marcato dallo stemma nobiliare di famiglia.

Si delineava quindi un'originale composizione di Castello-Masseria, con funzioni agricole e di fortezza protettiva. Nei secoli successivi sono stati operati solo modesti interventi di rinnovamento e restauro, mantenendo la struttura e gli ornamenti originali. Nell'Ottocento il complesso architettonico cominciò a subire un processo di graduale degrado, e fu soggetto solo a occasionali opere di ordinaria manutenzione. Nel Novecento venne, di fatto, abbandonato a sé stesso. In anni recenti la struttura è stata oggetto di studi e ricerche che hanno determinato una attenzione culturale significativa.

Nella prima parte dell'articolo si propongono degli spunti desunti dalla ricerca storica e da un'anamnesi della struttura monumentale, con alcuni elementi di rilievo architettonico. Nella seconda parte sono presentati alcuni risultati di ricerca scaturiti da analisi di laboratorio specializzate su campioni di materiali, utili a orientare un'azione mirata ed efficace di recupero, restauro e valorizzazione del complesso monumentale di San Mauro.

1.1 Descrizione architettonica

Il complesso nel suo insieme presenta una struttura rettangolare, con un bastione murario

BY-NC-SA

perimetrale e composta di due ampie corti, distinte funzionalmente; esso è circondato da un'estesa area pianeggiante e bassi rilievi collinari con coltivazioni agrumicole tipiche. (Milella, 1997). Una delle due corti ha funzione prevalente di fortezza ed ospita un palazzo residenziale disposto sul lato sud-occidentale (Fig. 2). L'accesso dall'esterno è marcato da un torrione quadrato merlato, munito di piombatoi per la difesa (Fig. 3).



Fig. 1- Castello-Masseria di San Mauro. Inquadramento territoriale (elaborazione grafica degli autori, 2024 da *Google Earth*).



Fig. 2- Castello-Masseria di San Mauro. Vedute aeree (foto degli autori, 2024).

Lungo il perimetro interno, oltre al palazzo nobiliare sono disposti edifici minori quali gli alloggi delle maestranze, ambienti di servizio, magazzini per il deposito di cereali, fieno, prodotti agricoli diversi.

Sul versante orientale è presente una seconda corte di dimensioni paragonabili alla prima, caratterizzata da due porticati con ampi archi in mattone; essa evidentemente era destinata alle attività tipiche di una masseria, con giardino e alberi da frutta (Colistra, 2011).

Alla residenza, situata al primo piano del palazzo nobiliare, si accede mediante un'ampia scala a due braccia, una delle quali ormai deteriorata, che conduce ad una loggia con arcate (Martorano, 2011).



Fig. 3- Il palazzo nobiliare e il torrione (foto degli autori, 2024).

All'interno della residenza si trovano ambienti con soffitti a volte, tra cui una sala del trono ed una sala degli specchi con eleganti decori, una sala con caminetto e una camera con volta a

crociera. Sempre al primo piano è presente una cappella privata, consacrata a Sant'Antero, decorata con affreschi di epoca rinascimentale. Di particolare rilievo architettonico sono due colonnati di archi (Fig. 4). Le arcate che delimitano gli spazi esterni sui due lati con due fili di colonne laterizie vanno a definire un porticato sorretto da pilastri in laterizio. Sul lato sud esse hanno base quadrata con archi a tutto sesto, mentre quelle sul lato nord ne presentano una prima a base ottagonale per complessivi quattro archi a tutto sesto ed una seconda a base cruciforme per una serie di nove archi con cuspide di forma triangolare.



Fig. 4- Strutture ad arco in laterizi (foto degli autori, 2024).

I pilastri di base delle arcate, sia pur realizzati con laterizi e ciottoli di fiume ben incastonati e congiunti da strato malta, si sono deteriorati a causa del progressivo degrado chimico-fisico e biologico dell'intonaco esterno (Fig. 5).



Fig. 5- Strutture deteriorate da forme di degrado (foto degli autori, 2024).

2. Analisi di laboratorio per un'opera di restauro consapevole

L'intero complesso presenta uno stato diffuso di degrado sia dei materiali che delle strutture e dei decori ed interessa in particolar modo le arcate e i pilastri della corte. Per definire l'entità e lo stato di degrado sono state svolte delle indagini di laboratorio al fine di acquisire dati di dettaglio e informazioni utili per individuare adeguate azioni di restauro ed orientare i processi decisionali di merito. In via preliminare sono stati eseguiti vari sopralluoghi al fine di organizzare uno specifico e dettagliato piano di campionamento.

L'indagine è stata pianificata seguendo un approccio consolidato di settore (localizzazione e selezione criteriata di campioni in modo da garantire rappresentatività; test di laboratorio differenziati di tipo fisico-chimico al fine di fare emergere parametri di interesse sulla composizione dei materiali e lo stato di deterioramento).

Nello specifico sono stati effettuati molteplici sopralluoghi durante i quali sono stati individuati i punti di campionamento più significativi.

Sono stati quindi selezionati 27 punti sulle parti in laterizio più degradate e sono stati prelevati dei campioni di laterizio rappresentativi in corrispondenza delle superfici delle colonne situate lungo le arcate nord e sud (Fig. 6).

Si segnalano alcuni utili riferimenti di letteratura assunti a guida per il percorso metodologico (Gattuso, 2014; Gattuso C. et al., 2020; Adorni, 2012; Cigola e Gallozzi, 2014; Gattuso, 2020). Questi studi trattano aspetti diversi, in termini teorici ed applicativi, di metodi per l'anamnesi dei beni culturali, di strumenti e tecniche per

indagini sul campo e test specializzati di laboratorio, di approcci alla valutazione degli stadi di degrado di strutture architettoniche e materiali costitutivi, di orientamento alla scelta di misure ed interventi per il monitoraggio, il recupero, il restauro e la salvaguardia degli stessi beni culturali.

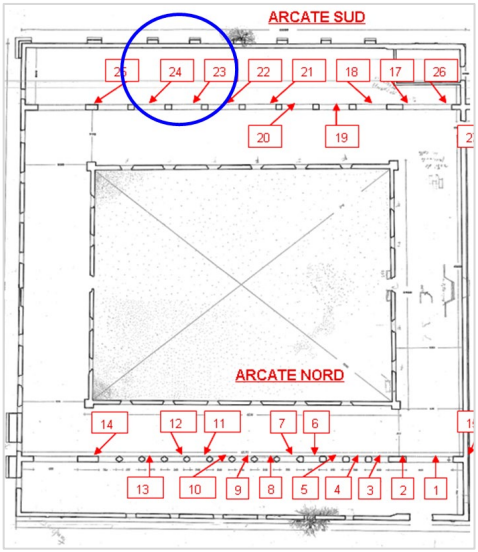


Fig. 6- Mappa con i punti di prelievo.

Si segnalano alcuni utili riferimenti di letteratura assunti a guida per il percorso metodologico (Gattuso, 2014; Gattuso C. et al., 2020; Adorni, 2012; Cigola e Gallozzi, 2014; Gattuso, 2020).

Questi studi trattano aspetti diversi, in termini teorici ed applicativi, di metodi per l'anamnesi dei beni culturali, di strumenti e tecniche per indagini sul campo e test specializzati di laboratorio, di approcci alla valutazione degli stadi di degrado di strutture architettoniche e materiali costitutivi, di orientamento alla scelta di misure ed interventi per il monitoraggio, il recupero, il restauro e la salvaguardia degli stessi beni culturali.

I campioni prelevati sono stati sottoposti ad analisi di tipo petrografico, mineralogico e chimico.

Nello studio sono riportati i risultati relativi al campione di laterizio identificato con sigla LSM24 (Fig. 7) prelevato sulla superfice del pilastro, a 1,60 m dal piano di calpestio e a 0,30 m dallo spigolo destro.

In laboratorio, i campioni sono stati catalogati, fotografati e pre-trattati per essere esaminati. Nello specifico sono state eseguite su ciascun campione delle indagini con:

1. osservazione al microscopio ottico per un primo screening;
2. analisi mineralogiche mediante diffrattometro a raggi X, per identificare le fasi mineralogiche (minerali riportati in ordine di abbondanza);
3. analisi chimica con XRF, tecnica di spettroscopia di fluorescenza a raggi X, per identificare gli elementi chimici presenti.

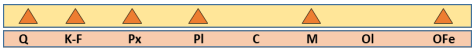


Fig. 7- Prelievo campione di laterizio (foto degli autori, 2024).

In Figura 8 sono proposti alcuni risultati dei test.

Scheletro	Fasi mineralogiche	Matrice	Porosità
Dimensioni	*Fasi presenti*	*Colore d'insieme*	*Addensamento*
	Presenza inclusi	Presenza bande e omogeneità	Tipologie
Sfericità e arrotondamento	Alterazioni	Presenza di grumi	Dimensioni
Orientamento		Cristallinità	Distribuzione
Distribuzione			Sfericità orli di ricristallizzazione

A. Elementi emergenti di base



B. Analisi mineralogica con diffrattometro

H20	Na20	MgO	Al03	Si20	P205	K20	CaO	Ti02	MnO	Fe203
0	1,29	7,54	16,61	57,95	0,31	2,97	5,27	0,86	0,11	7,1

C. Analisi chimica con spettrometria a raggi X

Fig. 8- Risultanze delle analisi sul campione (a cura degli autori, 2024).

L'analisi mineralogica e le descrizioni petrografiche di ciascun campione di laterizio evidenziano che non si può evincere una netta distinzione dei diversi campioni. Si è potuto notare infatti (Fig.9) che i campioni sono molto simili, tanto che i minerali rinvenuti sono sostanzialmente gli stessi: quarzo, feldspati, plagioclasi, pirosseni, miche, ossidi di ferro e calcite. Essi si differenziano solo nella quantità dei minerali presenti; in alcuni è abbondante-mente presente il quarzo ed in altri si ha una modesta

quantità di calcite. Questo fa supporre che i laterizi siano stati prodotti con la stessa argilla.

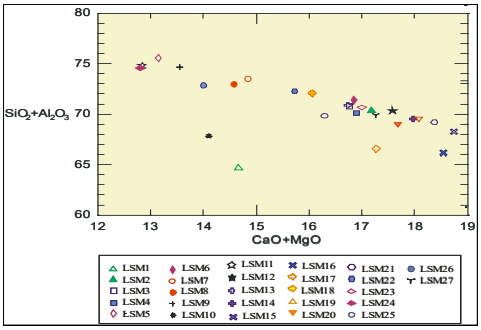


Fig. 9- Risultati di analisi mineralogica su un campione, con indicazione di minerali rinvenuti (a cura degli autori, 2024).

Inoltre, si è riusciti ad avvalorare il dato storico che vuole che il lato ovest del castello sia stato in parte più volte ripreso e riadattato per le mutate esigenze, mentre sicuramente il lato est, oggetto del presente studio, non è stato interessato da interventi successivi.

In conclusione, la caratterizzazione dei materiali costituivi dei laterizi nonché quella del suo degrado forniscono indicazioni utili e di orientamento ai fini della definizione di piani di manutenzione e dell'individuazione di interventi di conservazione e di restauro. In particolare, le conoscenze fornite dall'analisi dei materiali costituivi, nonché l'identificazione dei fenomeni di degrado (tipologie, forme, entità) permettono di indirizzare gli esperti su azioni consapevoli, adottando materiali assimilabili e compatibili con quelli esistenti, e soluzioni tecniche appropriate, in rapporto allo specifico contesto (adeguamento strutturale, ripristino di parti degradate, cura delle parti ammalorate).

Bibliografia

Adorni E. (2012) La caratterizzazione dei materiali tradizionali nella conservazione del patrimonio architettonico storico. Roma, Ed.La Dotta. ISBN:9788890734182

Carafa, R., Calderazzi, A. (1999). *La Calabria fortificata. Ricognizione e schedatura del territorio. Vibo Valentia*, Ed.Mapograf. ISSN039-3355

Cigola, M., Gallozzi, A. (2014). Nuove tecnologie per l'analisi e la conservazione del patrimonio architettonico. Conference: *Italian survey & international experience.* pp. 795-802. Roma, Ed.Gangemi. ISBN: 978-88-492-2915-8

Colistra, D. (2011). Masserie fortificate in Calabria In: Colistra D., Mediati D. (eds.). *Masserie fortificate in Calabria, Saggi modelli schede*. Reggio Calabria, Ed.Iiriti, ISBN 978-88-6494-065-6

Gattuso, C. (2014). An Advanced Model to Represent and Manage Knowledge in Cultural Heritage. In *Atti del XII Forum Internazionale di Studi "Le Vie dei Mercanti"*. Vol. 12, pp 228-233. Napoli, La Scuola di Pitagora Editrice. ISBN: 9788865423479

Gattuso, C. (2020). Cognitive methodology and diagnostic plan for cultural heritage conservation. In: *IMEKO TC-4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage.* Trento, Italy, October 22-24, 2020. Vol.1, pp 202-207. Ed.Imeko. ISBN 9781713820703.

Gattuso, C., Palermo, A.M., Barba Castagnaro, I., Ruberto, F.M. (2020). Conoscenza e analisi dei materiali per la conservazione del castello di Maida in Calabria (Italia). In: *Defensive Architecture of the Mediterranean*. vol. XII, pp 1201-1208. Granada, Ed.Universitat Politècnica de València, ISBN: 978-84-338-6644-8

Martorano, F. (2011). Le masserie fortificate di Calabria fra XVI e XX secolo. In: Colistra D., e Mediati D. Masserie fortificate in Calabria, Saggi modelli schede. Reggio Calabria, Ed.Iiriti, pp 39-59. ISBN 978-88-6494-065-6

Milella, O. (1997). *Torri e masserie nel Giardino mediterraneo*. Reggio Calabria, ED.Gangemi. ISBN 978-8874484775.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20328

Riflessioni sulla conservazione delle cortine murarie della cittadella fortificata di Berat, Albania

Giacomo Martines
Politecnico di Bari, Bari, Italy, giacomo.mertines@poliba.it

Abstract

The discussion that is intended to be presented consists in a first result of the mission of the Polytechnic of Bari, Architecture, Construction and Design Department, Laboratory of History of Architecture, Archeology and Restoration, carried out on the Fortified Citadel of Berat in Albania as part of the project sponsored by the Italian Foreign Ministry: Albanian - Italian Scientific Cooperation Agreement for the Archaeological Study Program of Berat.
The historical analysis of the fortified citadel of Berat can be examined through different phases, tracing its evolution over time characterized by a strong reuse of the same sites and above all of ancient stone materials.
The oldest materials, partially 'in place', belongs to the Illyrian era, and are characterized by blocks of cyclopean dimensions, (mainly) in limestone, squared and placed with isodomic work. The fortress is strongly stratified starting from a first settlement in the 4th century. B.C. then heavily readapted yet in ancient times, until the Byzantine period with the emperors Theodosius II (5th century) and Justinian I (6th century). The different nature of the stone material, the strong reuse, the introduction of different types of mortar, allows for an extremely complex stratigraphic map which constitutes a thickening of the historical documentary value of the site itself.
At the same time, the differences of materials and construction techniques and the conditions of partial ruin constitute an important source of acceleration of the forms of degradation which it is increasingly urgent to combat for the purposes of transmitting the document intact in its complex palimpsest.
A specific attention must be paid to the mortars and especially to the plasters which due to neglect, or worse due to some previous conservative interventions, have almost completely disappeared and which instead bear witness to important phases of use of the complex fortified system.

Keywords: cortified citadel, materials conservation, image conservation, stratified palimpsest.

1. Introduzione

1.1. Materiali e tecniche delle mura della cittadella fortificata

L'analisi storica della cittadella fortificata di Berat può essere esaminata attraverso diverse fasi, tracciandone l'evoluzione nel tempo caratterizzata da un forte riuso dei sedimi edificatori e soprattutto dei materiali.

Per una disamina delle fasi costruttive dell'ampio complesso si rimanda agli specifici approfondimenti presentati dagli studi connessi al medesimo progetto di ricerca ancora in corso di svolgimento e presentati in questo stesso contesto da altri autori.

I materiali più antichi, in parte "in posto", sono caratterizzati da blocchi di dimensioni ciclopiche, di pietra (prevalentemente) calcarea, squadrati ed apparecchiati ad opera isodoma.

Alcune porzioni murarie apparentemente conservano l'impianto originario di periodo antico, soprattutto in corrispondenza degli

BY-NC-SA

attacchi a terra e delle fondazioni (riemerse a seguito di indagini di scavo) nell'area del barbacane, della porta principale e della porzione della cinta muraria che si stacca dalla porta verso ovest (qui sono evidenti le risultanze delle indiagini archeologiche).



Fig. 1- Emergenze delle fasi antiche ancora "in posto"; Attacco a terra del barbacane della porta principale, fronte interno, lato destro (foto dell'autore, 2024).

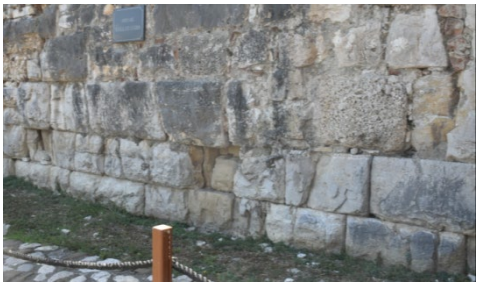


Fig. 2- Emergenze delle fasi antiche ancora "in posto"; Attacco a terra delle fortificazioni in prossimità della porta principale, fronte esterno, lato sinistro (foto di Giacomo Martines, 2024).

La fortezza risulta fortemente stratificata a partire da un primo insediamento del IV sec. A.C. poi fortemente rimaneggiato già in epoca antica finché sotto gli imperatori bizantini Teodosio II (V sec) e Giustiniano I (VI sec) si ha attestazione di un riordino delle difese della città a protezione dalle invasioni di barbari e di predoni che risalissero il fiume (2010, *Robert Elsie, Historical dictionary of Albania*).

A queste fasi probabilmente si deve il riuso dei blocchi cicolpici dell'originaria costruzione, reimpaginati con diverse irregolarità: sbozzature, fratture e ricomposizioni spesso senza rispettare l'originaria giacitura. Si osservano infatti elementi riassemblati con giunti non rettificati ed aperti, stilati con malta; blocchi ricollocati con evidenza degli strati di sedimentazione (grazie ad alcune inclusioni evidenti) indifferentemente disposti rispetto alla direzione gravitazionale.



Fig. 3- Riuso dei blocchi afferenti a fasi precedenti, ricomposti in giaciture improprie (foto dell'autore, 2024).

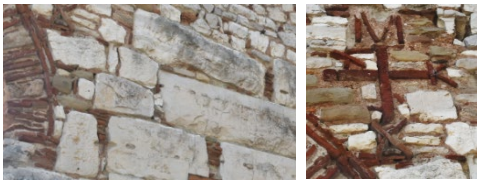


Fig. 4- Seconda murazione della porta principale con riuso dei blocchi ciclopici, senza rispetto della continuità dei filari orizzontali, con inserzione di laterizi. Monogramma di Michele I (foto dell'autore, 2024).

Con il medesimo atteggiamento, nella continuità d'uso della cittadella fortificata, nella seconda murazione di protezione della porta principale si trova il riuso dei medesimi blocchi ciclopici in calcare, sempre legati con malta, senza tuttavia il rispetto della continuità dell'orizzontalità dei giunti e con l'inclusione di occasionali elementi laterizi e zeppe per compensare i disallineamenti. In questa porzione muraria, a

lato della porta esterna compare il monogramma (sempre in laterizi) attribuito Michele I, despota dell'Epiro, che attesta un rimaneggiamento risalente al XIII secolo.



Fig. 5- Prospetto "sfogliato", sezione verticale ed orizzontale residuali delle murature a sacco (*in posizoni differenti*) (foto dell'autore, 2024).



Fig. 6- Seconda murazione della porta principale, porzioni murarie della piazza d'armi interna in opera vittata, listata o vittata riquadrata (foto dell'autore, 2024).

Le porzioni di elevazione delle murature presentano blocchi di dimensioni correnti legati con malta, per lo più apparecchiati con murature a sacco (assestato per filari) con cortine in blocchi sbozzati od opera incerta, con frequenti interposizioni di zeppe ed elementi laterizi, molto variabili nella tipologia, morfologia, apparecchiatura e nella caratterizzazione delle malte leganti.

In talune porzioni murarie di ricomposizione afferenti al periodo presuntivamente ottomano si evidenzia un uso più diffuso del laterizio di rinzeppatura dei filari orizzontali, con porzioni (prevalentemente in mere risarciture o rilegature) di muratura listata o vittata.

2. L'intonaco ed il cocciopesto

Rari lacerti di intonaco di calce in porzioni ove l'attività restaurativa e conservativa non hanno avuto particolare impatto perché nascoste od interrate, testimoniano una pregressa copertura di almeno alcune delle murature che è stata completamente rimossa negli interventi di presentazione dell'opera al fine della sua presentazione alla collettività.



Fig. 7- Lacerti di intonaco superstiti in corrispondenza di una porzione muraria recentemente dissotterrata (foto dell'autore, 2024).

Va osservato tuttavia che le murature con giunti di malta aperti, nelle epoche passate, venivano protette da strati di intonaco negli interni.

Le ragioni sono riconducibili alle minime ragioni di igiene e manutenibilità e da sigillature con malte idrauliche dei giunti, rasopietra, sagramatura, scialbo (se non veri propri intonaci stratificati) sulle superfici esterne per la salvaguardia dal ristagno delle acque meteoriche e dall'azione degli agenti degradanti.



Fig. 8- Lacerti di cocciopesto superstiti in corrispondenza delle cosiddette polveriere sul lato meridionale della piazza d'armi della fortificazione interna (foto dell'autore, 2024).

3. Criticità nella conservazione dell'edificato

Il sito si presenta nel complesso ben conservato e ricomposto nelle sue diverse parti, tuttavia si evidenziano alcune criticità, prevalentemente riconducibili a tre tipologie:

1) Il rischio di perdita della morfologia (e di elementi costitutivi) in corrispondenza delle aree non restaurate / consolidate.
2) L'uso estensivo del cemento nelle porzioni consolidate.
3) La perdita della leggibilità delle morfologie e dei rapporti stratigrafici.

La prima casistica, relativa alle porzioni non consolidate, riguarda in vero poche porzioni murarie residuali dagli estensivi interventi conservativi.

Purtuttavia, anche in attesa di un intervento restaurativo, sarebbero raccomandabili alcune provvisioni di "messa in sicurezza" e di provvisione "propedeutica alla conservazione", quali:

1.a) – La rimozione degli elementi vegetativi infestanti che oltre a disconnettere le murature con l'infiltrazione intramuraria degli apparati radicali, sono anche responsabili dell'incremento della stato igrometrico con la conseguente accelerazione dei fenomeni degradativi connessi alla presenza di umidità.

1.b) – La chiusura delle porzioni "aperte" di muratura, sia sommitali che di "taglio" al fine di preservare le malte dalla naturale disgregazione con la conseguente perdita di materiale lapideo (oltre che delle malte stesse), tali perdite infatti, oltre a compromettere (a lungo termine) la conservazione della morfologia superstite, comporterebbero la compromissione della leggibilità di tratti peculiari quali la composizione dei leganti (e quindi indirettamente la possibilità di analisi, anche datanti), le modalità di lavorazione ed il processo costruttivo *(cfr. punto 2.a)*.

1.c) – Il ripristino delle lacune delle cortine, ove sussiste un cogente rischio di crollo, da eseguirsi con materiali compatibili per le caratteristiche fisiche (massa, deformabilità, modulo elastico, geometria…) e chimiche (compatibilità dei leganti, ph, componenti saline, ecc.). In tal senso l'azione dei manutentori storici si è sempre orientata al reintegro a pari tecnica e pari materiale, su cui, in ossequio ai criteri contemporanei del restauro sé doveroso aggiungere il criterio della riconoscibilità.



Fig. 9- Copertine murarie non protette a diverso livello di disgregazione delle malte con perdita dei sacchi murari (foto dell'autore, 2024).

La seconda casistica, di contro, ove le preesistenze sono state consolidate e protette, riguarda le metodologie e le tecniche che, nei precedenti interventi hanno previsto un uso diffuso del calcestruzzo e del cemento, anche armato.

La teoria del restauro, nel corso del tempo, ma ormai da più generazioni, ha riconosciuto nell'accostamento dei materiali cementizi con i materiali afferenti alle tecnologie tradizionali della calce un rischio di "rigetto" dovuto all'incompatibilità fisico/chimica (dilatazioni

termiche differenziali, disomogeneità delle masse, componenti saline e del ph, …).

Sarebbe raccomandabile, a seconda delle diverse tipologie di intervento, in tal senso:

2.a) – Per i "baulletti" protettivi delle creste murarie: l'uso di malte a base di calce, anceh composte di inerti a granulometria variabile, eventualmente (preferibilmente) applicate non direttamente sulle vestigia storiche, quanto su superfici "di sacrificio" realizzate a parità di materiale (anche con riuso del materiale originario erratico e disperso), purché visivamente riconoscibile. Tale soluzione, conferendo una porzione massiva integrativa rende non più necessario strutturalmente l'uso di impasti rigidi e pervasivi, ad esempio, per la costipazione di arcate altrimenti troppo sottili; contestualmente consentire una migliore leggibilità delle morfologie storiche oggi lacunose, ed offre alle future azioni degradative una superficie appunto "di sacrificio" che garantisca di preservare il materiale originario "in posto" superstite.

Per il consolidamento delle murature sono state adottate perfusioni per infiltrazione e colatura di malte cementizie fino all'inglobamento dei blocchi lapidei originari, trasformandone la funzione da elementi portanti a meri inerti inglobati in un getto. Ciò oltre a rendere irreversibile l'intervento redendo di fatto tali blocchi, alterà il complessivo comportamento strutturale della parte iperconsolidata variandone il comportamento sismico globale, inficiando il rapporto prossimale tra le parti iperconsolidate e le murature adiacenti e rendendo l'elemento lapideo la porzione "fragile" del sistema statico e pertanto, in caso di deformazioni (per causa sismica od anche soltanto dovuta all'alterazione del naturale percorso dei carichi, proprio a causa dell'iperconsolidamento), non sarà più il legante a parzializzarsi preservando l'integrità del blocco lapideo, ma piuttosto si fratturerà l'elemento in pietra "bloccato" tra porzioni cementizie in corso di deformazione reciproca.

2.b) – In tal caso, come indicato, non sussiste di fatto una sostenibile "reversibilità" dell'intervento già eseguito. Si raccomanda piuttosto, nei futuri interventi, di evitare definitivamente l'uso del cemento come ogni intervento di iperconsolidamento, preservando la naturale capacità di resilienza attraverso la deformazione propria delle murature storiche, risarcendo le malte leganti con materiali leganti ed inerti omologhi agli originari, anche previe analisi granulometriche delle malte pregresse superstiti, ove necessario.



Fig. 10- iperconsolidamenti, inglobamenti e cementature di porzioni murarie in loco ed in ricostruzione (foto dell'autore, 2024).

Si identifica un (occasionale) utilizzo di cordolature in cemento armato atte all'eliminazione delle spinte laterali in corrispondenza delle volte delle polveriere in corrispondenza della piazza d'armi. In tal caso, oltre le problematiche di cui al punto "2.b" si evidenzia la presenza di barre metalliche esposte e su cui è in atto un processo di ossidazione: Si aggiungono pertanto le criticità legate alla dilatazione termica dell'acciaio che comporta tensioni interne ai materiali lapidei e lapidei artificiali (cemento) con conseguente apertura di microlesioni e lesioni vere e proprie. L'ossidazione, oltre a produrre un vertiginoso incremento volumetrico (aggravando

enormemente la criticità testè espressa), aggiunge un'azione di degrado chimico per la dispersione di ossidi che penetrano profondamente nella porosità del materiale lapideo carbonatici, alterandone irreversibilmente le caratteristiche chimiche e cromatiche.

2.c) – Anche in questo caso non sussiste una "reversibilità" che non costituisca un intervento fortemente invasivo. Si raccomanda piuttosto e di nuovo, nei futuri interventi, di evitare definitivamente l'uso di ogni intervento non reversibile. Ove sia dimostrata la necessità di un intervento antisismico che superi la resistenza "per massa" e "per forma" proprie del comportamento dell'edilizia storica, si raccomanda l'uso di faciature, cerchiature, incatenamenti, reticolature od altre provvisioni comunque reversibili, possibilmente mitigandone la visibilità, purché questo non comporti il sacrificio di porzioni di materiale originario.

4. Criticità della Conservazione dei materiali

4.1. I materiali lapidei

I materiali presenti sono prevalentemente, come esposto a monte:

1) materiale lapideo (prevalentemente calcareo)
2) laterizi (prevalentemente mattoni rossi utilizzati a complemento del materiale lapideo e solo in alcune limitate fasi storiche).
3) malte di diversa composizione legate a calce aerea (salvo sostituzioni e materiali superfetazionali).

Gli elementi lapidei sono in prevalenza calcarei, tuttavia mentre gli elementi relativi alle murature rimaneggiate appaiono quasi integralmente selezionati in blocchi di calcare compatto, là dove sono ancora rinvenibili i blocchi ciclopici (in psizione originaria o di riuso) questi presentano differenti consistenze. In particolare, quelli riconducibili alle fasi più antiche e prevalentemente, quindi, in corrispondenza delle strutture riconducibili alla porta principale.

Sono rinvenibili:

1.a) – Calcare compatto

1.b) – Calcare con inclusioni allogene

1.c) – Pietra sedimentaria calcarea (con stratificazione evidenti)

1.d) – Marne calcare



Fig. 11- Dettagli di inclusioni ovoidali e cilindrico-ovoidali riferibili a materiali allogeni rimasti inglobati nel processo di litizzazione (foto dell'autore, 2024).



Fig. 12- Dettagli di blocchi in pietra calcarea sedimentaria ed in marne calcaree (foto dell'autore, 2024).

4.2. Le malte

Le malte si presentano di diversa composizione a seconda delle fasi di realizzazione, legate a calce aerea (salvo sostituzioni e materiali superfetazionali)., ma composte in percentuali molto diverse di inerti (prevalentemente calcarei) e con granulometrie molto variabili. Fanno ovviamente eccezione le porzioni in Cocciopesto rilevabili in almeno due posizioni:

Nella cisterna all'interno del recinto fortificato sommitale, con malta molto fine ed inerte macinato, ed infatti ancora integra ed efficace al contenimento dell'acqua.

All'interno di una delle costruzioni a volte parallele nell'area meridionale della piazza

d'armi. In questo caso si tratta di malta di cocciopesto con grani volumetricamente importanti (anche diversi millimetri) ed uno spessore globale degli strati di cocciopesto superstiti relativamente esiguo.



Fig. 13- Dettagli degli intonaci rasopietracon "graffiture"a richiamare un opera pseudo-isodoma sulle mura ottomane della cattedrale-museo "fjetja s Shen Merise" (foto dell'autore, 2024).

4.3. Il degrado dei materiali

Il degrado presente a carico dei materiali lapidei e lapidei artificiali (malte e laterizi) è quello tipico e ricorrente di un manufatto esposto alle intemperie in condizione semi-ruderizzata (per alcune porzioni) o comunque naturalistica e va dalla presenza di vegetazione radicale, anche in aggregato alle murature, alla patina biologica con presenze di colonie batteriche, fungine, algali, muffe (umide e secche) …. Con una forte presenza di licheni. A queste categorie di degradi si affiancano alcune patologie specificatamente caratteristiche del sito:

presenza di "pitting": "Degradazione puntiforme che si manifesta attraverso la formazione di fori ciechi, numerosi e ravvicinati. I fori hanno forma tendenzialmente cilindrica con diametro massimo di pochi millimetri" (cfr "Raccomandazioni NorMaL - 1/88. Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico", CNR-ICR, 1990, Roma).

Tale degradazione non incide sulle caratteristiche meccaniche globali del materiale; tuttavia, ne altera l'estetica e la volumetria delle porzioni superficiali, fino a causarne il distacco per scagliatura o stratificazione. Quest'ultimo effetto è sanabile per microinfiltrazioni di nanocalci o malte micrometriche di metacaolino od altro idoneo legante.

"Scagliatura": "Degradazione che si manifesta col distacco totale o parziale di parti (scaglie) spesso in corrispondenza di soluzioni di continuità del materiale originario. Le scaglie, costituite generalmente da materiale in apparenza inalterato, hanno forma irregolare e spessore consistente e disomogeneo. Al di sotto possono essere presenti efflorescenze o patine biologiche"

"Fessurazione": "Degradazione che si manifesta con la formazione di soluzioni di continuità nel materiale e che può implicare lo spostamento reciproco delle parti (cfr "Raccomandazioni NorMaL - 1/88. Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico", CNR-ICR, 1990, Roma). Anche in questo caso la mole delle masse in gioco rende minimamente influente nel comportamento globale la perdita di resistenza del parmento, tuttavia questa azione di degrado prelude all'ingenerarsi di ulteriori fenomeni che possono comprometterne la conservazione. In tal senso si rende opportuno un trattamento di salvaguardia dall'ingressione dell'acqua e di risigillatura delle lesioni aperte per infiltrazione di prodotti leganti micrometrici leganti.

"Disgregazione": "Decoesione caratterizzata da distacco di granuli o cristalli sotto minime sollecitazioni meccaniche" (cfr "Raccomandazioni NorMaL - 1/88. Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico", CNR-ICR, 1990, Roma).

Nella fattispecie, propria delle marne calcaree che necessitano un significativo intervento di consolidamento materico onde proteggere e ricoedere il materiale almeno nelle sue microdecoesioni e microdistacchi tra granuli e "cemento". Un'impregnazione ripetuta nel tempo di prodotto micronizzato nebulizzato potrerebbe il consolidante appplicato a migrare verso porzioni più interne del materiale per l'effetto della naturale migrazione igrometrica e capilarità.

"Fratture da concentrazione di carico" e "deiezioni di spigolo e/o vertice": Si tratta di fenomeni puntuali dati da condizioni globali che portano l'addensamento delle linee di carico a sovraccaricare specifici punti di contatto, soprattutto in condizioni di alterazione termica (con conseguenti dilatazioni reciproche dei blocchi). Ne consegue l'espulsione con "distacco" e perdita di porzioni lapidee in

corrispondenza di angoli o spigoli. “distacco”: “Soluzione di continuità tra strati superficiali del materiale […]. Nel caso di materiali lapidei naturali le parti distaccate assumono spesso forme specifiche in funzione delle caratteristiche strutturali e tessiturali […].

Nella fattispecie, presente appunto in corrispondenza di murature sconnesse in cui l’apertura di giunti e spostamenti differenziali hanno provocato variazioni puntuali nell’ordinaria distribuzione dei carichi propri. Sebbene propria di porzioni murarie prive di malte, la risarcitura dei giunti al minimo al fine di sigillatura, riducendo l’ingressione delle acque meteoriche, costituirebbe almeno una mitigazione degli effetti differenziali stagionali che costituiscono un significativo aggravio delle condizioni tensionali. Ove il materiale ha riacquisito una condizione d’equilibrio non si suggerisce alcuna laterazione, altrimenti la preventiva stilatura dei giunti aperti con malte strutturali.

“Isolamento di inclusi”: il distacco per microdeformazione o microdilatazione progressiva tra porzioni eterogenee, accompagnato da disgregazioni, fessurazioni e scagliature.

Nella fattispecie presente immancabilmente in corrispondenza degli inclusi che caratterizzano diversi blocchi ciclopici.

Oltre diverse condizioni degradative che, pur presenti e delle quali si debba in ogni caso tener conto per una corretta conservazione materiale, hanno una minor contingenza ai fini della tutela globale del contesto, nei suoi valori storico-documentali.

5. Conclusioni

Il progetto di ricerca, tuttora in corso mira a definire le modalità più idonee a garantire la conservazione sia dei materiali che delle strutture architettoniche della cittadella fortificata. Si auspica che a conclusione dello studio, la pubblicazione sistematica dei dati di analisi dello stato dei luoghi e delle ipotesi di intervento per la tutela e valorizzazione possano essere un congruo esito della cooperazione internazionale avviata al fine di un possibile avvio dell’effettivo recupero del bene monumentale cui lo studio si è rivolto.

Bibliografia

Aimos S. C. (1997), Secular medieval architecture in the Balkans 1300-1500 and its preservation, Tirana, Society for the Study of the Medieval Architecture in the Balkans and its Preservation

Canali F., Galati V. C. (2022) *La tecnica costruttiva del castone ("cloisonné") murario nell’architettura Medio-bizantina tra struttura, accorgimenti antisismici e decorazione* (IX-XV secolo), in *Bollettino della Società di Studi Fiorentini*, vol. 30-31.

Elise R. (2010). *Historical Dictionary of Albania*. Tirana, Scarecrow

Fine J. V. A. (1994.) The Late Medieval Balkans: A Critical Survey from the Late Twelfth Century to the Ottoman Conquest, University of Michigan Press.

Galica K. (2024) Berat_Albania. Un’antica città del mediterraneo, Tesi di dottorato XXXV ciclo, Università di Firenze.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20329

Lorenese forts on the Tuscan coast: type, construction materials, state of preservation

Manuela Mattone[a,c] Fabio Fratini[b] Silvia Rescic[c]
[a] Politecnico di Torino, Dipartimento Architettura e Design, Torino, Italy, manuela.mattone@polito.it, associated CNR-ISPC, Sesto Fiorentino, [b] free lance conservation scientist, Firenze, Italy, fabio.fratini57@gmail.com, [c] CNR-ISPC, Sesto Fiorentino, silvia.rescic@cnr.it

Abstract

The system of fortification along the Tuscany coast is made up of 160 structures, including fortified centres, individual castles, watchtowers and buildings for soldiers' residential purposes. Built since the Middle Ages, they formed a relatively dense and effective network aimed at guaranteeing an adequate protection against possible incursions by enemy fleets. During the 18th century, the European Wars of Succession and Seven Years' War led to a further strengthening of the Tuscany fortified system with the building of fifty new structures. These include the six forts built between 1786 and 1793 at the behest of Pietro Leopoldo. They are almost totally preserved: some of them have undergone adaptive-reuse interventions, others are totally abandoned and are in a state of advanced degradation. The present contribution intends to focus on the study of the stone materials characterising these constructions. Furthermore, the state of conservation of the fortifications will be analysed, identifying the most widespread degradations in relation to both the characteristics of the materials and the environmental conditions.

Keywords: coastal forts, stone materials, decay, conservation.

1. Introduction

Since ancient times, coastal populations felt the need to equip themselves with adequate means of defence, useful for guarding and protecting the coastline from possible dangers from the sea. From the beginning of the 9th century, the growing threat from the Saracens led to the creation of an initial network of coastal towers, designed to facilitate the sighting of enemies and to signal their approach by means of sound or light signals. Over the centuries, the coastal defence system was modified and improved in response to changing maritime threats. With regard specifically to the coastal territories of Tuscany, the creation of the dense fortification system consisting of more than 160 structures, including fortified centres, castles, towers, fortresses and military houses, began in the 10th-11th centuries in connection with the role assumed by the city of Pisa in the Mediterranean Sea. By the mid-14th century, a dense network of towers and military posts allowed the effective transmission of useful information to guarantee the security of settlements along the coasts and islands. In the 16th century, the entire system of fortifications was reorganised and reinforced in response to an exceptional resurgence of piracy along the Mediterranean coasts. In the 1530 and 1540, new turreted and bastioned fortifications were built, characterised by "architectural canons and technological solutions of the most innovative Renaissance production" (1), and existing ones were modernised to meet the resistance requirements of the new weapons. Important changes were made to the

BY-NC-SA

fortifications, as well as to the coastal towers and armed outposts, whose shape varied according to the changing defensive techniques. The fortifications were mainly rhomboid or star-shaped, to reduce their vulnerability; similarly, the cylindrical or truncated-cone towers were replaced by square, not very high architectural artefacts, with a steep base on which the walls of the tower body were grafted. After a period without significant intervention on defensive heritage, the European Wars of Secession and the Seven Years' War in the 18th century led to further strengthening of the Tuscan fortifications. In the first half of the century, Edward Warren, Director General of the Tuscan Fortifications, was commissioned to carry out a survey of the coastal towers, highlighting any limitations and/or critical points. At the same time, fifty new structures were built to protect Tuscany from the recurring threat of Barbary corsairs and to meet health and customs requirements (2). As far as the Tuscan coast is concerned, in the second half of the 18th century, under Pietro Leopoldo (1765-1790), after having studied the medieval and modern fortifications and their dislocation, and after having identified the critical points in the surveillance of the coast, six new forts were built between 1786 and 1793. These were the forts of Cinquale Nuovo Forte dei Marmi, Marina di Bibbona, Marina of Castagneto, Le Marze and San Rocco (Figs. 1-3).



Fig. 1- Location of the Lorenese forts along the Tuscany coast (graphic elaboration by Giulia Formato (Tuscany Region Geoportal, 2024).

They are almost completely preserved, except for the Cinquale Nuovo fort, which was destroyed during the Second World War. Some of them have undergone interventions of adaptative reuse, others are completely abandoned and affected by degradation. The present paper will focus on the study of their stone materials, analysing their state of conservation in terms of both the characteristics of the materials and the environmental conditions. Such studies and analyses offer the possibility of collecting and networking a diverse and articulated set of data on historic materials, their technical characteristics and their behavior over time, the knowledge of which represents an important and valuable contribution to the pursuit of a more respectful, sustainable and less costly conservation of the historic built heritage.

1.1 Lorenese forts on the Tuscan coast

The Lorenese forts are characterised by a common morphological conformation according to the model designed by the military engineer Deodato Ray (Guarducci et al. 2014). They were built over a span of a few years along the flat shorelines of the Tuscan coastline, some a few metres from the shore, others further back. Although they differ from one another in some aspects, they are generally composed of two bodies of buildings placed side by side: the scarped bastion facing the sea and a three-storey building above ground. The bastions re-propose the characteristics of medieval fortresses; they have a trapezoidal planimetric shape with strongly rounded external corners and are almost devoid of openings.



Fig. 2- Marina di Bibbona fort (photo by Fabio Fratini, 2024).

They have a thick wall with an external brick face, topped with a stone crown on which rests the brick parapet enclosing the terrace originally intended to house the artillery. The buildings at the rear, with a rectangular plan, have vertical plastered walls. In some cases, they are topped by a four-slope roof, in others by a turret (as in the case of the Castagneto fort). The only exception is the fort of Le Marze, which has been extensively renovated and is now a stately residence, while retaining “in some parts valuable traces of its ancient structure” (3) (Fig. 3).



Fig. 3- Le Marze fort. Seaward elevation (photo by Fabio Fratini, 2024).

2. Material and methods

Three specimens per type (mortars and bricks) were sampled and analysed, collecting material naturally detached from the building. The samples collected had the following average dimensions: for bricks 2x3x1cm; for mortar 1x1x0.5 cm. The petrographic study was carried out on thin section (30 microns thick) observed under a transmitted polarised light at the optical microscope (ZEISS Axioscope. A1 equipped with a camera (5-megapixel resolution). The mineralogical composition was determined on the ground samples using a PANalytical X'PertPRO diffractometer with CuK1 = 1,545 Å radiation, operating at 40 KV, 30 mA, investigated range 2θ =3-70°, equipped with an X' Celerator multidetector and High Score data acquisition and interpretation software. The following paragraphs provides the macroscopic description and, with the exception of Fort dei Marmi, which could not be sampled, the petrographic study and determination of the mineralogical composition of bricks and berdding mortars of forts examined.

3. The building materials

The materials used to build the forts attest to the use of local stone resources but also depend on the style that characterises these forts. In fact, in their construction, brick is the predominant element both as a cladding and as a building element, except in the case of redevelopment works with a change of use.

The brick is flanked by other materials with the function of baseboards or string-course cornices, consisting of lithotypes mostly of local origin. These elements may also be flanked by materials of foreign origin but considered valuable in their decorative parts .

The materials of the forts of San Rocco, Bibbona, and Castagneto are now described. With regard to Forte dei Marmi, only the macroscopic aspect will be examined, while Fort of Marze will be examined separately because it was initially built with a use other than military (seawater lifting plant and accommodation for the managers of the new saltworks) and was subsequently restructured with a change of use in which the choice of materials was probably directed by the taste of the new owners.

3.1 The bricks

The escarpment ramparts are characterised by bricks with dimensions between 28x17x8cm at Fort San Rocco and 28.5x14x3cm at Forte dei Marmi (Tab. 1).

Thus, also the joints of the bedding mortars vary in thickness between 0.5cm at Fort San Rocco and Forte dei Marmi and 1.5cm at Fort of Bibbona (Tab. 1).

Table 1. Size of bricks and bedding mortars of escarpment ramparts

Fort	Brick's size (cm)	Bedding mortar's size (cm)
San Rocco	28x17x8	0.5
Bibbona	30 x14 x 6.5	1.5
Castagneto	28.5 x14 x 4.5	1.0
Marmi	28.5 x14 x 3	0.5

Tab 1- These data can give some indications regarding the workmanship employed in the construction of the forts, but also regarding a possible provenance from the same production centre.

3.1.1 San Rocco and Bibbona forts

In the case of the San Rocco and Bibbona forts, the bricks seem to have been made from the same clayey raw material.

In fact, the mineralogical petrographic study highlighted the following aspects (Fig. 5):

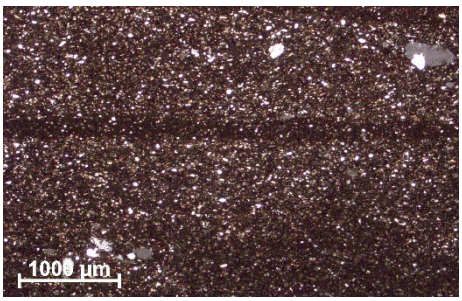


Fig. 5- brick, Bibbona fort (image at the optical microscope in thin section, crossed polarized light) (elaboration by Silvia Rescic, 2024).

- both bricks were obtained by firing an almost pure clay; the scarce framework consists of rare quartz grains measuring 200-300 µm; the groundmass is opaque, indicating a firing above 800 °C; macroprosity is scarce and regular in shape. Nevertheless, it cannot be said with certainty that these bricks come from the same production centre because of the differences in brick sizes (Tab. 1).

3.1.2 Forte di Castagneto

With regard to the bricks of Forte di Castagneto, the mineralogical-petrographic study showed the following aspects (Fig. 6):
- the bricks were obtained by firing a silty clay; the framework consists of an abundant fraction with a size of 20-40 µm consisting of quartz and feldspars; the groundmass is weakly birefringent, indicating a baking temperature below 700°C; macroporosity is poor and irregularly shaped.

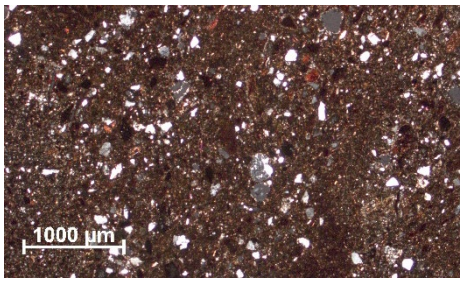


Fig. 6- Brick, Castagneto fort (image at the optical microscope in thin section, crossed polarized light) (elaboration by Silvia Rescic, 2024).

The bricks of the Castagneto Fort probably come from a different production centre than those of San Rocco and Bibbona, both because of the different clayey raw material and the different size of the bricks.

3.2 The bedding mortars

The bedding mortars of the bastions of the forts of San Rocco, Bibbona and Castagneto show differences in aggregate and mix proportions (binder/aggregate ratio).

3.2.1 Forte di San Rocco

As regards Forte San Rocco, the mortars show an abundant to medium binder amount (binder/aggregate ratio from ~ 1/1 to ~ 1/3) consisting of aerial lime with a micritic appearance, hydraulicized with the addition of scarce pozzolan in both coarse and finely ground fragments (Fig. 7). The aggregate is homogeneously distributed with unimodal grain size (200-400 µm) and consists of subangular to subrounded granules of quartz, sparitic calcite, fragments of organogenic carbonate rocks, and feldspars. Lime putty lumps and under-burnt remnants of organogenic limestones are present.

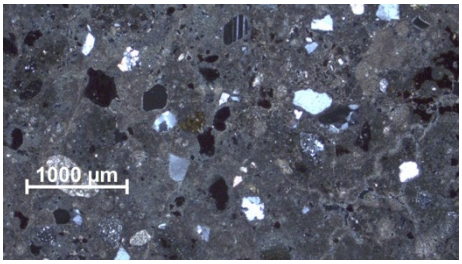


Fig. 7- Bedding mortar, San Rocco fort (image at the optical microscope in thin section, crossed polarized light) (elaboration by Silvia Rescic, 2024).

3.2.2 Forte di Bibbona

As for Forte di Bibbona, mortars have a medium to abundant binder (binder/aggregate ratio ~ 1/2-1/3) of aerial lime of micritic appearance (Fig. 8). The aggregate is homogeneously distributed with unimodal grain size (300-500 µm), and consists of subangular to subrounded grains of quartz, serpentinites, sparitic calcite, and micritic carbonate rocks.

Numerous lumps of lime putty and under-burnt remnants of organogenic limestones are present.

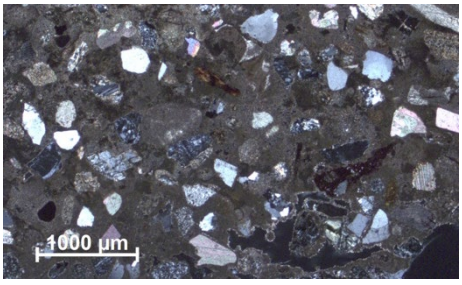


Fig. 8- Bedding mortar, Bibbona fort (image at the optical microscope in thin section, crossed polarized light) (elaboration by Silvia Rescic, 2024).

3.2.3 Forte di Castagneto

As for Forte di Castagneto, mortars have a scarce binder (ratio binder/aggregate ~ 1/3-1/4) of aerial lime of micritic appearance (Fig.9). The aggregate is homogeneously distributed, with unimodal grain size (300-500 µm) and consists of

subangular-shaped grains of quartz, feldspars, quartzites, rare pyroxenes. Lumps are absent.

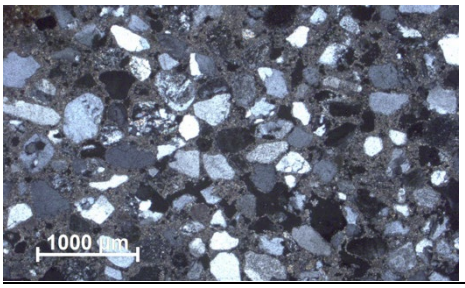


Fig. 9- Bedding mortar, Castagneto fort (image at the optical microscope in thin section, crossed polarized light) (elaboration by Silvia Rescic, 2024).

Table 2. Summary of the composition of bricks and mortar for embankment ramparts

Mortar	**San Rocco**	**Bibbona**	**Castagneto**
B	Aerial lime/ hydraulicized	Aerial lime	Aerial lime
B/A	1/1 - 1/3	1/2 - 1/3	1/3 - 1/4
AD	200-400	300-500	300-500
ACo	Qz, C, OCR, F, P	Qz, S, C, CR	Qz, F, QzR, Px
Brick	**San Rocco**	**Bibbona**	**Castagneto**
G	Opaque (T>800°C)	Opaque (T>800°C)	Weakly birefringent (T<700°C)
FWD	Scarse 200-300	Scarse 200-300	Abundant 20-40
FWC	Qz	Qz	Qz, F

B = binder; A = aggregate; B/A = binder aggregate ratio; Qz= quartz; F= Feldspars; C= calcite, OCR= organogenic carbonate rock; CR= carbonate rock S= serpentinites, Px= pyroxenes; QzR=quartzites rock; Pozzolan; G= groundmass; FW = framework D= size (µm); Co = composition;

Tab. 2- summarises the main compositional characteristics of bricks and bedding mortars.

3.3 The building materials and their territory

The close link with local resources is clear, particularly for the aggregate (e.g. ophiolitic grains in the mortars of the forts of Castagneto and Bibbona, fragments of organogenic carbonate rocks per Forte San Rocco). On the other hand, the different proportions of the mixtures and, for example, the addition of pozzolanic material for Fort San Rocco indicate a substantial independence of the masons who worked on the construction of the ramparts, even though the design was similar. As regards the baseboard of the ramparts, there is a homogeneity of material for the Forts of San Rocco, Bibbona and Castagneto. Indeed, the consists of the local Pietra Panchina, which is also found in the stringcourse of the rampart itself and in the opening frames of the tower building (Fig. 10). This lithotype is commonly found in the area between Livorno and Rosignano but also in the city of Volterra and its surroundings. It has a spongy and vacuolar appearance and contains marine fossils. Although the Livorno's Pietra Panchina was formed in the Pleistocene-Tyrrenian and those of the Volterra in the lower Pliocene, in both cases, the lithotype consists of medium-coarse sand (with partly carbonate, bioclastic, quartz granules and fossils) with varying degrees of calcareous cementation (Sartori, 2004). In Forte dei Marmi, the material used for the stringcourses and frames of the openings is a white veined marble consistent with a use of local materials (Fig. 11). As for the tower building of the forts, only in one case it was possible to see the masonry apparatus. This is the Fort of Bibbona where the plaster has partially fallen off (Fig. 12). The wall consists of a mixed masonry of unhewn blocks of Pietra Panchina and bricks walled with abundant mortar.



Fig. 10- Stringcourse in Pietra Panchina, Bibbona fort. Exfoliation phenomena in ashlar laid with the layering parallel to the surface of the masonry (photo by Fabio Fratini, 2024).



Fig. 11- Opening frame in white veined marble in Forte dei Marmi (photo by Silvia Rescic, 2024).

For the forts of Castagneto and San Rocco, the tower building being completely plastered, it is possible only to hypothesise a similar

construction technique, given the relative proximity of these forts.



Fig. 12- Masonry apparatus of tower building, Bibbona fort (photo by Fabio Fratini, 2024).

In the case of the Forte dei Marmi tower building, the recent restoration has entailed the construction of a new plasterwork that blocks the view of the wall structure. However, an analogy can be hypothesised with the historical buildings in the vicinity that are made of unhewn ashlars of metamorphic rocks (mycascists, porphyroids, marble) from the nearby Apuan Alps.

3.4 Forte Le Marze

The Marze fort, as we have mentioned, represents a different case from the previous ones in terms of the type of materials used. Indeed, the rampart of the bastion, partially covered by sand, is made up of well-cut Pietra Serena sandstone ashlars.

A stringcourse in the same material separates the rampart from the parapet wall, made of well-cut sandstone blocks of Pietra Bigia (Fratini et al. 2014). The crowning of the parapet is made of knife-laid bricks. The corners of the bastion are in rusticated Pietra Serena. The building behind it is made up of ashlar of Pietra Bigia on the first floor and bricks on the second floor. Pietra Bigia was also used for the columns of the loggia (Fig. 3). The mortars of the bastion consist of a scarce binder (aggregate binder ratio ~1/3) of aerial lime of micritic appearance (Fig. 13).

The aggregate is homogeneously distributed with unimodal grain size (300-400 µm) and consists of subrounded granules of sparitic calcite, organonogenic and micritic limestones, quartz, and arenaceous fragments. Lumps of lime putty are present. In summary, a close relationship with local resources is also evident here.

The Pietra Serena and Pietra bigia come from the hills of nearby Castiglione della Pescaia, while sand from the beach was used for the mortar aggregate.

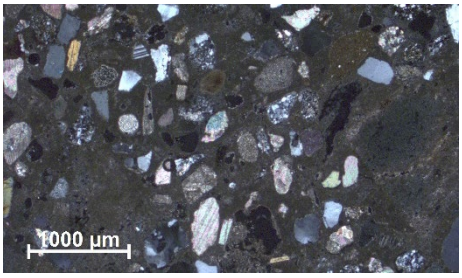


Fig. 13- Bedding mortar, Le Marze fort (image at the optical microscope in thin section, crossed polarized light) (elaboration by Silvia Rescic, 2024).

4. Conservation issues

At present, all the forts are located between 20 and 500 metres from the shoreline. This fact, due to the receding of the coastline over the last 100 years, has certainly slowed down the alteration phenomena linked to the action of waves and marine aerosol, but it has certainly not stopped the action of the latter. Thus, the stone materials, in particular the bricks on the side exposed to the sea, are in a worse state of conservation than those not exposed to the wind coming from the sea, with phenomena of alveolisation, spalling, and erosion to the point of total loss of cohesion of the material (Fig. 14). Erosion is a phenomenon that also affects the joints of the bedding mortar (Fig. 15).



Fig. 14- Brick erosion and biological growth, San Rocco fort (photo by Fabio Fratini, 2024)

On the side opposite the sea, the new location away from the coast and the interaction with the new environment has increased the phenomena of biological growth. With regard to the Pietra Panchina used in the forts of San Rocco, Bibbona and Castagneto, a good state of conservation can be observed, so much so that in some places the ribbon-like surface finish can be observed (Fig. 16).



Fig. 15- Erosion of mortar joints, San Rocco fort (photo by Fabio Fratini, 2024).

Only a few cases of exfoliation phenomena are observed when the ashlars were laid with the layering parallel to the surface of the masonry (Fig. 10). Alongside the natural decay, one must unfortunately report the damage caused by vandalism, first and foremost the graffiti (Fig. 17). Graffiti not only disfigure the appearance of these forts but are also difficult to remove due to the porosity of the stone materials.



Fig. 16- Ribbon-like surface finish on pietra Panchina, Castagneto fort (photo by Fabio Fratini, 2024).

With the exception of Forte dei Marmi and Le Marze fort, conservation interventions have been limited to punctual maintenance work, often not well harmonised with each other and with incompatible materials. In particular for Castagneto's fort, a state of abandonment is evident (Fig. 17). With regard to Forte dei Marmi and Le Marze fort, the former was completely restored in 2004 while the latter, being a private building, receives regular maintenance and therefore the materials are in good condition. The restoration work carried out at Forte dei Marmi included the replacement of the most degraded bricks or their integration with a mortar imitating the bricks themselves (Fig. 18). Restitching of the joints of the bedding mortars was carried out punctually. Some of the decayed bricks showing spalling phenomena are still visible. The marble architectural elements were replaced during the restoration and they are in excellent condition (Fig. 19). The aesthetic result of the restoration appears well accomplished to the layman's eye, but unfortunately it is a very invasive intervention that did not follow the canons of conservation so that it is essentially a 'new' building even almost 20 years after the restoration (Fig. 19).



Fig. 17- Graffiti, Castagneto fort (photo by Fabio Fratini, 2024).



Fig. 18- Pink mortar restoring a brick, and decayed brick, Forte dei Marmi (photo by Silvia Rescic, 2024).



Fig. 19- Total renovation of the Forte dei Marmi (photo by Silvia Rescic, 2024).

5. Conclusion

Along the Tuscan coast there is a system of fortifications made up of fortified centres, individual castles, watchtowers and buildings for soldiers' residences built since the Middle Ages. The system built between 1786 and 1793 on the initiative of Pietro Leopoldo is part of this heritage. The materials used in the construction of the forts studied reflect the local stone resources, with a few exceptions. The architectural elements

of the southern Tuscan forts of Bibbona, San Rocco and Castagneto are characterised by the use of the local Pietra Panchina, while in Forte dei Marmi the same architectural elements are made of white veined Carrara marble.

The study of the mortar aggregate made it possible to verify the local supply of raw materials (e.g. ophiolitic grains in the mortars of the Castagneto and Bibbona forts). The bricks from the Fort of Bibbona and Fort San Rocco appear to have been made in the same production centre, both for their similar dimensions and for the clayey raw material almost pure. Whereas for the bricks of the fort of Castagneto, a different clay raw material seems to have been used. Some of these buildings have been affected by phenomena of alteration, mainly due to the action of marine aerosol, while others to a combination of natural phenomena and anthropic intervention. Weathering, but above all neglect and lack of maintenance, are the main causes of the deterioration of these artefacts. The reuse and enhancement of this heritage, which has historically characterised the coastal landscape, would promote preventive, planned conservation which, by recognising assets as dynamic processes, would regulate their transformation in relation to changing contexts and needs (Della Torre, 2010), with positive repercussions not only in cultural, but also in economic and social terms for the territory, increasing the benefits and sustainability of the investment (CHCfE Consortium, 2015).

Notes

(1) Anna Guarducci, Marco Piccardi, Leonardo Rombai, *Torri e fortezze della Toscana tirrenica. Storia e beni culturali,* Debatte editore, Livorno, 2014, p. 11.

(2) The spread of epidemics is also countered by continuous coastal surveillance to signal the arrival of ships and prevent them from evading health controls in ports. (Manetti, 2011, p. XV).

(3) Rino Manetti, *Torri costiere del litorale toscano. Loro territorio e antico ruolo di vigilanza costiera*, Alinea, Firenze, p. 106.

Authors contributions

The introduction and paragraph 1 are by Manuela Mattone. The paragraph 3.3 and 4 are by Fabio Fratini and Silvia Rescic.

References

CHCfE Consortium (2015) *Cultural Heritage Counts for Europe. Full report*. Available at: www.encatc.org/culturalheritagecountsforeurope (accessed 20 Aug 2024).

Della Torre, S. (2010) Preventiva, integrate, programmata: le logiche coevolutive della conservazione. In: G. Biscontin, G. Driussi (eds), *Pensare la prevenzione. Manufatti, usi, ambienti*, 13-16 July 2010, Bressanone. Venezia, Arcadia Ricerche, pp. 67-76.

Fratini, F., Pecchioni, E., Cantisani, E., Rescic, S., Vettori, S. (2014) Pietra Serena: the stone of the Renaissance, Pereira D., Marker B.R., Kramar S., Cooper B.J. & Schouenborg B.E. (eds) *Global Heritage Stone: Towards International Recognition of Building and Ornamental Stones*. Geological Society, London, Special Publications, 407, 173–186. First published online September 3, 2014, The Geological Society of London

Guarducci A., Piccard, M., Rombai, L. (2014) *Torri e fortezze della Toscana tirrenica. Storia e beni culturali,* Livorno, Debatte editore.

Guarducci, A. (2015) Le fortificazioni della Toscana tirrenica: evoluzione geo-storica e condizioni attuali. In: P. Rodriguez Navarro (ed.), *Defensive Architecture of the Mediterranean XV to XVIII centuries*, 15-17 October 2015, Valencia. Valencia, Universitat Politècnica De València, pp. 97-104.

Manetti, R. (2011) *Torri costiere del litorale toscano. Loro territorio e antico ruolo di vigilanza costiera,* Firenze, Alinea.

Sartori, R. (2004) Panchina: materiale lapideo tipico di Livorno e di Volterra, *Bollettino Ingegneri*, 11, 13-16.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20330

Geopolymers: from origins to advanced applications of sustainable and adaptive materials

Laura Ricciotti[a], Valeria Perrotta[b], Daniele Lucariello[c], Raffaella Aversa[d]

[a] Department of Architecture and Industrial Design, University of Campania *Luigi Vanvitelli*, Aversa, Italy, laura.ricciotti@unicampania.it, [b] Department of Architecture and Industrial Design, University of Campania *Luigi Vanvitelli*, Aversa, Italy, valeria.perrotta@unicampania.it, [c] Department of Architecture and Industrial Design, University of Campania *Luigi Vanvitelli*, Aversa, Italy, daniele.lucariello@unicampania.it, [d] Department of Architecture and Industrial Design, University of Campania *Luigi Vanvitelli*, Aversa, Italy, raffaella.aversa@unicampania.it

Abstract

With the increasing urgency to reduce greenhouse gas emissions, geopolymers and alkali-activated materials (AAMs) present a low-carbon alternative to traditional cement-based construction materials. The production of standard cement contributes to 5-7% of global CO_2 emissions, so finding sustainable substitutes is crucial. Geopolymers, derived from aluminosilicate sources such as fly ash and metakaolin, are created through alkaline activation, forming a stable three-dimensional structure that offers durability and resilience. Similarly, AAMs are synthesized by activating calcium-rich materials in highly alkaline conditions, forming compounds like C-S-H gels that provide structural integrity. These materials demonstrate potential in a range of construction applications, including building restoration, fire-resistant materials, and environmental remediation. Geopolymers are especially promising for cultural heritage restoration due to their ceramic-like structure, durability, and compatibility with traditional materials. Despite their benefits, challenges remain, such as controlling the setting time, ensuring consistent precursor supply, and managing their behaviour in fresh states. Standardization is progressing, with several countries developing guidelines to support their use in infrastructure projects. Overall, geopolymers and AAMs are seen as viable paths toward sustainable building practices, though further research is needed for broader application.

Keywords: geopolymer, sustainability, aluminosilicate materials, amorphus micro-structure.

1. Introduction

As climate change impacts intensify, manifesting in rising sea levels, shifting precipitation patterns, and increased desertification, there is a mounting urgency to reduce greenhouse gas (GHG) emissions.

The construction industry, a substantial contributor to global emissions, demands new solutions to minimize environmental harm. Specifically, traditional concrete production, with cement as a primary component, is responsible for 5-7% of global CO_2 emissions (Worrell, 2001). The growing demand for concrete, driven by population growth and infrastructure needs, exacerbates the need for sustainable alternatives.

In this context, geopolymers and alkali-activated materials (AAM) emerge as a viable, low-carbon substitute, holding the potential to cut CO_2 emissions and resource usage in concrete manufacturing dramatically (Provis et al., 2010; Duxson et al., 2007).

BY-NC-SA

2. Composition and Properties of geopolymers and AAMs

The geopolymers and AAMs are aluminosilicate ceramic systems prepared through an alkaline activation reaction between aluminosilicate-rich source materials and alkaline activating solutions. Particularly, geopolymers consist of an inorganic aluminosilicate polymer with a network of tetrahedrally coordinated Si^{4+} and Al^{3+} ions, forming polymer chains (Thapa et al., 2018; Aversa et al., 2023; Aversa et al., 2024). These geopolymer precursors link chemically, forming oligomers and eventually creating a three-dimensional structure. In contrast, alkali-activated binders are synthesized by activating calcium-rich source materials under high-alkaline conditions. When precursors dissolve in the alkaline solution, they produce a hydraulic binder paste, leading to the concurrent formation of C-S-H gels and aluminosilicate polymers. Figure 1 illustrates the differences in the reaction mechanisms between alkali-activated binders and geopolymers.

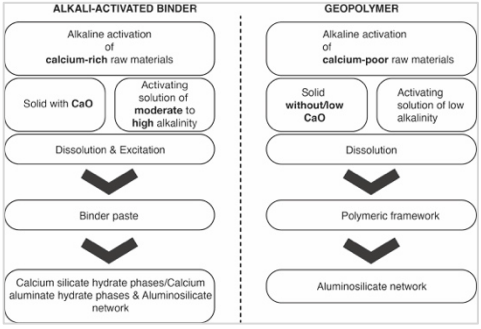


Fig. 1- Reaction mechanisms of geopolymers and AAMs (Thapa et al., 2018).

Studies on alkali-activated materials and geopolymers identify two main types of chemical reactions occurring between alkaline activators and aluminosilicate sources: high-calcium/magnesium and low-calcium/magnesium systems (see Fig. 1). In high-calcium/magnesium systems, calcium/magnesium aluminosilicate hydrates are produced, commonly referred to as C(M)-A-S-H, typically forming a Q2 layered structure. Conversely, in low-calcium/magnesium systems, the silicon and aluminum atoms coordinate in a tetrahedral arrangement, primarily Q3 or Q4. In Q4 structures, positively charged alkaline ions balance the negative charge from tetrahedral aluminum and silicon coordination, resulting in a three-dimensional gel structure. The presence of Q1, Q2, Q3, and Q4 structures is influenced by the Si/Al ratio (Duxson et al., 2005) and the specific reaction environment.

Moreover, geopolymers and AAMs can be prepared starting from natural aluminosilicate sources (metakaolin) and industrial by-products such as rice husk ash, fly ash, slag, waste glass, copper mine tailings, red mud, zeolite, pure Al_2O_3–$2SiO_2$ powder with Na_2SiO_3, magnesium-containing minerals and palm oil fuel ash (POFA) obtained from Malaysia. The commonly used alkaline activators are NaOH, potassium hydroxide (KOH), calcium hydroxide ($Ca(OH)_2$), NaOH and Na_2SiO_3, KOH and K_2SiO_3 (potassium silicate), K_2CO_3 (potassium carbonate) and $Ca(OH)_2$, NaOH and Na_2CO_3 (sodium carbonate) (Wang et al., 2019; Singh et al., 2020).

Geopolymers and AAMs can find applications in conventional sectors like construction, repair, restoration, marine engineering, pavement base layers, 3D printing, fire-resistant and high-temperature materials, as well as thermal and acoustic insulation. Specialized uses include immobilizing heavy metal contaminants, pH regulation, catalysis, conductive materials for moisture sensors, and thermal storage. Functional applications include specific applications such as fire-resistant structures, insulation walls, and nuclear facilities, extend to fire protection, isolation, heat retention, adsorption of hazardous ions, and bioscaffolds (Burduhos Nergis et al., 2018; Ricciotti et al., 2020; Ricciotti et al., 2023).

3. History of geopolymers and AAMs

The origins of geopolymers and AAMs technology trace back to the early 20th century when Kuhl (Kuhl, 1930) developed AAMs by combining alkalis (NaOH and KOH) with ground slag to examine its durability and strength relative to traditional OPC concrete. Kuhl earned the first patent for AAB technology in 1908 by pioneering the alkali activation of aluminosilicate-based materials (Kuhl, 1908). Later, in 1939, Feret explored partially replacing OPC with ground granulated blast furnace slag (GGBFS), known as alkali-activated slag (AAS), though he was unable to demonstrate practical application (Feret, 1939). Significant advancements in AAB research began in 1940 through extensive laboratory studies by a Belgian scientist (Purdon, 1949). Purdon's research highlighted that AAS

could achieve rapid hardening in two stages with NaOH as the activator. First, $Ca(OH)_2$ and alkaline activators induce the release of Si and Al atoms from precursor materials through various physicochemical processes. Then, the alkali metals form hydrated aluminosilicate (A-S-H) gel. In 1955, Victor Trief introduced 'Trief Cements', the first AAS brand utilized in large-scale construction (The Trief Cement Process, 1955). Victor Glukhovsky, a Russian scientist (Glukhovsky, 1959), examined ancient Roman and Egyptian construction, noting that the primary binding products were the anaclitic phase and C-S-H (alongside C-A-S-H), suggesting that AAB could be developed using calcium-free aluminosilicate in an alkaline medium. He further supported his theory by synthesizing 'soil cement' from powdered aluminosilicate-based industrial materials and potent alkaline activators from group 1 elements (Na and K). A breakthrough in AAMs occurred in the late 1970s when a French researcher (Davidovits, 1979) created aluminosilicate-based composite binders by combining limestone, dolomite, and kaolinite with alkaline substances. Davidovits, who first coined the term *geopolymers* for these binders, observed that their composition and structure resembled zeolites, with polymeric frameworks. His work on geopolymer binders was first documented in a U.S. patent by Davidovits and Sawyer (Davidovits and Sawyer, 1986).

Today, geopolymers have been further refined for practical infrastructure applications and are marketed under names like 'Pyrament' (Roy, 1999). Similar materials, such as 'F-cement' in Finland (Forss, 1983) and 'geocement' in Ukraine (Krivenko, 1994a), were also introduced. Since then, AAMs have seen rapid development, widespread research, and global acceptance, making them some of the most commonly used sustainable construction materials. For example, in Australia, Victoria's state road agency, VicRoads, has constructed several rigid pavements using geopolymer concrete (Deventer, 2012), and around 40,000 m^3 of geopolymer concrete was used for various infrastructure projects at Brisbane West Wellcamp Airport in Queensland (Glasby, 2015). Other Australian projects include the first precast use of geopolymer concrete in structural elements at the Global Change Institute building (Aldred and Day, 2012; Bilgh and Glasby, 2013), retrofitting the Northern Wall of Port Kembla harbor with Hanbar armour units (Mahmood et al., 2020), and Pinkenba Wharf in Brisbane (Manalo et al., 2021). Additionally, AAM technology has been standardized and applied in various projects across the UK, USA, Russia, South Africa, Ukraine, and the Netherlands (Cross et al., 2005; McIntosh et al., 2015; Provis et al., 2009).

The recent rise in commercial applications of geopolymer concrete is supported by decades of research since its groundbreaking developments in the 1980. Later research focused on understanding reaction mechanisms, product formation, and the role of different precursor materials and activators that underlie this technology.

According to van Deventer et al. (2010), 'geopolymer' represents a subset within the broader category of AAMs. Inorganic polymers, such as GGBFS, metakaolin, and their blends, fall under AAMs. In 1999, Palomo et al. proposed two models for categorizing AABs: the Si+Ca system, activated by mild alkali and producing C-S-H as the primary reaction product, and the Si+Al system, activated by strong alkalis like those found in fly ash or metakaolin-based binders. Duxson et al. (2006) classified the former as AAB and the latter as 'geopolymer', whose polymeric structure resembles natural zeolite. Other terms for aluminosilicate materials include 'inorganic polymers', 'geocements', 'alkali-activated cements', 'alkali-bonded ceramics', and 'hydroceramics'. Despite the variety in terminology, these names all refer to materials synthesized through similar chemical processes.

4. Applications in Cultural Heritage

AAMs show structural and mineral properties closely resembling ceramics, with chemical, physical, and mechanical characteristics that lend them exceptional durability. These qualities make them suitable as fillers for voids and cracks in tiles and repair mortars, offering an alternative to traditional materials for cultural heritage restoration. Unique properties, such as durability in harsh environmental conditions, strong adhesion to ceramic surfaces (due to their similar structures), rapid drying, and polymerization, make geopolymers particularly promising for conservation and restoration (Geraldes et al., 2016; Moutinho et al., 2020; Baltazar et al., 2019; Clausi et al., 2016; Ricciotti et al., 2017; Glasby et al., 2015; Aldred and Day, 2012). However, they present some challenges, such as

the potential corrosion of the artefact's historical glaze or the formation of soluble salts when exposed to air, which may result from the high concentration of alkaline activators that can lead to carbonation processes. Geopolymers and hybrid materials derived from these sustainable binders remain an active research area in cultural heritage, with studies over recent decades exploring their use in stone conservation, tile repair, and structural consolidation.

For instance, Geraldes et al. (2016) examined metakaolin-based geopolymers for tile repair, noting that water evaporation is crucial to the polymerization reaction, influencing both cracking and adhesion of the geopolymer paste to ceramics. Moutinho et al. (2020) also explored using metakaolin-derived geopolymers to repair cracks in Portuguese tiles, while Clausi et al. (2016) and Baltazar et al. (2019) researched formulations involving decorative stones and fly ash to enhance compatibility and durability for stone structures. Clausi et al. (2016) found that adding stone aggregates, such as Pietra Serena and Pietra di Angera, to metakaolin geopolymers reduced mechanical strength slightly but remained within acceptable mortar standards, making them suitable for stone object restoration. Additionally, Baltazar et al. (2019) explored using fly ash-based geopolymers as consolidation materials for older stone buildings.

Beyond simple geopolymer and AAM applications, new materials can be developed by functionalizing geopolymers with various molecules to enhance mechanical, chemical, physical, and aesthetic qualities. For example, Ricciotti et al. (2017) created hybrid materials by combining epoxy resins with metakaolin geopolymers, while this review proposes a synthesis approach for new, enhanced green binders. Studies emphasize the advantages of geopolymers, such as compatibility with diverse materials, low CO_2 emissions, the use of industrial by-products, and resilience to atmospheric pollutants and harsh agents. With tailored formulations, geopolymers can be fire-resistant, breathable, and resistant to rising salts and acid rain, and can mimic natural and stone materials. Although there are numerous studies on the characteristics of these materials, few address cultural heritage applications directly. Still, current findings suggest significant potential for using geopolymers to consolidate, conserve, and restore historical structures, especially within heritage centres where their low carbon footprint and beneficial properties could greatly support environmental and structural preservation.

5. Future Challenges

Over the past 30 years, research on geopolymers and AAMs has focused initially on understanding the underlying reaction mechanisms, products, and kinetics, and later on testing mix designs for engineering applications. Despite growing interest in AAMs as a low-carbon alternative to traditional concrete, their adoption has yet to be fully streamlined for widespread development. In Australia, examples like Brisbane West Wellcamp Airport (Glasby et al., 2015), the Global Change Institute building, which pioneered the use of geopolymer concrete in precast structural elements (Aldred and Day, 2012; Bligh and Glasby, 2013), Pinkenba Wharf in Brisbane (Manalo et al., 2021), and various VicRoads projects (Aldred et al., 2015; Andrews-phaedonos, 2015; van Deventer, 2015) highlight cases where geopolymer concrete has been used to replace some conventional concrete.

Mix Design Variables

Designing AAM mixes is more complex than for OPC (Ordinary Portland Cement) concrete, due to the larger number of components involved. Careful proportioning is essential to meet performance specifications, as concrete properties can vary significantly with minor adjustments. For example, while an increase in the water-to-cement (w/c) ratio generally reduces strength in traditional concrete, this rule doesn't apply directly to alkali-activated concrete. In AAC, water primarily dissolves alkali metals like NaOH or KOH to create the alkaline solution, which may include multiple alkali sources. Thus, the water-to-cementitious ratio reflects not only water content but also the concentration of alkali metals, which directly affects concrete properties. Another important parameter is the binder content. The ratios of binary or ternary precursor blends can be adjusted as needed, which affects both fresh and hardened concrete properties, whether they are alkali-activated or OPC-based. In OPC concrete, increasing SCMs (supplementary cementitious materials) often reduces early-age strength but maintains or improves later-age strength and durability. For alkali-activated and geopolymer concrete, increasing slag content over fly ash provides higher strength, especially with calcium-rich

precursors. However, this comes with trade-offs: increasing slag can significantly reduce the workable time due to a faster setting time, sometimes leading to a flash set. Highly concentrated alkaline solutions can further reduce workable time. To address this, finding a balance between precursor types and the concentration of the alkaline solution is crucial to maintaining workability and strength development (Glasby et al., 2015; Aldred and Day, 2012).

Fresh and Hardened State Parameters

Another significant challenge identified by the authors, and supported by existing literature, is the extensive range of mix-designs possible with AAMs. From variations in precursor materials (PMs) to the types and dosages of alkaline activators, mixes can range from those that take over 24 hours to set to those that experience flash setting in under 10 minutes. This wide variability complicates defining standardized mixes for commercial applications. The authors also note that identical mix formulations can yield different performance results depending on the source of the precursor materials. For instance, ground granulated blast-furnace slag (GGBFS) from one steel mill may behave differently from GGBFS obtained elsewhere, despite having similar primary oxide compositions. Moreover, research shows that mixing for at least 5-10 minutes ensures that low-calcium precursors in binary blends contribute to the mix, whereas shorter mixing times tend to activate the high-calcium precursors prematurely, leading to flash setting. This restricts the feasibility of using volumetric mixers and mobile batching plants for alkali-activated concrete production (Mahmood et al., 2021). Further studies are essential to understand these behavioural inconsistencies and standardize material supply for infrastructure applications.

Regarding setting time, the tendency of AAMs to flash set, especially in high-calcium, slag-dominant mixes, is well-documented (Zivica, 2007). Research has explored adding gypsum as a setting retardant, a common technique in traditional Portland cement to control rapid setting (Chang et al., 2005). A recent study by Hamdan et al. (2023) confirmed that adding gypsum to alkali-activated slag extends setting time by lowering the system's pH, which slows the rate of slag dissolution. However, additional research is required to identify optimal chemical compositions for precursor materials, specifically regarding their amorphous phases and oxide content, to ensure reliable workability for commercial use.

Chemical Formulation

A further hurdle for AAC is the lack of suitable chemical admixtures to manage fresh-state properties, which complicates on-site handling, compaction, and surface finishing. While there are some early efforts in admixture development for alkali-activated concrete (such as MasterCrete® 1000), more advancements are needed, particularly to control the behaviour of AAC in its fresh state.

Alluminosilicate Source Supply

Since AAMs largely rely on industrial by-products and are not manufactured for large-scale supply, careful planning is needed to ensure a sustainable future for this concrete technology, which has been the subject of decades of research. Although there has been substantial research on alkali-activating fly ash, the decreasing availability of fly ash, due to the gradual phasing out of coal-fired power plants in favour of cleaner energy sources, poses a challenge to consistent supply.

Durability

The durability of AAMs has been explored extensively in lab settings. However, most durability tests have been accelerated, raising questions about their accuracy in predicting real-world performance. This lack of long-term, evidence-based data on durability remains a key barrier to the material’s commercial acceptance.

Standardization

AAM standardization efforts are advancing in some countries, particularly those with construction-sector carbon reduction goals. These standards are progressing at an unusually fast pace due to heightened interest in low-carbon materials and significant research efforts. For example, the Concrete Institute of Australia recently held a National Roadshow Series on Low-Carbon Binder Concrete, featuring the new Standards Australia TS 199:2023 "Design of Geopolymer and Alkali-Activated Binder Concrete." This specification has been driven by industry demand rather than regulatory mandates and builds on existing state-level guidelines, such as VicRoads' specifications in Victoria, Australia. These cover alkali-activated concrete across various sections, including 703 (general concrete paving), 701 (drains and pipes), 705 (drainage

pits), and 711 (safety barriers), with potential use in structural applications under Section 610 if needed (Andrews-phaedonos, 2014).

In the USA, ASTM C1157 includes performance-based criteria for AAMs, while China's GB/T 29423-2012 standard supports AAMs for applications requiring chemical resistance (British Standards Institute, 2016). In Europe, the UK's BSI PAS 8820:2016 offers guidelines for alkali-activated material and concrete compliance, and Switzerland has its guidelines for alkali-activated slag-based products (SIA, 2014). Meanwhile, the Commonwealth of Independent States (CIS) nations utilize prescriptive standards developed by the Glukhovsky Institute in (Kiev Kavalerova et al., 2014) [56].

6. Conclusions

This paper provides a comprehensive, updated overview of geopolymers and AAMs, covering their historical development, synthesis, reaction mechanisms and key performance factors. It also addresses challenges and future outlooks, leading to the following conclusions:

– Since the 1930s, extensive research has been dedicated to AAM technology, with particular attention in the past five years on synthesis and engineering properties. Despite its promise as a greener alternative to traditional cement, substantial technological advancements remain limited.

– Researchers have investigated the reaction mechanism for geopolymer and AAM formation, generally involving three stages: monomer polymerization, particle growth, and inter-particle bonding. However, the precise chemical process controlling the setting and hardening remains only partly known, likely due to dependencies on the precursor material and alkaline activator.

– A review of precursor materials for geopolymers and AAMs reveals a variety of sources, including industrial, natural, and agricultural, with about 78% originating from industrial by-products. Criteria for selecting precursors should include cost-effectiveness, environmental impact, and construction applicability.

– Influential factors in geopolymers and AAMs synthesis encompass the chemical composition of the precursor (particularly Ca, Si, and Al content in the amorphous phase), physical properties (mainly fineness), type and concentration of alkaline activators (notably molarity and ratio), water-to-binder ratio, and curing conditions (primarily temperature, humidity, and duration).

– Environmental impacts of AAM mixtures are often evaluated based on 1.0 m^3 of concrete, though compiling inventories poses challenges due to the diversity of material sources. The carbon footprint remains a topic of debate, especially concerning the environmental effects of high activator concentrations, despite the use of by-product precursors.

– While geopolymers and AAMs present a more sustainable option compared to OPC-based mixtures, challenges persist regarding their properties and applications. Future challenges include identifying suitable precursors, developing cost-effective and low-carbon alkaline activators, refining mix designs, comprehending core mechanisms, enhancing material and concrete properties, optimizing construction practices, establishing performance standards, and ensuring sustainability in terms of both environmental and economic impact.

References

Aldred, J., Day, J., Glasby, T., 2015. Geopolymer concrete-No longer labcrete! 40th Conf. Our World Concr. Struct. 26–28 August 2015, Singapore 1–10.

Aldred, J., Day, J., Is geopolymer concrete a suitable alternative to traditional concrete? 37th, Conf. Our World Concr. Struct. 1 (2012) 14.

Aldred, J., Day, J., Is geopolymer concrete a suitable alternative to traditional concrete? 37th, Conf. Our World Concr. Struct. 1 (2012) 14.

Andrews-phaedonos, F., Specification and use of geopolymer concrete, 9th Austroads Bridg. Conf. (2014).

Andrews-phaedonos, F., Specification and use of geopolymer concrete, 9th Austroads Bridg. Conf. (2014).

Aversa, R.; Ricciotti, L.; Perrotta, V.; Apicella, A. Chemorheology of a Si/Al > 3 Alkali Activated Metakaolin Paste through Parallel Differential Scanning Calorimetry (DSC) and Dynamic Mechanical Analysis (DMA). Polymers 2023, 15, 3922.

Aversa, R.; Ricciotti, L.; Perrotta, V.; Apicella, A. Thermokinetic and Chemorheology of the Geopolymerization of an Alumina-Rich Alkaline-Activated Metakaolin in Isothermal and Dynamic Thermal Scans. *Polymers* **2024**, *16*, 211. https://doi.org/10.3390/polym16020211

Baltazar, L.G.; Henriques, F.M.A.; Temporão, D.; Cidade, M.T. Experimental Assessment of Geopolymer Grouts for Stone Masonry Strengthening. *Key Eng. Mater.* **2019**, *817*, 507–513.

Bligh, R., Glasby, T., Development of geopolymer precast floor panels for the Global Change Institute at University of Queensland, Concr 1 (8) (2013) 2013.

Bligh, R., Glasby, T., Development of geopolymer precast floor panels for the Global Change Institute at University of Queensland, Concr 1 (8) (2013) 2013.

British Standards Institute, 2016. BSI PAS 8820: Construction Materials – Alkali-activated Cementitious Material and Concrete – Specification.

Chang, J.J., Yeih, W., Hung, C.C., Effects of gypsum and phosphoric acid on the properties of sodium silicate-based alkali-activated slag pastes, Cem. Concr. Compos. 27 (2005) 85–91, https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2003.12.001.

Clausi, M.; Tarantino, S.C.; Magnani, L.L.; Riccardi, M.P.; Tedeschi, C.; Zema, M. Metakaolin as a precursor of materials for applications in Cultural Heritage: Geopolymer-based mortars with ornamental stone aggregates. *Appl. Clay Sci.* **2016**, *132–133*, 589–599.

Cross, D., Stephens, J., Vollmer, J., 2005. Structural applications of 100 percent fly ash concrete. Mont. State Univ. Bozeman, MT.

D. D. Burduhos Nergis et al., Geopolymers and Their Uses: Review. 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 374 012019

Davidovits, J., Cordi, S.A., Synthesis of new high temperature geo-polymers for reinforced plastics/composites, Spe Pactec 79 (1979) 151–154.

Davidovits, J., Sawyer, J.L., 1985. Early high-strength mineral polymer.

Deventer, J.S.J., Van, J.L. Provis, P. Duxson, Technical and commercial progress in the adoption of geopolymer cement, Miner. Eng. 29 (2012) 89–104, https:// doi.org/10.1016/j.mineng.2011.09.009.

Duxson, P., A. Fern´andez-Jim´enez, J.L. Provis, G.C. Lukey, A. Palomo, J.S.J. van Deventer, Geopolymer technology: The current state of the art, J. Mater. Sci. 42 (2006) 2917–2933, https://doi.org/10.1007/s10853-006-0637-z.

Duxson, P.; Fernández-Jiménez, A.; Provis, J.L.; Lukey, G.C.; Palomo, A.; van Deventer, J.S.J. Geopolymer technology: The current state of the art. J. Mater. Sci. 2007, 42, 2917–2933.

Duxson, P.; Provis, J.L.; Lukey, G.C.; Mallicoat, S.W.; Kriven, W.M.; Van Deventer, J.S.J. Understanding the relationship between geopolymer composition, microstructure and mechanical properties. Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp. 2005, 269, 47–58.

Feret R., Slags for the manufacture of cement, Rev. Mater. Constr. Tr. Publ. 1 (1939) 145.

Forss, B., 1983. Experiences from the use of F-cement—a binder based on alkali-activated blastfurnace slag. Alkalis Concr. Danish Concr. Assoc. Copenhagen, Denmark 101–104.

Geraldes, C.F.M.; Lima, A.M.; Delgado-Rodrigues, J.; Mimoso, J.M.; Pereira, S.R.M. Geopolymers as potential repair material in tiles conservation. *Appl. Phys. A* **2016**, *122*, 197.

Glasby, T., Day, J., Genrich, R., Aldred, J., 2015. EFC geopolymer concrete aircraft pavements at Brisbane West Wellcamp Airport. Concrete 2015, 1–9.

Glasby, T., Day, J., Genrich, R., Aldred, J., 2015. EFC geopolymer concrete aircraft pavements at Brisbane West Wellcamp Airport. Concrete 2015, 1–9.

Glukhovsky, V.D., 1959. Soil silicates. Gosstroyizdat, Kiev 154.

Hamdan, A., Song, H., Yao, Z., Alnahhal, M.F., Kim, T., Hajimohammadi, A., Modifications to reaction mechanisms, phase assemblages and mechanical properties of alkali-activated slags induced by gypsum addition, Cem. Concr. Res. 174 (2023) 107311, https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2023.107311.

Kavalerova, E.S., Krivenko, P.V., Rostovskaya, G., 2014. New National Standard of Ukraine for Heavy-weight Alkali Activated Cement Concretes, in: Proceedings of the Second International Conference on Advances in Chemically-Activated Materials. pp. 449–459.

Krivenko, P.V., 1994a. Alkaline cements, in: Proceedings of the 1st International Conference on Alkaline Cements and Concretes, Kiev, Ukraine, 1994. VIPOL Stock Company, pp. 11–129.

Kuhl H., Zement-Chemie: Die Erhartung ¨ und die Verarbeitung der hydraulischen Bindemittel, Verlag Technik, 1930.

Kuhl, H., 1908. Slag cement and process of making the same.
Mahmood, A.H., Foster, S.J., Castel, A., Development of high-density geopolymer concrete with steel furnace slag aggregate for coastal protection structures, Constr. Build. Mater. 248 (2020) 118681.
Mahmood, A.H., Foster, S.J., Castel, A., Effects of mixing duration on engineering properties of geopolymer concrete, Constr. Build. Mater. 303 (2021) 124449, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124449.
Mahmood, A.H., Foster, S.J., Castel, A., High-density geopolymer concrete for Port Kembla breakwater upgrade, Constr. Build. Mater. 262 (2020) 120920.
Manalo, A.C., Mendis, P., Bai, Y., Jachmann, B., Sorbello, C.D., Fiber-reinforced polymer bars for concrete structures: state-of-the-practice in Australia, J. Compos. Constr. 25 (2021), https://doi.org/10.1061/(asce)cc.1943-5614.0001105.
Manalo, A.C., Mendis, P., Bai, Y., Jachmann, B., Sorbello, C.D., Fiber-reinforced polymer bars for concrete structures: state-of-the-practice in Australia, J. Compos. Constr. 25 (2021), https://doi.org/10.1061/(asce)cc.1943-5614.0001105.
McIntosh, A., Lawther, S.E.M., Kwasny, J., Soutsos, M.N., Cleland, D., Nanukuttan, S., Selection and characterisation of geological materials for use as geopolymer precursors, Adv. Appl. Ceram. 114 (2015) 378–385, https://doi.org/10.1179/ 1743676115y.0000000055.
Moutinho, S.; Costa, C.; Andrejkovičová, S.; Mariz, L.; Sequeira, C.; Terroso, D.; Rocha, F.; Velosa, A. Assessment of properties of metakaolin-based geopolymers applied in the conservation of tile facades. *Constr. Build. Mater.* **2020**, *259*, 119759.
Palomo, A., Grutzeck, M.W., Blanco, M.T., Alkali-activated fly ashes, Cem. Concr. Res. 29 (1999) 1323–1329, https://doi.org/10.1016/s0008-8846(98)00243-9.
Provis, J., Van Devente, J., Geopolymers: Structures, Processing, Properties and Industrial Applications, Woodhead Publishing, Cambridge (UK), UK, 2009.
Provis, J.L.; Duxson, P.; van Deventer, J.S.J. The role of particle technology in developing sustainable construction materials. Adv. Powder Technol. 2010, 21, 2–7.
Purdon A.O., The action of alkalis on blast-furnace slag, J. Soc. Chem. Ind. 59 (1940) 191–202.
Ricciotti, L.; Apicella, A.; Perrotta, V.; Aversa, R. Geopolymer Materials for Bone Tissue Applications: Recent Advances and Future Perspectives. Polymers 2023, 15, 1087.
Ricciotti, L.; Molino, A.J.; Roviello, V.; Chianese, E.; Cennamo, P.; Roviello, G. Geopolymer Composites for Potential Applications in Cultural Heritage. *Environments* **2017**, *4*, 91.
Ricciotti, L.; Occhicone, A.; Petrillo, A.; Ferone, C.; Cioffi, R.; Roviello, G. Geopolymer-based hybrid foams: Lightweight materials from a sustainable production process. J. Clean. Prod. 2020, 250, 119588.
Roy, D.M., Alkali-activated cements opportunities and challenges, Cem. Concr. Res. 29 (1999) 249–254.
Schweizerisches Ingenieur and Architektenverein (SIA), 2014. Anforderungen an neue Zemente (Merkblatt 2049).
Singh, N.B., Middendorf B., Geopolymers as an alternative to Portland cement: an overview. Constr. Build. Mater. 237 (2020), 117455, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117455
Thapa, V.B., Waldmann, D., A short review on alkali-activated binders and geopolymer binders, in: Vielfalt Im Massivbau - Festschrift Zum 65. Geburtstag von Prof. Dr. Ing. Jürgen Schnell Author, Co-Author : Pahn, Matthias Thiele, Catherina, Ernst & Sohn, Berlin, Germany, 2018: pp. 576–591. http://hdl.handle.net/10993/35284
The Trief Cement Process: Corrosion-Resisting Concrete in U.K., 1955. Anti-Corrosion Methods Mater. 2, 199–199. 〈https://doi.org/10.1108/eb019071〉.
Van Deventer, J., 2015. Is the market ready for the adoption of alkali-activated cements, in: Innovation in Buildings and Construction-Energy, Efficiency, Emissions.
Van Deventer, J.S.J., Provis, J.L., Duxson, P., Brice, D.G., Chemical research and climate change as drivers in the commercial adoption of alkali activated materials, Waste Biomass-.-. Valoriz. 1 (2010) 145–155, https://doi.org/ 10.1007/s12649-010-9015-9.
Wang, Y.S.; Alrefaei, Y.; Dai, J.G. Silico-aluminophosphate and alka-li-aluminosilicate geopolymers: A comparative review. Front. Mater. 2019, 6, 106.
Worrell, E., Price, L., Martin, N., Hendriks, Meida, C.L.O., Carbon dioxide emission from the global cement industry, Annu. Rev. Energy Environ. 26 (2001) 303–329, https://doi.org/10.1146/annurev.energy.26.1.303.
Zivica, V., Effects of type and dosage of alkaline activator and temperature on the properties of alkali-activated slag mixtures, Constr. Build. Mater. 21 (2007) 1463–1469, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.07.002.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20331

Geopolymer materials from wastes for sustainable building application: mineralogical and morphological characterization

Giuseppina Roviello[a], Ciro Migliaccio[a], Federica Falzarano[a], Emmanuel De Gregorio[a], Alessio Occhicone[a], Giuseppe De Marino[b], Oreste Tarallo[b], Francesco Izzo[c], Alessio Langella[c], Claudio Ferone[a]

[a] University of Naples 'Parthenope', Department of Engineering, Napoli, Italy, [b] University of Naples Federico II, Department of Chemical Sciences, Napoli, Italy, University of Naples 'Parthenope', Department of Engineering, Napoli, Italy, [c] University of Naples Federico II, Department of Earth Sciences, Environmental and Resources, 80126 Napoli, Italy

Abstract

Red mud (RM) is the primary waste product generated through the Bayer from caustic digestion of bauxite and its disposal represents one of the biggest issues in the mining industry due to its hight alkalinity. New technologies are being developed for its treatment and reuse, according to circular economy and environmental protection.

The presence of aluminium and silicon oxides makes RM a suitable material for developing geopolymer formulations, in combination with commercial metakaolin (MK). In fact, geopolymers are usually obtained from aluminosilicate precursors by polycondensation in an alkaline environment using sodium silicate. In addition to activation in an alkaline environment, in recent years an acid-type activation has also been developed regarding the geopolymerization reaction using a phosphoric acid solution.

In this work, both basic- and acid- geopolymer were synthesized and characterized through different techniques. The obtained samples show excellent chemical and physical properties and high compressive strength, suggesting their application in the building sector.

Keywords: geopolymer, red mud, building application.

1. Introduction

Red mud (RM) is a hazardous waste of alumina production by the Bayer process, generated during the caustic digestion of bauxite (Power et al., 2011). With the increase in aluminium demand, bauxite residue has grown to a production rate of over 150 million tonnes per year. RM represents an environmental threat due to its high alkalinity (pH 9-13) and saline properties that can leach out, and contaminate nearby rivers and ecosystem (Gelencser et al., 2011). Therefore, it is imperative to find inventive ways to recycle and reuse these materials to create innovative and competitive products for the market, such as geopolymers (Bolden et al., 2013). The presence of aluminium and silicon oxides makes RM a suitable material for developing geopolymer formulations, in combination with commercial metakaolin (Kumar et al., 2021). They are aluminium-silicate materials with a three-dimensional cross-linked, amorphous or semi-crystalline structure (Davidovits, 2020). The formation of three-dimensional structure of these materials is supported by the presence of an activating solution that can be either alkaline or acid (Ren et al., 2021). Sodium silicate (Na_2SiO_3) (SS) is the most common basic solution used. In the case of acid activating solution, a phosphoric acid

CC BY-NC-SA

solution (H_3PO_4) can be used. Geopolymers are attractive due to their mechanical and chemical-physical properties, high compressive strength, low shrinkage and good resistance to fire, acid attacks and high temperatures (Zhang et al., 2020). The advantages of the use of geopolymeric materials in the field of construction are both environmental and economical, as they drastically reduce the emission of carbon dioxide (CO_2) into the atmosphere and require fewer costs during the production process compared to tradition binders such as ordinary Portland (Ricciotti et al., 2023).

In this work, alkaline and acid Mk and RM based geopolymer are synthesized and studied from a mineralogical and morphological point of view, for use in building applications.

2. Materials and methods

2.1. Raw materials

The red mud used in this work comes from Montenegro site. Metamax metakaolin was provided by BASF. The sodium silicate (R=3.3) used as alkaline activating solution was provided by Prochin Italia S.r.l. As for acid activating solution: phosphoric acid 85wt.%, to obtain a solution 10 M (HP), comes from Sigma Aldrich. Finally, sodium hydroxide (NaOH) in the form of pellets, which was added to sodium silicate to modify the R value (molar ratio between SiO_2 and Na_2O), and hydrochloric acid (HCl) 37wt.% (from Sigma Aldrich), used for pre-treatment (pt) of red mud as is (tq).

2.2. Geopolymers preparation

The synthesis of geopolymers requires many steps to follow (Fig. 1).

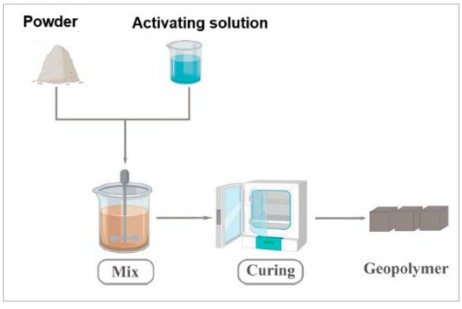


Fig.1 – Scheme of geopolymers synthesis (by Author, 2024).

In the first step, the activating solution (alkaline or acid) is prepared 24 hours in before it uses by mixing the opportune precursors (NaOH and SS or H_2O and H_3PO_4 to obtain 10M H_3PO_4). The following day, the metakaolin and red mud powders are weighed and mixed in the activating solution using a mechanical rod stirrer with spiral whisk ARGO LAB AM40-DPRO at 2000 rpm. The mixture is homogenized for 10 minutes. Finally, the mixture is poured into 40mm cube-shaped moulds and the curing process is carried out. The curing process requires that the samples stay one day at room temperature and 95% relative humidity: one day at 60° in a climate chamber and 95% relative humidity and another 5 days at room temperature and 95% relative humidity. After a week, demoulding is done and the samples are obtained as in Fig. 2.



Fig. 2 - Geopolymer samples with different RM amount.

To summarize the obtained geopolymers, the Tab.1 shows the percentage weights of all the components of the mixtures synthesized. In particular, 2 basic geopolymers and 3 acid geopolymers have been successfully synthesized.

Sample	%wt MK	%wt RM	%wt Na_2SiO_3 (R=3.3)	%wt NaOH	%wt H_3PO_4
MKSS	37.5	/	55.3	7.2	/
RMMKSS	18.7	18.7	55.4	7.2	/
MKHP	44.0	/	/	/	56.0
RMtqMKHP	22.0	22.0	/	/	56.0
RMptMKHP	28.1	28.1	/	/	43.8

Tab. 1- Percentage weights of the mixture synthesized (by Author, 2024).

One of acid geopolymers was obtained by using RM pre-treated with 3M hydrochloric acid (HCl) to remove carbonate and alkaline metals elements (Na, Ca, K) before its use in the geopolymer synthesis.

2.3. Instruments

The chemical composition was determined by scanning electron microscopy (SEM) using a Phenom Pro X Microscope (6 nm resolution, 15 kV voltage, detector on backscattered mode).

The X-ray diffraction (XRD) analysis of crystalline phases was performed with a Rigaku MiniFlex 600 diffractometer, operating in θ/2θ Bragg–Brentano geometry by using CuKα radiation. Phases were identified by using the PDF-2 2022 database (ICDD®) and the Rigaku PDXL2 software.

Mechanical characterization was performed with a Controls MCC8 hydraulic console (2000 kN capacity) with a load application speed of 1200 N/s, according to UNI EN 196–1:2016 on at least three specimens for each set of samples.

3. Results and discussion

3.1. Raw materials characterisation

The precursors have been characterized by XRD. As shown in XRD patterns (Fig. 3), RM is characterized by the following main crystalline phases: hematite, gibbsite, quartz, calcite and sodalite. On the other hand, pretreatment with HCl allows some crystalline phases to be removed from the RM. The sample RMpt shows a diffraction pattern characterized by the presence of the RM crystalline phases except for sodalite and calcite which were completely removed by the acid treatment. MK is almost completely amorphous, with only peaks of the anatase (TiO_2) phase.

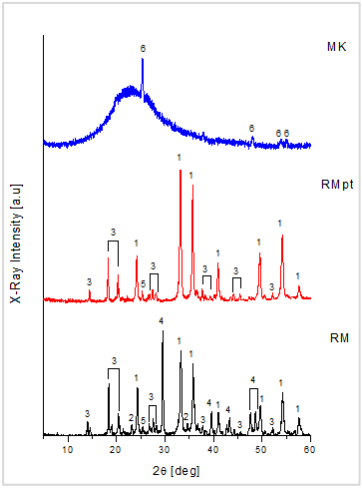


Fig. 3- XRD patterns of MK, RMpt and RM. The identified crystalline phases are shown: 1 = Hematite, Fe_2O_3,; 2 = Sodalite, $Na_8(Al_6Si_6O_{24})$ $(OH)_2$; 3 = Gibbsite $Al(OH)_3$; 4 = Calcite, $CaCO_3$; 5 = Quartz, SiO_2; 6 = Anatase, TiO_2

3.2. Geopolymers characterization

The chemical-physical characterization of the synthesized geopolymers is studied: the structural analysis is carried out by X-ray diffraction, and it emerges that the geopolymerization occurred successfully in all cases, as demonstrated by the amorphous halo with a maximum peak at 26° (Fig. 4)

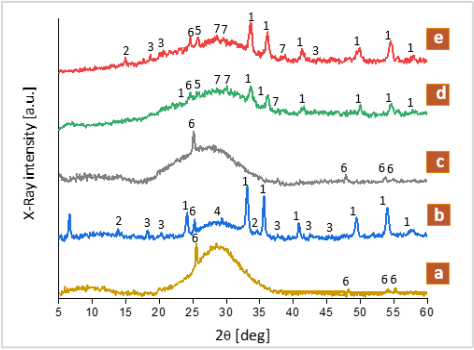


Fig. 4- XRD patterns of (a) MKSS; (b) RMMKSS; (c) MKHP; (d) RMtqMKHP; (e) RMptMKHP. The identified crystalline phases are the same of fig 3 and 7 = Iron Hydrogen Phosphate, $Fe(H_2PO_4)_3$.

Furthermore, most of the geopolymers crystalline phases are attributable to RM. In particular, Mk based geopolymers present a single crystalline phase relative to anatase, meanwhile the RM-Mk based geopolymer are rich in hematite.

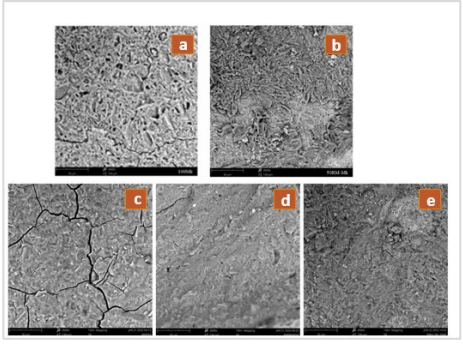


Fig.5- SEM images, 2000 × magnification, of (a) MKSS; (b) RMMKSS; (c) MKHP; (d) RMtqMKHP; (e) RMptMKHP (by Author, 2024).

For morphological analysis SEM images are taken. As shown in Fig. 5, alkaline geopolymeric samples are characterized by the presence of an

amorphous microstructure. The amount of glassy amorphous phase decreases with the incorporation of RM particles. Instead, acid geopolymers appear to be characterized by a more homogeneous structure than alkaline-activated ones.

The compressive strength of geopolymer samples activated with alkaline and acid was also evaluated using 40 mm-sided cubes (Fig. 6). The metakaolin-based geopolymers activated with sodium silicate, MKSS, showed an average compressive strength of approximately 30 MPa.

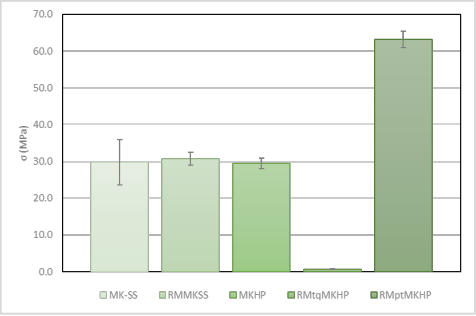


Fig.6- Compressive strength values in MPa for alkaline and acid-activated cubic geopolymer samples (by Author, 2024).

This is the result of the activation of the silicon (SiO_2) and aluminum (Al_2O_3) oxides and the formation of Si–O–Al–O geopolymeric network. RMMKSS caused an increase in the percentage of unreacted material within the system that, however, guarantee a similar compressive strength due to the reduction of not-desired shrinkage phenomenon. Regarding the acid geopolymeric pastes, the values obtained for the compressive strength were approximately 29 MPa for MKHP and 63 MPa for RMptMKHP, whereas the RMtqMKHP sample failed the test under 0.6MPa pressure. This is due to the collateral reaction of the NaOH and the hydroxyl phases (sodalite and gibbsite), widely present in the starting RM, with phosphoric acid and the evolution of CO_2 from the carbonate species.

The treatment of RM powders with hydrochloric acid (HCl) eliminates sodalite and calcite phases solubilizing also the hydroxides, significantly improving the mechanical performance of the sample (RMptMKHP), with a compressive strength values strongly higher than all the other studied geopolymers.

4. Conclusions

The aim of this work is to valorise RM waste. Specifically, it is used, in combination with Mk, for the synthesis of alkaline and acid geopolymers according to the proposed method.

The process we developed solves the rheological and activation problems both for alkaline and acidic geopolymer pastes. To increase by pretreatment with hydrochloric acid.

From the mineralogical and morphological characterization, it emerges that it was possible to observe the formation of a partially activated phase for RM-MK geopolymers due to the presence of crystalline phases that limit the geopolymerization reaction and simultaneously the shrinkage phenomena.

As a results of these, the compressive stress tests show that the addition of RM leads to an improvement in mechanical properties, suggesting its use in building applications. Further studies on geopolymers will be conducted performing LCA evaluations before their possible use as alternative technological materials to those commonly available on the market.

References

Bolden J. (2013) Utilization of recycled and waste materials in various construction applications. *American Journal of Environmental Science*, 9, 14-24.

Davidovits J. (2020) Geopolymer Chemistry and Applications. *Saint-Quentin, Institut Geopolymère, France.*

Gelencser A. (2011) The red mud accident in Ajka (Hungary): characterization and potential health effects of fugitive dust. *Environmental Science & Technology*, 45, 1608-1615.

Kumar, A. (2021) A review on the utilization of red mud for the production of geopolymer and alkali activated concrete. *Construction and Building Materials* 302, 124170.

Power G. (2011) Bauxite residue issues: I. Current management, disposal and storage practices. *Hydrometallurgy*, 108, 33-45.

Ren B. (2021) Eco-friendly geopolymer prepared from solid wastes: a critical review. *Chemosphere*, 267, 128900.
Ricciotti L. (2023) Eco-design of geopolymer-based materials recycling porcelain stoneware wastes: a life cycle assessment study. *Environment, Development and Sustainability*, 26, 1573-2975.
Zhang P. (2020) Fabrication and engineering properties of concretes based on geopolymers/alkali-activated binders - a review. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120896.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20332

Il Fortino Lorense a Forte dei Marmi: caratterizzazione petrografica dei materiali e tecniche di restauro

Maria Scalici[a], Angela Di Paola[b], Sara Garuglieri[c], Irene Nizzi[d]

[a] Red Studio Società di Ingegneria s.r.l,, Pietrasanta (LU), Italy, info@redstudioingegneria.com, [b] Red Studio Società di Ingegneria s.r.l,, Pietrasanta (LU), Italy, info@redstudioingegneria.com, [c] Red Studio Società di Ingegneria s.r.l,, Pietrasanta (LU), Italy, info@redstudioingegneria.com; [d] Libero Professionista, Pisa, Italy, irene.nizzi@gmail.com

Abstract

The Fortino Lorenese in Forte dei Marmi, a town sited in the province of Lucca, was built in the 18th century, during the Grand Duchy of Pietro Leopoldo d'Asburgo Lorena. Realised to play the double role of coastal defense tower and customs, it is composed by a three-floor, plastered building sided by a rough bastion with rounded corners, oriented towards the sea. During the quadriennium 2020-2023, a two-phase project was undertaken to restore its external surfaces. The first phase of the project was devoted to the characterisation of the bedding mortar of the brick vestment by conducting a petrograhical analysis on a wall sample and a classification of the lithotypes employed to construct the marble elements of the bastion. Such a characterisation allowed the state of conservation of the Fortino Lorenese to be established by clarifying the nature of the degredation mechanisms acting on the brick and stone rough surfaces. During the second phase of the project, the study of the processes that altered the plastered surfaces and stone cornices of the fortress revealed that their state of conservation was compromised by the restoration carried out in 2013, during which materials whose physical properties were not compatible with the ones of the support were employed. A thorough study of the colours that have been employed to paint the Fortino Lorenese across its history has led to novel hypotheses about its appearance at the time of the construction. The choices animating the project couldn't ignore the reputation gained by the fortress as Palazzo Littorio, leading us to opt for not bringing the building back to any of its previous versions, as this would have canceled the traces of its passage through time.

Keywords: fortlet, mineral-petrographic analysis, degradation processes, analytical historical research.

1. Introduzione

Il presente contributo descrive il percorso conoscitivo e progettuale del restauro delle superfici esterne del Fortino di Forte dei Marmi, conosciuto anche come Forte Lorenese, oggi di proprietà comunale e adibito a Museo della Satira e della Caricatura.

L'edificio è composto due corpi di fabbrica addossati: un edificio di tre piani fuori terra con copertura a padiglione, destinato, in origine, agli alloggi della Guardia di Marina, incaricate della sorveglianza della costa, e un bastione a scarpa dagli angoli smussati rivolto verso il mare, dotato di una terrazza semi-coperta per gli avvistamenti e l'artiglieria.

Attualmente il Fortino si presenta con il corpo di fabbrica principale intonacato e il bastione verso il mare con laterizi faccia vista (Fig. 1). In laterizio sono anche i balconi aggiunti durante il periodo fascista, mentre il portale aggettante, anch'esso aggiunto in quel periodo, è stato rimosso per ripristinare un ingresso con cornice in marmo bianco di carrara, su modello di quelle esistenti. Per tale motivo la cornice di ingresso risulta nuova e lavorata a macchina.

BY-NC-SA



Fig. 1- Fortino Lorenese (Angela Di Paola, 2020).

Nel quadriennio 2020-2023 è stato oggetto del progetto di restauro delle superfici esterne, il quale si è articolato in due macro-fasi distinte, una per ciascuno dei corpi di fabbrica che lo compongono. Nella prima macro-fase, (progetto eseguito nel 2020), si è intervenuti sul bastione in laterizio, eseguendo operazioni di pulitura, consolidamento e integrazione delle mancanze. Nella seconda macro-fase, (progetto del 2022), ci si è concentrati sulle superfici intonacate, con la rimozione di intonaci non idonei, da sostituire con materiali traspiranti e desalinizzanti, oltre a trattamenti conservativi sugli inserti in marmo e sulle inferriate.

1.1. Premesse metodologiche

Il progetto di restauro del Bastione del Forte Lorenese a Forte dei Marmi segue principi metodologici fondati su tre criteri essenziali come da manuale: il "minimo intervento", volto a preservare il tessuto originale senza alterare la valenza storica del monumento; la "reversibilità degli interventi", che garantisce la possibilità di rimuovere le integrazioni da introdurre durante il restauro senza danneggiare il manufatto; e la "compatibilità fisico-chimica" dei materiali da utilizzare con quelli antichi. Questi principi sono stati applicati alla progettazione per assicurare che le operazioni di restauro rispettassero l'integrità e l'autenticità dell'opera. Per sviluppare correttamente il progetto di intervento in tale direzione, è stato fondamentale condurre accurate indagini conoscitive sui materiali, tra cui analisi petrografiche e mineralogiche, volte a identificare le caratteristiche dei laterizi e delle malte originali. Queste indagini diagnostiche hanno fornito le basi per comprendere i fenomeni di degrado e per sviluppare strategie di intervento adeguate.

1.2. Inquadramento storico dell'opera

Costruito per esigenze militari, doganali e sanitarie tra il 1785 e il 1788, secondo uno schema che divenne subito un modello per le successive fortificazioni costiere (1) il Forte dei Marmi era collocato in origine a metà strada tra il Fortino di Motrone e quello di Cinquale, oggi non più esistenti, in prossimità di uno scalo marittimo utilizzato da secoli per il commercio del marmo,

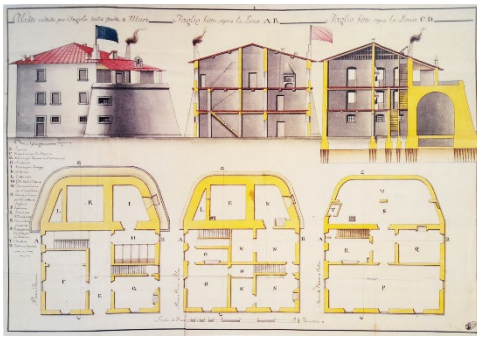


Fig. 2- Particolare del progetto del nuovo Forte allo Scalo dei Marmi (A. Dolcini, 1785, Archivio di Stato di Firenze).



Fig. 3- Il Fortino nel 1905, prima delle modifiche di epoca fascista. Si nota il contrasto tra il colore del bastione e quello dell'intonaco (Forte dei Marmi – Il Forte, 1905, Biblioteca Comunale L. Quartieri Forte dei Marmi).

lo Scalo dei Marmi, presso il quale era già presente un deposito per la merce, il Magazzino dei Marmi. La difesa della costa era affidata alla Guardia di Marina, ovvero ai soldati a cavallo (cavalleggeri) che presidiavano il litorale percorrendo la stradina parallela alla costa. Durante il governo di Pietro Leopoldo, nonostante il ridimensionamento della flotta e dell'esercito, il sistema delle difese costiere fu rafforzato per garantire la Toscana dalla minaccia dei "barbareschi" e dalle ultime pestilenze, oltre che per combattere la piaga del contrabbando. Secondo quanto risulta dai disegni di progetto (2) al piano terra era collocato il magazzino della dogana, la stanza per le persone in contumacia, la scuderia e, nel bastione, la stanza per riporre i foraggi, la cisterna e il cisternino; al primo piano c'era l'alloggio del castellano e della guardia della dogana e, al piano superiore, la caserma, la cucina e la stanza per il cannoniere. Sopra al bastione, al piano primo, c'era la piattaforma coperta per le batterie, una batteria scoperta e la cosiddetta *S. Barbera* (deposito delle munizioni). Sopra il tetto, previsto in legname di abete con embrici e tegole di Camaiore, era collocato il campanile. Le finestre erano in legno di castagno e gli esterni completamente intonacati, compreso il bastione verso il mare, coerentemente con la funzione protettiva dell'intonaco stesso, da sempre considerato un elemento di sacrificio a protezione delle murature e, in particolare, dei giunti di malta, soprattutto in presenza di un ambiente aggressivo come quello costiero (3). Il colore dell'intonaco nelle tavole, grigio o bianco sporco, se da una parte può essere legato a una semplificazione grafica, dall'altra è possibile che sia quello effettivamente previsto, dal momento che il tetto è rappresentato in modo realistico,



color mattone e con il dettaglio delle tegole, così come realistici sono la bandiera e l'effetto del fumo dal comignolo (Fig. 2).

Dalle vedute e dai rilievi storici delle altre fortificazioni costiere risulta che i colori utilizzati per questa tipologia di edifici erano il bianco, il grigio o il giallo chiaro (4). I fortini "gemelli" di Castagneto e Bibbona presentano ad oggi un intonaco giallo chiaro nella parte abitativa e una cortina faccia vista nel bastione verso il mare. È probabile che l'attuale colore sia frutto della continua riproposizione di un intervento di fine Ottocento, epoca in cui l'uso del giallo chiaro era

Fig. 4- Il Fortino nel 1936 dopo la trasformazione in Palazzo Littorio. Si nota l'aggiunta del balcone e dell'aggetto di ingresso sulla piazza (Casa sel Littorio, 1936, Biblioteca Comunale L. Quartieri Forte dei Marmi).

molto diffusa, o addirittura del colore originale. Nel XIX secolo, lo scalo di Forte dei Marmi diventò nevralgico in tutta la Versilia, e a partire dagli anni Venti dell'Ottocento, furono concessi terreni con la facoltà di costruire nelle vicinanze del Forte magazzini e case, destinate anche ad accogliere i bagnanti estivi. Il Forte allo Scalo dei Marmi perse via via la sua funzione militare a favore di quella doganale e, con l'Unità d'Italia, passò sotto il controllo del Ministero delle Finanze. Ancora nei primi anni del XX secolo, già rimaneggiato sia all'interno che all'esterno, il Fortino si presentava con una torre sul lato di levante, poi demolita, e con il bastione di "muratura rossastra" (Bacchelli, 1963), quindi già privo dell'intonaco originario. Osservando le foto storiche in bianco e nero tra fine Ottocento e primi anni del Novecento, il colore del Forte dei Marmi appare chiaro, in contrasto con quello della muratura del bastione, quindi in linea con l'intervento di fine Ottocento ipotizzato per i due fortini gemelli, avvenuto forse in occasione del passaggio di molte di queste strutture alla Guardia di Finanza (Fig. 3). Nel 1928 il fabbricato subì

una pesante trasformazione per essere destinato a "Casa del Fascio" o "Casa del Littorio". Tra le modifiche: una diversa strutturazione del tetto, un complessivo innalzamento dell'edificio e l'inserimento di balconi, uno nella parte anteriore e due all'ingresso dell'edificio, con un aggetto dell'ingresso sulla piazza. È a questo intervento che sembra risalire l'attuale colore rosso, in linea con l'uso, molto diffuso in quel periodo, del rosso pompeiano e del rosso mattone nelle facciate degli edifici pubblici (Fig. 4).

A seguito dei danni subìti durante la Seconda Guerra Mondiale, i cui segni sono ancora oggi visibili sul toro marmoreo e sulla muratura del bastione, nel 1946 il Fortino venne ristrutturato con opere interne ed esterne, tra cui la ricostruzione del tetto, e trasformato in "Palazzo del Popolo". Nel 1957 divenne Ufficio Postale subendo ulteriori trasformazioni, in particolare la demolizione dell'aggetto di ingresso alla piazza inserito nel 1928.

Infine, nel 1998 l'edificio passò dalle Poste Italiane SPA al Comune di Forte dei Marmi che decise di destinarlo a spazio espositivo dopo una generale ristrutturazione.

2. Caratterizzazione dei materiali nelle due fasi del progetto di restauro

La caratterizzazione dei materiali utilizzati nella costruzione e nei successivi interventi del Fortino Lorenese è stata centrale per la definizione delle strategie di restauro. Entrambe le fasi del progetto hanno visto l'impiego di avanzate tecniche diagnostiche, tra cui analisi mineralogiche e petrografiche condotte su campioni prelevati dalle diverse superfici del bastione e del fabbricato principale. Queste analisi hanno permesso di identificare le composizioni originali dei materiali e di valutarne il livello di degrado, evidenziando al contempo gli effetti di interventi successivi, spesso realizzati con materiali di matrice cementizia non compatibili che hanno accelerato i processi di degrado.
Nella prima fase, l'attenzione si è focalizzata sulle superfici laterizie e lapidee del bastione e sulle malte, con prelievi mirati su aree particolarmente esposte agli agenti atmosferici così da comprendere la loro composizione ed i processi di degrado in essere. Nella seconda fase, l'indagine si è spostata sulle superfici intonacate del fabbricato principale, comprese quelle interessate dagli ultimi restauri per la definizione dei materiali utilizzati. Anche in questo caso, le discrepanze tra i materiali originari e quelli introdotti negli interventi più recenti hanno messo in evidenza le problematiche legate all'incompatibilità chimica e fisica, che hanno influenzato negativamente lo stato di conservazione complessivo.
L'analisi materica ha quindi guidato ogni scelta relativa al nuovo progetto di restauro, assicurando che le sostituzioni e le integrazioni fossero compatibili dal punto di vista fisico-chimico e rispettassero l'autenticità del monumento.

2.1. Fase 1. Studio delle superfici laterizie e lapidee del bastione

La caratterizzazione delle malte di allettamento del paramento in mattoni, ottenuta mediante l'analisi minero-petrografica su campioni prelevati, e il riconoscimento dei litotipi utilizzati per la costruzione degli elementi in marmo del bastione hanno sostenuto la prima fase di progettazione, rendendo possibile lo studio delle superfici laterizie faccia a vista e lapidee, al fine di definire lo stato conservativo e la natura dei meccanismi di degrado, in base alle caratteristiche macroscopiche dei materiali.
In particolare, sono state condotte analisi petrografiche al microscopio ottico polarizzatore, su sezioni sottili, per determinare la composizione degli impasti e dei depositi superficiali.
I campioni di malta e laterizio sono stati prelevati principalmente dalle porzioni più esposte, in particolare dal fronte nordovest, dove i fenomeni di erosione, fratturazione e decoesione erano più pronunciati.
I risultati delle analisi petrografiche hanno rivelato significative differenze tra i campioni prelevati.
Il primo campione di malta (Fig. 5a), proveniente da una zona che aveva subito interventi successivi alla costruzione del forte, ha mostrato una composizione caratterizzata da legante a base di calce con inclusioni cementizie, in particolare frammenti di clinker. Questo tipo di malta, con una componente cementizia, ha dimostrato una minore compatibilità con i materiali originali, risultando soggetta a microfratture e disgregazione.
Il punto di prelievo corrisponde a una zona che ha subito interventi successivi alla costruzione del forte, motivo per cui la composizione risulta differente dal secondo campione di malta.

Il secondo campione di malta (Fig. 5c), prelevato da una zona meno rimaneggiata, al contrario del primo, ha mostrato una composizione più tradizionale, con una base di calce aerea arricchi-

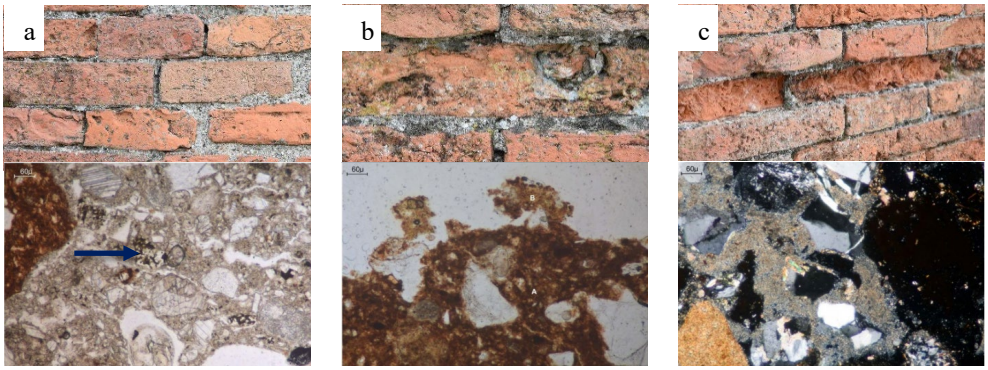


Fig. 5- Aree di prelievo dei campioni e corrispettive microfotografie delle sezioni sottili a) malta con frammento di clinker cementizio (indi; b) frammento di laterizio con patina scura; c) malta con patina biologica; (A. Di Paola, M. Spampinato, 2020).

ta con pozzolana per conferire idraulicità all'impasto. Questa malta originale, sebbene degradata dalla presenza di patine biologiche che hanno contribuito alla sua disgregazione, presentava una maggiore omogeneità e coesione rispetto al primo campione.

Il terzo campione (Fig. 5b), prelevato sul laterizio, ha rivelato matrice argillosa vetrificata con una struttura a grana fine (siltoso), prevalentemente costituita da quarzo e feldspato con probabile presenza di smagrante sotto forma di granuli sabbiosi. La presenza di aggregati macroscopici, probabilmente dovuta alla tecnica di produzione, ha reso i mattoni particolarmente vulnerabili ai processi di degrado. Il campione prelevato, pur presentando una forte erosione superficiale e attacchi biologici, ha permesso di ipotizzare che il tipo di laterizio utilizzato fosse di una qualità inferiore, con una cottura irregolare e una porosità elevata benché in quel contesto non fu possibile avanzare ipotesi precise sul tipo di forno utilizzato per la cottura dei mattoni, poiché il campione prelevato fu ritenuto insufficiente. Informazioni riguardo la cottura e la provenienza della terra utilizzata per la produzione dei mattoni avrebbero potuto meglio spiegare la presenza massiccia di aggregati grossolani, un aspetto tecnico-costruttivo che ha accelerato i processi di degrado del paramento lapideo rendendolo particolarmente suscettibile all'assorbimento di umidità e ai cicli di gelo-disgelo. Le differenze tra i campioni hanno evidenziato l'effetto negativo innescato dai vari rimaneggiamenti ed interventi successivi, i quali hanno introdotto materiali non compatibili con quelli originali, accelerando i fenomeni di degrado. La comprensione di queste differenze ha permesso di orientare le scelte di restauro verso materiali che potessero replicare le caratteristiche fisico-chimiche dei materiali originari, garantendo al contempo una maggiore durabilità nel tempo.

2.2. Fase 2. Studio delle superfici intonacate e delle cornici lapidee del fabbricato

La seconda fase di progettazione ha riguardato le superfici intonacate e le cornici lapidee del fabbricato. In questo caso, lo studio dei processi di alterazione delle superfici ha evidenziato come lo stato di conservazione sia stato fortemente condizionato dall'ultimo intervento di restauro del 2013, che ha comportato l'uso di materiali con proprietà fisico-tecniche non compatibili con il supporto originario.

Il Forte presenta uno stato conservativo caratterizzato da degradi e alterazioni che riguardano principalmente i materiali lapidei e l'intonaco di rivestimento. Dall'analisi delle superfici esterne, condotta attraverso rilevamenti visivi e sulla base delle caratteristiche macroscopiche dei materiali e dei fenomeni di degrado, si può affermare che la natura del degrado sia fondamentalmente di tipo chimico, innescato da reazioni tra i materiali e agenti atmosferici, inquinanti o contaminanti dell'atmosfera, oltre che dalla presenza di acqua assorbita in vari modi. A ciò si aggiunge un degrado di tipo fisico-meccanico, riconducibile a eventi termici, trasferimenti d'acqua,

assorbimento di energia radiante, azione eolica di abrasione e rimozione del materiale, nonché dall'azione degli aerosol marini. Gli effetti di questi processi chimici si manifestano principalmente con una variazione della resistenza del materiale, con la formazione di estesi fenomeni di microfessurazioni che interessano l'intero strato di intonachino. Questi fenomeni, insieme alla cristallizzazione, alla modificazione chimica di composti organici e alla formazione di nuovi composti, hanno portato al distacco e, in alcuni casi, alla perdita dello strato di finitura dell'intonachino. I processi fisici includono invece fratture, fessurazioni, deformazioni, porosità, disgregazioni e consunzioni superficiali.

Lo stato di conservazione della pietra risulta complessivamente migliore, anche tenendo conto delle numerose trasformazioni subite dall'architettura, a partire da quando l'edificio divenne Casa del Littorio fino agli ultimi interventi che lo hanno trasformato nella sede del Museo della Satira e della Caricatura.

Gli intonaci cementizi, introdotti negli interventi precedenti nella fascia basamentale, in particolare nel 2013, hanno sostituito i materiali tradizionali, causando problemi di compatibilità fisico-chimica con il supporto murario.

Gli intonaci cementizi, caratterizzati da un'elevata impermeabilità, presentano una scarsa traspirabilità rispetto agli intonaci tradizionali a base di calce come ampiamente risaputo. La scarsa traspirabilità ha portato all'accumulo di umidità nelle murature, favorendo fenomeni di risalita capillare e aumentando la presenza di sali solubili aggravando al contempo la condizione di degrado del supporto murario sottostante. L'incompatibilità tra i materiali moderni e quelli storici è stata ulteriormente confermata dai saggi di assorbimento d'acqua e dalle prove di porosimetria a mercurio, che hanno mostrato una significativa differenza nelle capacità di gestione dell'umidità tra le diverse sezioni. Questi fattori hanno innescato il distacco di ampie porzioni di intonaco, soprattutto nelle aree a contatto con il terreno, e hanno provocato macchie di umidità e la comparsa di attacchi biologici, come muffe e alghe.

Nelle zone più alte dell'edificio, esposte all'azione diretta degli agenti atmosferici, si è riscontrato un dilavamento dell'intonachino cementizio, con conseguente erosione superficiale, fessurazioni e distacchi (Fig. 6). Tale fenomeno di risalita interessa anche le pareti interne perimetrali, le quali presentano le stesse problematiche identificate all'esterno.

Un'altra componente importante dell'analisi di questo edificio ha riguardato lo studio delle cromie storiche o storicizzate della tinteggiatura mediante ricerca storica analitica, il quale ha portato alla formulazione di ipotesi inedite sull'aspetto del fortino all'epoca della sua costruzione, anche se poi le scelte hanno ripristinato un'immagine già consolidata dell'edificio come descritto in seguito.

3. Proposta di intervento

Al fine di formulare una proposta di intervento basata su una corretta valutazione diagnostica del manufatto, sono state elaborate riflessioni sulla fenomenologia del degrado e sulle varie patologie riscontrate, con alcune indicazioni sulle possibili cause che hanno determinato i singoli fenomeni, insieme a una descrizione generale dell'entità e della localizzazione degli stessi.



Fig. 6- Intonaco cementizio nella fascia bassa dell'edificio e fenomeni di degrado correlati (A. Di Paola, 2022).

3.1. Fase 1. Intervento sul bastione in laterizio

Il primo intervento del 2020 previde una serie di operazioni mirate alla conservazione delle superfici in laterizio e in marmo mediceo, con l'intento fermare i fenomeni di degrado in corso senza alterarne l'integrità storica. Questa fase ha richiesto una particolare riflessione sulle modalità di consolidamento e modalità di rintegrazione delle mancanze soprattutto per riguardo al paramento in laterizio.

In primo luogo, sono state effettuate delle prove preliminari di assorbimento e dei saggi di permeabilità al vapore per verificare le condizioni delle superfici prima dell'intervento. Successivamente, è stato applicato un consolidante a base di silicato di etile in alcool isopropilico, che ha dimostrato un'elevata

compatibilità con i materiali originali, grazie alla sua capacità di penetrare in profondità nei pori senza alterare la traspirabilità delle superfici in pietra e laterizio. L'approccio alle parti da integrare ha seguito le analisi granulometriche, che hanno guidato la scelta degli inerti, garantendo la coerenza estetica e funzionale con le malte storiche. Ciò ha permesso di replicare le caratteristiche originali del laterizio con inerti selezionati e malte compatibili a base di calce idraulica naturale.



Fig. 7- Facciata Nord – Est: a sinistra ortofoto rappresentante lo stato di fatto; a destra foto-simulazione dello stato di progetto (Elaborato grafico, Red Studio Società di Ingegneria, 2022).

3.2. Fase 2. Intervento sulle superfici intonacate

La seconda fase di progetto, eseguita nel 2022, ha coinvolto il restauro delle superfici intonacate e delle cornici in marmo, con un focus sulla rimozione degli strati di intonaco cementizio non compatibili, che erano stati la causa principale dei fenomeni degrado in essere. L'intonaco cementizio è stato sostituito con un intonaco a base di calce idraulica traspirante e desalinizzante in modo da garantire la compatibilità con i materiali storici e una migliore gestione dell'umidità, contribuendo alla conservazione a lungo termine delle murature soprattutto nella fascia basamentale.

Le malte per le nuove stuccature sono state appositamente formulate seguendo i risultati delle analisi mineralogiche e chimiche, per replicare le caratteristiche fisiche e cromatiche degli intonaci storici. Alla luce di quanto ricostruito dalla ricerca storica, e come anticipato precedentemente, le scelte progettuali, hanno dovuto necessariamente porre particolare attenzione all'immagine consolidata dell'edificio, ovvero quella caratterizzata dal passaggio dell'edificio a sede del Palazzo Littorio. La scelta delle tinteggiature è stata guidata quindi dal mantenimento dell'immagine dell'edificio così come ci è pervenuto oggi, seppur lontana dagli altri fortini simili. È stato ritenuto impossibile, infatti, riportare il fabbricato a una qualsiasi delle sue "versioni" precedenti, sia per mancanza di informazione che, soprattutto, per il rischio di cancellare le tracce del suo passaggio attraverso la storia. In conclusione, in accordo con la Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le province di Lucca e Massa Carrara è stata individuato il colore rosso porfido rifacendosi a quello utilizzato durante il periodo fascista (Fig. 7).

4. Conclusioni

Nel contesto del restauro architettonico, la ricerca storica si rivela fondamentale per guidare le decisioni progettuali, soprattutto quando si affrontano edifici che hanno subito trasformazioni significative nel corso dei secoli.

Il caso del Forte Lorenese a Forte dei Marmi ne è un esempio emblematico; un caso in cui le indagini storiche e artistiche hanno permesso di avanzare ipotesi riguardanti l'originale aspetto dell'edificio, diverso dall'attuale, e forse caratterizzato da tinte chiare vicine al grigio, come suggerito dalle prime rappresentazioni grafiche dell'epoca.

La ricerca e le indagini effettuate hanno anche evidenziato l'impossibilità di restituire con certezza questo aspetto originale, in quanto gli interventi successivi, soprattutto durante il periodo fascista, hanno compromesso in maniera indelebile la struttura e sul suo aspetto visivo.

La scelta operata in fase di restauro di mantenere le tonalità rosse attualmente presenti, pur discostandosi da quelle ipotizzate per l'edificio settecentesco, è stata guidata dalla volontà di conservare l'immagine storicizzata e consolidata dell'edificio. Tale scelta è coerente con l'idea di proteggere sia l'integrità materiale del bene, che la sua storia stratificata, che ha visto l'edificio evolvere da bastione difensivo a Casa del Littorio fino a spazio museale. Abbandonare questa immagine consolidata avrebbe significato cancellare le tracce di una parte importante della

sua storia, che, pur distante dalla concezione originale, è ormai parte integrante del patrimonio culturale del Forte. Ad ogni modo i risultati ottenuti rappresentano un contributo importante in quanto hanno consentito di ampliare le conoscenze sulle stratificazioni storiche e culturali del monumento, fornendo una base solida anche per gli interventi futuri.

Le analisi diagnostiche sui materiali hanno permesso di comprendere la composizione originaria e i processi di degrado in atto, guidando gli interventi di restauro così da garantire la compatibilità fisico-chimica dei nuovi materiali proposti con quelli storici e/o storicizzati.

Ogni restauro diventa così un volano per lo sviluppo integrato, collegando le radici storiche del territorio con le sue prospettive future.

Guardando agli sviluppi futuri, si sottolinea l'importanza di una pianificazione attenta della manutenzione da parte dell'Amministrazione Comunale mediante un ciclico il rinnovo dei protettivi, che hanno comunque una durabilità limitata nel tempo, insieme ad un sistema di monitoraggio continuo.

In particolare, sarebbe auspicabile l'adozione di controlli stagionali soprattutto per verificare la presenza di umidità di risalita, così da prevenire fenomeni di degrado e pianificare eventuali interventi conservativi in modo tempestivo ed efficace. Questo approccio integrato potrebbe rappresentare un modello di gestione sostenibile e replicabile per altri edifici storici.

In conclusione, appare evidente che senza un'accurata fase conoscitiva, ogni intervento rischierebbe di compromettere l'autenticità del bene, vanificando non solo gli sforzi di conservazione a lungo termine, ma anche le opportunità che la valorizzazione del patrimonio può offrire alle generazioni presenti e future.

Note

(1) In particolare, i Forti di Bibbona e Castagneto presentano notevoli somiglianze con il Forte allo Scalo dei Marmi.

(2) Il progetto di costruzione, conservato presso l'Archivio di Stato di Firenze, redatto dal tenente ingegnere A. Dolcini nel 1785, venne ideato dal tenente maresciallo conte Federico Barbolani di Montauto, dal 1782 Governatore di Livorno e Generale Maggiore di tutte le Piazze, Guarnigioni e Presidi del Granducato.

(3) All'azione della salsedine sembra attribuibile anche la rapida scomparsa dell'intonaco dal bastione, non solo del Forte dei Marmi, ma anche delle altre fortificazioni costiere.

(4) Si vedano: O. Warren, Raccolta di piante delle principali città e fortezze del Gran Ducato di Toscana, 1745; P. Conti, "Piante e vedute delle fortificazioni costiere della Maremma lorenese, 1793.

Bibliografia

Arizzi, A. and Cultrone, G., (2012) The influence of aggregate texture and its physical and mechanical properties on the behaviour of lime-based mortars. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 45(4), pp.419-429. DOI: 10.1144/qjegh2011-073.

Bacchelli, R. (1963) *Il fiore della Mirabilis.* Milano, Arnoldo Mondadori.

Belli, L. and Nepi, C. (2005) *Il Forte allo Scalo dei Marmi. Da presidio costiero a simbolo della città.* Forte dei Marmi, Pacini Editore.

Buselli, F. and Paolicchi, S.D. (2009) *Il Forte dei Marmi, forti e fortificazioni del litorale versiliese.* Lucca, Pacini Editore.

Cultrone, G. and Sánchez-Ibáñez, C., (2018) Consolidation with ethyl silicate: how the amount of product alters the physical properties of the bricks and affects their durability. *Materiales de Construcción*, 68(330), e159. DOI: 10.3989/mc.2018.05517.

Giannelli, G. (1970) *La Bibbia del Forte dei Marmi.* Roma, Versilia Oggi.

Macchiarola, M., Ercolani, G., Venturi, I., Montaleone, F. & Ruffini, A., (2007) Calci idrauliche naturali (NHL) per malte da restauro. *Conservation Science in Cultural Heritage*, 7, pp.91–106. Available at: https://iris.cnr.it/handle/20.500.14243/101722.

Manetti, R. (1991) *Torri costiere del litorale toscano. Loro territorio e antico ruolo di vigilanza costiera.* Firenze, Alinea.

Sassoni, E. & Franzoni, E., (2014) Fired-clay bricks consolidation by ethyl silicate: durability to salt crystallization. In: De Clercq H. (eds) *International Conference on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures (14-16 October 2014)*. Brussels.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20333

Conservation of historical buildings: use of traditional and innovative consolidants for natural stones

Alessia Verniero[a], Ilaria Capasso[b], Domenico Caputo[c], Barbara Liguori[c]

[a] University of Rome La Sapienza, Department of Science of Antiquities, Roma, Italy, alessia.verniero@uniroma1.it, [b] University of Chieti-Pescara Gabriele d'Annunzio, Department of Engineering and Geology, Pescara, Italy, ilaria.capasso@unich, [c] University of Naples Federico II, Department of Chemical, Materials and Industrial Production Engineering, Napoli, Italy, domenico.caputo@unina.it

Abstract

Over the last century, the decay of heritage buildings significantly increased due to rising air pollution and climate change, which accelerated and intensified the deterioration mechanisms of natural stones. So, the increasing concern about the unavoidable degradation of the cultural heritage, led researchers to focus on innovative and effective solutions for the conservation of the historical patrimony in order to guarantee its fruition. The recovery of physical and mechanical properties of a weathered stone often involves consolidation interventions. Usually, these treatments are carried out applying polymeric compounds in organic solvent or inorganic products. One of the key parameters in the science of conservation is the affinity and compatibility of consolidant with substrate; in this aim, the use of inorganic consolidating products for restoration of natural stones, demonstrated to have much more durability, compatibility with the weathered stones, efficacy and environmental sustainability if compared to the traditional and most widely used organic treatments. Recently, also the utilization of nanotechnology provided an interesting starting point for new promising research based on application of inorganic nanoparticles in the stone conservation. Among the inorganic consolidants, silica-based products, such as sodium or potassium silicate solutions and colloidal suspensions of silica made of nanometric particles, have been widely used on different stone substrates. The consolidating mechanism is due to the formation of amorphous silica, after solvent evaporation, which fills the accessible stone porosity. Also, nanoscale hydroxides, such as Ca $(OH)_2$, $Mg(OH)_2$ and $Ba(OH)_2$ are considered traditional products used as consolidants. The consolidant action in this case, is based on the hydroxides carbonation reaction with the atmospheric CO_2, resulting in carbonates formation. This paper aims to review and compare different consolidating treatments on natural stones by means of innovative inorganic products, assessing their role on the main chemical, physical and morphological properties of substrates.

Keywords: inorganic consolidants, historical buildings, natural stone consolidation.

1. Introduction

Architectural heritage represents an invaluable asset for humanity, a way to save memories, cultural identities, and tangible evidence of the past. Preserving and restoring the built heritage is of crucial importance, not only to preserve collective memory, but also to ensure environmental sustainability and economic development of territories. Stone building heritage is constantly threatened by a multitude of factors that often act synergistically. Geographical location, climate change, exposure to weathering and pollution are just some of the factors that can accelerate the processes of deterioration and the alteration of stone masonry surfaces integrity. In-depth knowledge of the causes and mechanisms responsible for stone

BY-NC-SA

degradation is essential to make a correct diagnosis and to propose a targeted and lasting restoration intervention (Artesani et al., 2020). So, intrinsic factors of the stone, such as mineral composition, pore/capillary structure, etc. have to be considered, together with the extrinsic ones that include environmental conditions (humidity, temperature), biological agents (lichens, mosses, bacteria), and anthropogenic actions, such as vibrations, shocks, improper maintenance and restoration interventions. Also, more specific parameters, like the position and orientation of the stones in the building, and their possible interaction with other materials should also be evaluated. Water plays a fundamental role in degradation processes, promoting chemical reactions, the transport of altering substances, and salt crystallization phenomena. So, the ability to reduce water penetration into natural stone is a key feature of any consolidation treatment.

In the last decades, scientific community focused on selecting compatible consolidation products capable of restoring the cohesion and strength of decayed stone, preventing or further delaying the deterioration of natural stone materials, and without significantly altering the aesthetic appearance of stone surfaces (Iucolano, 2019). The term "consolidation" refers to the set of techniques, practices and operations aimed at increasing the strength of a specific material. In the field of stone consolidation, the aim is to restore the grain-to-grain cohesion of the damaged stone through the application of organic polymers, alkoxysilanes or inorganic consolidating compounds that are chemically compatible with the stone substrate. This paper aims to review the recent scientific literature regarding the effectiveness of different consolidation treatments on natural substrates using innovative inorganic products, evaluating their role on the main chemical, physical, and morphological properties of the substrates, to show prospects, challenges, and limitations for future research activities in this area.

2. Natural stone materials in historic buildings

The presence of natural stone in historic centres is testimony to millennial history in which populations have been able to exploit the unique characteristics of this material to create buildings of extraordinary beauty and durability. The reasons that led to the widespread use of natural stone in historic buildings are linked to many historical factors, particularly its availability. Having an easily accessible resource, allowed men to accelerate construction times and reduce the risks associated with transport over long distances. Generally, historic buildings in a specific area may be dominated by a single type of stone or a variety of stones, leading to the development of local building techniques. Neapolitan yellow tuff and Campanian Ignimbrite from Campania region, Vicenza stone from Veneto region, and Pietra Gentile from Puglia region represent some Italian examples of local stone use. The most widespread historical natural stone are divided into silicate stones (granite, sandstone, tuff, etc.) and carbonate stones (marble, limestone, etc.) (Tab. 1). To consolidate stones, it is essential to get to know their chemical nature. Moreover, several intrinsic characteristics of stone, such as grain size, pore distribution and, above all, the shape of the stone void, fissure-shaped and pore-shaped, influence the effectiveness of different consolidants (Sena Da Fonseca et al., 2022). Stones with fissure-shaped voids (an elongated and narrow discontinuity) can absorb small amounts of consolidant.

3. Consolidants used in conservation science

In conservation, chemical affinity should be the first selection criterion of the consolidant for a specific stone (Delgado Rodrigues and Ferreira Pinto, 2016).

The consolidant should be able to establish bridges along the narrow cracks and accumulate on the connections between adjacent grains to prevent excessive pore clogging (Ruedrich, Weiss and Siegesmund, 2002). Unfortunately, in recent decades, the use of incompatible materials in the field of restoration has been wide and uncontrolled, causing often irreparable damage to our historical heritage and contravening the architectural restoration principles of compatibility, reversibility and minimum intervention. Over time, different chemicals and compounds have been used to consolidate and protect different varieties of stone substrates (Sena Da Fonseca, 2023). Traditionally, organic polymers have been used for stone consolidation. In the scientific literature, research has been conducted to support the use of acrylic and epoxy resins as consolidation products (Ginell and Coffman, 1998).

STONE MATERIALS	MINERALOGICAL COMPONENTS	DIFFUSION AREA	TYPE OF DETERIORATION	
Granite 	Quartz, plagioclase, feldspar and micas (biotite and muscovite)	Galicia, NW Spain	Biological growth, discoloration, carbonate coatings	
Sandstone 	Carbonates, quartz, mica minerals	Portugal	Alveolization, exfoliation, crust	
Tuff 	Phillipsite, chabazite, analcime, feldspars	Naples, Southern Italy	Salt efflorescence, black crusts, flaking, exfoliation	
Marble 	Calcite, dolomite, quartz	Mediterranean area (Italy, Greece)	Alveolization, pouring, black crusts, efflorescence	
Limestone 	Calcite, dolomite, feldspar, quartz	Mediterranean area	Chromatic alteration, black crusts	

Tab. 1- Classification of stone materials according to the mineralogical nature.

However, insufficient attention has been paid to these two types of consolidants due to problems of physical-chemical incompatibility with the substrates. Moreover, the formation of polymeric protective films themselves can obstruct pores, adversely affecting water vapor transport mechanisms (Lazzara and Fakhrullin, 2019).

More recently, research attention has largely focused on inorganic consolidants, particularly silicon-based compounds, especially because they offer a significant opportunity to design consolidants with greater chemical compatibility with the original stone substrates (Otero, Charola and Starinieri, 2022) (Fig. 1).

Numerous studies have shown that Si-based consolidants, such as sodium or potassium silicate solutions, are ideal for silicate stones, as the surfaces are rich in hydroxyls of the constituent minerals. On the other hand, other inorganic options (lime water, nano-lime, etc.) should be more adequate for carbonate stones. In fact, Si-based consolidants have shown low affinity with carbonate stones such as marble and limestone, as they cannot establish appropriate chemical bonds (Pinto and Rodrigues, 2008).

However, one of their drawbacks is the formation of water-soluble salts (e.g. sodium and potassium carbonate) that can be harmful to natural stones, causing efflorescence on their surfaces. Furthermore, inorganic consolidating products have a lower penetration capacity and consequently an insufficient consolidating effect compared to organic products.

In the field of inorganic consolidation products, it has been shown that the use of nanoscale particles has promising advantages in terms of depth of penetration due to the small size of nanoparticles, increased surface area available to react, and a higher reaction rate. Considering the preservation of limestones, nanoscale calcium hydroxide is one of the oldest products used as a consolidant, along with other materials, such as new Mg $(OH)_2$ and $Ba(OH)_2$ nanoparticle-based consolidants (Sierra-Fernandez et al., 2017).

Scientific research on nano-lime began in the 2000s (Otero, Charola and Starinieri, 2022). In recent years, some innovative inorganic products have been explored, including nanoparticle suspensions of different natures, for example, nano-calcite (Valentini et al., 2022), nano-zirconia (Ripoll, Rojo and Ruiz De Argandoña, 2022) and lithium silicate (Colella, Capasso and Iucolano, 2021).

The principles of nano-lime have several similarities with limewater, an aqueous solution of calcium hydroxide Ca $(OH)_2$. In fact, in

addition to supplying calcium hydroxide particles, as happens in lime water, nano-lime based consolidants can promote the deposition of nanometer-sized calcium hydroxide particles into the pore structure of the stone (Borsoi et al., 2016).

Moreover, in nature, there are specific bacteria that contribute to the formation in situ of calcium carbonate, which is subsequently left in the form of calcite that fills the pores and fissures of degraded stone (Daniele et al., 2018).

In the 1990s, the discovery of these bacteria initiated numerous studies on their potential use in the conservation of carbonate stones, but progress is slow because the approach is complex and requires a significant number of experts.

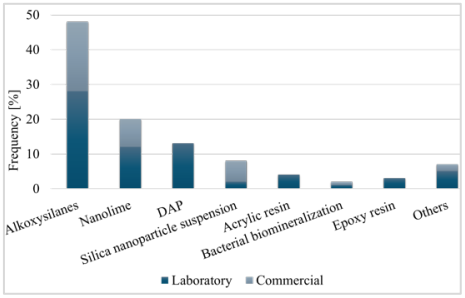


Fig. 1 - Distribution of the most used consolidants in stone consolidation. (Sena Da Fonseca, 2023).

4. Methodologies for Consolidating Treatments

The choice of protocol is a fundamental step in the consolidation process. A conscientious choice, based on knowledge of the stone substrates, consolidation products and current standards, is essential to ensure an optimal result in terms of effectiveness, durability, safety and sustainability (Pesce et al., 2019).

Application methods have been categorized into those supplying a continuous fluid flow (immersion, poultice, capillary absorption) and the ones that provide discontinuous flow, such as brushing or spraying (Sena Da Fonseca, 2023) (Fig. 2).

In the field of consolidation, brushing has been the most used application method, probably because it is the most flexible and convenient alternative for on-site situation.

However, when large areas need to be treated, such as entire facades, spraying technique is more frequent and common, because it is a faster method, even if it is less precise.

Part of the product may be dispersed in the air and lost, and the solvent evaporates more easily.

Frequently, capillary absorption and immersion have also been adopted techniques, as they are suitable for analysing the performance of consolidants on a laboratory scale, ensuring the possibility of fair results comparison.

Poultices were used for salt removal and cleaning and also produced satisfactory results in stone consolidation, as good penetration depths were achieved, resulting in significant improvements in mechanical strength (Murru and Fort, 2020).

This method is more suitable for delicate surfaces and when long contact times are required to achieve the optimal impregnation.

The consolidation methods that provide discontinuous flow, can promote surface accumulation of the consolidant and the formation of a surface hard crust. However, such surface overconcentration of consolidant has been reported for acrylics when applied by brush, while for epoxy consolidants, for example, it has been noted mainly by dipping, a method that provides continuous flow (Sasse, 2001).

Rarely nebulization has been used because it is difficult to reproduce, it is not precise and complicates the penetration of consolidants due to excessive solvent evaporation. Runoff and drops were popular among restorers because they facilitate absorption of the product without coming in direct contact with the damaged surfaces and the process is easily mastered (Delgado Rodrigues, 2022).

However, these methods have been sporadically used in the field of consolidation.

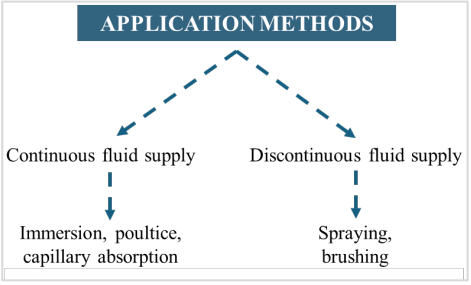


Fig. 2- Fig. 2 - Main application methods used in stone consolidation (Data reported in: Sena Da Fonseca, 2023).

5. Experimental methods used to evaluate efficacy of consolidating treatments

Numerous studies in literature demonstrate improvements in main physical characteristics of natural stone (open porosity, water absorption, capillary absorption, etc.) after consolidation treatment (Tab. 2). Main techniques used to evaluate the effectiveness of consolidation supply information with varying degrees of detail. Compression and bending tests, splitting tests, ultrasonic pulse velocity and dynamic elastic modulus provide information on mass properties. On the other hand, data about surface properties, are obtained through hardness test and peeling test. Some test methods provide sufficient data to assess the strengthening promoted by consolidation treatments, while other experimental tests must be combined to give significative information about the success of the consolidation intervention. Drilling resistance is one of the test methods that provides more in-depth information, recording the evolution of resistance from the surface up to a few centimetres in depth. Although this technique is micro-destructive and guarantees in-situ performance (Tiano et al., 2000), it presents some criticalities, in fact the interpretation of drilling profiles can be complex, limiting the comparability of results obtained under different experimental conditions. The second most used technique is the ultrasonic pulse velocity (Sena Da Fonseca, 2023), which can detect and quantify any alterations in the treated stones due to the presence of consolidating materials in the crack-shaped voids. The thin and elongated shape of the cracks, in fact, induces the ultrasonic waves to pass through them, resulting in an important decrease in their speed, which, on the contrary, tends to increase considerably if the consolidation material that fills the cracks is present. Peel tests are superficial test methods that supply direct information about the surface cohesion of stone, commonly recognized by the amount of material retained on an adhesive tape that is attached and removed from the surface. Inaccuracies in results may be encountered due to surface roughness, adhesive tape characteristics and the operator, such as attaching pressure and the speed of detachment. Hardness tests are also surface test methods and include those based on rebound techniques (Otero, Pozo-Antonio and Montojo, 2021) and those based on indentation techniques such as Vickers hardness tester (Gemelli *et al.*, 2021), Martens sclerometer (Ferreira Pinto and Delgado Rodrigues, 2012), and Shore durometers of different types (Li et al., 2015). These types of tests are quite simple to carried out in situ, but provide information limited to the surface of consolidated stones. Integration with other tests, capable of supplying information more in depth, is necessary. To evaluate the increase in strength due to consolidation actions, the traditionally used tests are the compression and/or bending tests. To date, they are rarely used because of the development of more exhaustive tests.

STONE MATERIAL	CONSOLIDATION PRODUCTS	OPEN POROSITY	WATER ABSORPTION	CAPILLARY ABSORPTION
Vicenza stone	SiO_2 nanoparticles	-5%	-7%	-3%
	Lithium silicate	-5%	-6%	-13%
	Sodium silicate	-12%	-15%	-18%
Campanian Ignimbrite	SiO_2 nanoparticles	-4,6%	-2%	-85%
Pietra Gentile	SiO_2 nanoparticles	-28%	-4%	-11%
Tuff	SiO_2 nanoparticles	-2%	-9%	-10%
	Lithium silicate	-3%	-9%	-8%

Tab. 2- Main physical properties of Vicenza stone, Campanian Ignimbrite, Pietra Gentile, and Tuff, after treatment (Iucolano, 2019; Vasanelli *et al.*, 2019; Colella, Capasso and Iucolano, 2021; Capasso, Colella and Iucolano, 2023).

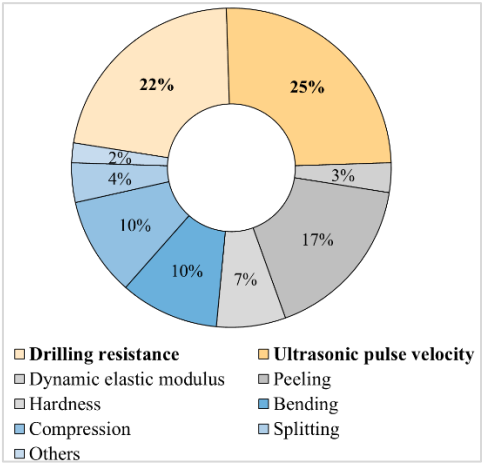


Fig. 3- Distribution of the tests selected when only one is employed. (Sena Da Fonseca, 2023).

A significant proportion of studies use only a single technique to evaluate the effectiveness of consolidation treatments, and in this sense, drilling resistance and ultrasonic pulse velocity are the most used test methods (Fig. 3). However, the use of complementary methods is indispensable for a scrupulous analysis of alterations in depth and for evaluating requirements to be considered in selection a consolidant.

6. Conclusions

The preservation of historic buildings has been a subject of extensive discussion among researchers for many years. The growing attention of 'conservation scientists' is addressed especially towards innovative solutions.

In particular, recent efforts have focused on exploring the use of eco-friendly and more compatible products for natural stones consolidation. In this aim, the detailed overview, reported in the paper, provides interesting insights into the beneficial effects of the currently most used products and treatments to consolidate the common natural stones present in the historic buildings.

Moreover, the review of the different experimental methodology, necessary for the evaluation of the efficacy of consolidation treatments, gives a precise idea of the possible improvement achievable in terms of chemical-physical properties of natural substrates.

References

Artesani, A. et al. (2020) 'Recent Advances in Protective Coatings for Cultural Heritage–An Overview', *Coatings*, 10(3), p. 217. Available at: https://doi.org/10.3390/coatings10030217.

Borsoi, G. et al. (2016) 'Understanding the transport of nanolime consolidants within Maastricht limestone', *Journal of Cultural Heritage*, 18, pp. 242–249. Available at: https://doi.org/10.1016/j.culher.2015.07.014.

Capasso, I., Colella, A. and Iucolano, F. (2023) 'Silica-based consolidants: Enhancement of chemical-physical properties of Vicenza stone in heritage buildings', *Journal of Building Engineering*, 68, p. 106124. Available at: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106124.

Colella, A., Capasso, I. and Iucolano, F. (2021) 'Comparison of Latest and Innovative Silica-Based Consolidants for Volcanic Stones', *Materials*, 14(10), p. 2513. Available at: https://doi.org/10.3390/ma14102513.

Daniele, V. et al. (2018) 'Green approach for an eco-compatible consolidation of the Agrigento biocalcarenites surface', *Construction and Building Materials*, 186, pp. 1188–1199. Available at: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.033.

Delgado Rodrigues, J. (2022) 'Stone Consolidation. Between Science and Practice', in F. Gherardi and P.N. Maravelaki (eds) *Conserving Stone Heritage. Cham: Springer International Publishing (Cultural Heritage Science)*, pp. 101–135. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-030-82942-1_4.

Delgado Rodrigues, J. and Ferreira Pinto, A.P. (2016) 'Laboratory and onsite study of barium hydroxide as a consolidant for high porosity limestones', *Journal of Cultural Heritage*, 19, pp. 467–476. Available at: https://doi.org/10.1016/j.culher.2015.10.002.

Ferreira Pinto, A.P. and Delgado Rodrigues, J. (2012) 'Consolidation of carbonate stones: Influence of treatment procedures on the strengthening action of consolidants', *Journal of Cultural Heritage*, 13(2), pp. 154–166. Available at: https://doi.org/10.1016/j.culher.2011.07.003.

Gemelli, G.M.C. et al. (2021) 'Compatibility, effectiveness and susceptibility to degradation of alkoxysilane-based consolidation treatments on a carbonate stone', *Journal of Building Engineering*, 42, p. 102840. Available at: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102840.

Ginell, W.S. and Coffman, R. (1998) 'Epoxy resin-consolidated stone: appearance change on aging', *Studies in Conservation*, 43(4), pp. 242-248. Available at: https://doi.org/10.1179/sic.1998.43.4.242.

Iucolano, F. (2019) 'Suitability of silica nanoparticles for tuff consolidation', *Construction and Building Materials* [Preprint].

Lazzara, G. and Fakhrullin, R.F. (eds) (2019) *Nanotechnologies and nanomaterials for diagnostic, conservation and restoration of cultural heritage*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.

Li, D. et al. (2015) 'Effect of the addition of 3-glycidoxypropyltrimethoxysilane to tetraethoxyorthosilicate-based stone protective coating using n-octylamine as a catalyst', Bulletin of *Materials Science*, 38(1), pp. 49–55. Available at: https://doi.org/10.1007/s12034-014-0795-6.

Murru, A. and Fort, R. (2020) 'Diammonium hydrogen phosphate (DAP) as a consolidant in carbonate stones: Impact of application methods on effectiveness', *Journal of Cultural Heritage*, 42, pp. 45–55. Available at: https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.09.003.

Otero, J., Charola, A.E. and Starinieri, V. (2022) 'Preliminary Investigations of Compatible Nanolime Treatments on Indiana Limestone and Weathered Marble Stone', *International Journal of Architectural Heritage*, 16(3), pp. 394–404. Available at: https://doi.org/10.1080/15583058.2020.1785045.

Otero, J., Pozo-Antonio, J.S. and Montojo, C. (2021) 'Influence of application method and number of applications of nanolime on the effectiveness of the Doulting limestone treatments', *Materials and Structures*, 54(1), p. 41. Available at: https://doi.org/10.1617/s11527-020-01607-4.

Pesce, C. et al. (2019) 'Effectiveness and Compatibility of a Novel Sustainable Method for Stone Consolidation Based on Di-Ammonium Phosphate and Calcium-Based Nanomaterials', *Materials*, 12(18), p. 3025. Available at: https://doi.org/10.3390/ma12183025.

Pinto, A.P.F. and Rodrigues, J.D. (2008) 'Stone consolidation: The role of treatment procedures', *Journal of Cultural Heritage*, 9(1), pp. 38–53. Available at: https://doi.org/10.1016/j.culher.2007.06.004.

Ripoll, A., Rojo, A. and Ruiz De Argandoña, V.G. (2022) 'Evaluation of nanoparticulate consolidants applied to Novelda Stone (Spain)', *Materiales de Construcción*, 72(347), p. e294. Available at: https://doi.org/10.3989/mc.2022.11621.

Ruedrich, J., Weiss, T. and Siegesmund, S. (2002) 'Thermal behaviour of weathered and consolidated marbles', *Geological Society*, London, Special Publications, 205(1), pp. 255–271. Available at: https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2002.205.01.19.

Sasse, H.R. (2001) 'Baudenkmalpflege aus der Sicht des Ingenieurs / Engineering Aspects of IVIonument Preservation', *Restoration of Buildings and Monuments*, 7(2), pp. 197–216. Available at: https://doi.org/10.1515/rbm-2001-5557.

Sena Da Fonseca, B. (2023) 'Current Trends in Stone Consolidation Research: An Overview and Discussion', *Buildings*, 13(2), p. 403. Available at: https://doi.org/10.3390/buildings13020403.

Sena Da Fonseca, B. et al. (2022) 'Ability of novel consolidants to improve cohesion of carbonate stones: Dependence on pore-shape, aging conditions and treatment procedures', *Journal of Cultural Heritage*, 55, pp. 95–106. Available at: https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.02.011.

Sierra-Fernandez, A. et al. (2017) 'New nanomaterials for applications in conservation and restoration of stony materials: A review', *Materiales de Construcción*, 67(325), p. 107. Available at: https://doi.org/10.3989/mc.2017.07616.

Tiano, P. et al. (2000) 'Das Konservieren von Baudenkmalen: eine neue Methode, um die Wirksamkeit einer stein festigenden Massnahme nachzuweisen / The conservation of monuments: A new method to evaluate consolidating treatments', *Restoration of Buildings and Monuments*, 6(2), pp. 133–150. Available at: https://doi.org/10.1515/rbm-2000-5461.

Valentini, F. et al. (2022) 'SiO2 Nanoparticles as New Repairing Treatments toward the Pietraforte Sandstone in Florence Renaissance Buildings', *Crystals*, 12(9), p. 1182. Available at: https://doi.org/10.3390/cryst12091182.

Vasanelli, E. et al. (2019) ‘Stone consolidation with SiO2 nanoparticles: Effects on a high porosity limestone’, *Construction and Building Materials*, 219, pp. 154–163. Available at: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.169.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20334

Conoscenza e conservazione di superfici fragili nei complessi fortificati del Trentino: antichi problemi e nuove sfide

Isabella Zamboni
Università degli Studi di Udine, Udine, Italia, isabella.zamboni@uniud.it

Abstract

Architectural surfaces allow reflection on the expressive capacities of the traditional work, the anthropic and natural transformations and conservation techniques. Some researchers have reiterated that the surface registers change and must therefore be preserved. In fact, the restoration project is one of the opportunities to understand technical knowledge and the physical phenomena expressed by the material. The attention paid to architectural surfaces in the Trentino area is evidenced by some studies in which the existence of a high quantity of mortar joints finishes was revealed. However, the poor maintenance of many of these sites, the loss of traditional techniques knowledge and the effects of the current climate crisis make it more urgent, and sometimes very difficult, to preserve the cultural values that these fragile surfaces represent. This paper discusses cases of good and bad conservation practices for the architectural surfaces of Trentino's castles. The research boasts of some in-depth archaeometric and dating studies and could be structured in its future updates as the basis of preservation activities planning.

Keywords: lime finishes, medieval masonry, traditional tecniques, architectural conservation.

1. Introduzione

1.1 Conservazione di superfici fragili

Le superfici dell'architettura, in quanto luogo privilegiato della conoscenza di caratteri autentici, hanno spesso innescato riflessioni nell'ambito della Teoria del Restauro sulle capacità espressive dell'opera, sulle modalità esecutive, sulle trasformazioni antropiche e naturali, e riguardo alle modalità di intervento. A tal proposito, alcuni autori hanno in passato dichiarato che «la superficie registra il mutamento: perciò deve essere conservata» (Bellini, 1990) e ragionato su come il progetto di restauro costituisca, oltreché l'atto responsabile di trasmissione al futuro di quel noto e significativo 'mezzo pollice' che è prioritario indagare (Decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, art. 29), una delle occasioni di comprensione dei saperi tecnici e dei fenomeni fisici espressi dalla materia (Carbonara, 1990, Torsello, 1990; Doglioni, 2011). D'altronde, già nell'ambito del Restauro critico, anche la stesura della «sola superficie di un intonaco» è stata definita quale atto creativo (Pane, 1948: p. 12). Pensiero, questo, ripreso nelle più note definizioni del concetto medesimo di Restauro che evidenziano l'importanza dei valori figurativi e culturali in un progetto inteso quale «atto di cultura e al tempo stesso altamente specialistico» (Carbonara, 1976, p. 27).

Odiernamente, grazie alla ratifica anche da parte dell'Italia della Convenzione di Faro (Legge 1 ottobre 2020, n. 133, art. 2), possiamo riferirci ad una visione più allargata del bene culturale come «un insieme di risorse ereditate dal passato che alcune persone identificano, indipendentemente da chi ne detenga la proprietà, come riflesso ed espressione dei loro valori, credenze, conoscenze e tradizioni, costantemente in evoluzione. Esso

BY-NC-SA

comprende tutti gli aspetti dell'ambiente derivati dall'interazione nel tempo fra le persone e i luoghi». Questo consente di comprendere come l'attenzione rivolta anche al dettaglio più minuto, quale ad esempio la finitura superficiale muraria, possa far scaturire approfondimenti su pensiero, progettualità, operatività e qualità esecutiva del passato; atto fondamentale di conoscenza e interpretazione critica che deve sostanziare, indirizzare, nonché deve essere in grado di qualificare a sua volta, l'attività di cura e il restauro contemporaneo. Tali concetti costituiscono anche l'esito di una riflessione, condizionata certamente dal caso per caso, sulla responsabilità della conservazione, ovvero del mantenimento della memoria materiale di significati ritrovati da condividere con la collettività e da perpetuare nel futuro mantenendone l'autenticità in termini di consistenza e leggibilità stratigrafica (Doglioni, 1997, Doglioni, 2008: pp. 189-217).

2. Conoscenza critica e stato della ricerca in Provincia di Trento

L'attenzione in area trentina alle superfici architettoniche è testimoniata da alcuni studi sistematici svolti lo scorso decennio e da una recente pubblicazione indirizzata a valorizzare *Trento città dipinta* (Chini, Ferrari & Toffolon 2022). Sul tema, si registra anche a scala nazionale una certa continuità di interesse che permette di sostanziare e rinnovare queste ricerche in un contesto più allargato (Fiorani, 2005a; Esposito, Lembo Fazio & Tetti 2022). Nel corso di un censimento delle murature storiche castellane nel territorio provinciale eseguito nell'ambito del Progetto APSAT (Ambiente, Paesaggi e Siti d'Altura Trentini)[1] è emersa l'esistenza, in variabile stato di conservazione, di un'elevata quantità di finiture superficiali dei giunti di malta relativi a circa il 30% delle apparecchiature analizzate (Zamboni, 2013; Gentilini & Zamboni, 2014). Rispetto agli edifici religiosi, i complessi fortificati mantengono ancora i caratteri formali superficiali in virtù della scarsità degli interventi di restauro e della generale maggiore complessità progettuale. Tuttavia, la mancanza di manutenzione di molti di questi siti, la perdita del «saper fare empirico» tra XIX e XX secolo (Mannoni, 2008), nonché gli effetti della crisi climatica in corso (IPCC 2023) rendono più urgente, e talvolta molto difficile, la conservazione dei valori culturali materiali (e immateriali) che queste superfici fragili rappresentano e tuttora possono veicolare. Come segnalato in altre pubblicazioni sull'argomento (Cfr. Zamboni, 2023), la conservazione e l'incremento della resilienza del Patrimonio costruito nei confronti di un mutevole contesto climatico è certamente un argomento estremamente attuale che implica la necessità di un coordinamento, attraverso opportuni strumenti di conoscenza, valutazione e di governance, sia della prevenzione ai rischi sia dell'adattamento necessario dell'architettura ad un clima e un ambiente in costante cambiamento, secondo un rapporto osmotico che da sempre li caratterizza in un insieme inscindibile. Tali strumenti, che in Italia si riscontrano accennati nella *Strategia* (MATTM, 2015) e nel *Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici* (MASE, 2023), si devono declinare a scala regionale e locale stimolando la definizione di opportuni documenti. In Trentino-Alto Adige questi si stanno concretizzando in una strategia regionale, che raccoglie gli esiti anche del programma di lavoro *Trentino Clima 2021-2023* (PAT & APPA, 2021).

2.1. Rilievi diretti e classificazione

Essendo la conoscenza il punto di partenza condiviso in questi approcci, la banca dati di cui si dispone e che si intende progressivamente aggiornare a circa 10 anni dalla sua prima configurazione, rappresenta un fondamentale supporto alla programmazione di campagne di monitoraggio e alla pianificazione di un'attività diagnostica auspicabile quale strumento di verifica puntuale dell'evoluzione dello stato di conservazione, dell'impatto dell'ambiente sui fenomeni di degrado e quale indirizzo necessario per l'orientamento nella scelta di tecniche di intervento e composizione materica delle malte di restauro. Le osservazioni macroscopiche svolte nell'ambito del menzionato progetto APSAT hanno preso in considerazione svariati complessi architettonici storici prevalentemente medievali, nello specifico 67 chiese e 112 castelli, operando una classificazione cronotipologica secondo criteri tridimensionali condivisi in Archeologia dell'Architettura quali: materiale, fonte di approvvigionamento, tecnica di lavorazione degli elementi, finitura superficiale e apparecchiatura. La documentazione e la fase interpretativa hanno, tra le altre, permesso di constatare la continuità di tecnologie costruttive in conci di pietra a bugnato,

chiarendone gli estremi cronologici regionali per poter poi svolgere, in seconda istanza, un confronto con altri lavori simili sul territorio nazionale (Zamboni, 2013; Gentilini & Zamboni, 2014).



Fig. 1- Castel Barco (Pomarolo). Mastio, stilatura semplice, datata XII secolo (foto di Isabella Zamboni, 2010).



Fig. 2- Castel Romano (Pieve di Bono). Corpo fortificato sommitale, lisciatura a scivolo e a falsa cortina, databile ante 1361 (foto di Isabella Zzamboni, 2010).



Fig. 3- Castel San Pietro (Vigo di Ton). Mastio, lisciatura, datata XIII secolo (foto di Isabella Zamboni, 2010).

L'attenzione alla descrizione in dettaglio della composizione, prevalentemente calce aerea (Pecchioni, Fratini & Cantisani: pp. 28-31) con grumi di calce e inerti (ghiaino/pietre frantumate), e della lavorazione dei giunti (figg. 1-3) ha indotto a relazionare queste tracce con altri studi nazionali e a proporre una classificazione secondo criteri condivisi (Fiorani, 2005b: p. 27; Chiovelli, 2022: p. 390).

2.2. Analisi archeometriche e di datazione

La possibilità di svolgere attività diagnostiche a partire dal Progetto APSAT, e successivamente nell'ambito delle attività di cantiere guidate da lungimiranti gruppi di lavoro, ha consentito, a valle delle indagini stratigrafiche degli elevati, di sottoporre a caratterizzazione mineralogico-petrografica alcuni campioni di impasto e a datazione con radiocarbonio mediante Spettroscopia di Massa con Acceleratore (AMS) dei grumi di calce accuratamente selezionati. In primo luogo, la conoscenza della composizione chimico-fisica delle malte di allettamento e finitura ha determinato, nel caso di interventi di restauro in corso, la scelta critica e consapevole degli impasti di nuovo apporto, garantendo la compatibilità, l'efficacia e la leggibilità dell'operare contemporaneo. In seconda istanza, i risultati cronologici, forti di un riscontro multidisciplinare, hanno permesso di chiarire ulteriormente le sequenze costruttive, di testare un metodo di datazione ancora poco diffuso per l'epoca (2009-2013) e di operare, più recentemente, un confronto metodologico con le riflessioni e gli esiti di altri gruppi di ricerca (Cfr. Vecchiattini, 2019). Tra i casi forse più interessanti vi è quello del castello di Ossana, in val di Sole, dove si è potuto accertare che l'impronta di cazzuola riscontrata dall'arch. Francesco Doglioni in sede di sopralluogo (fig. 4), è databile 1160AD (95.4%) – 1280AD (Gentilini 2013: p. 181).



Fig. 4- Castello di Ossana, impronta di cazzuola in fase con la muratura originaria del nucelo I, prospetto esterno nord (foto di Isabella Zamboni, 2012).

3. Cattive e buone pratiche: i segni del recente operare

L'attività di raccolta dati, oltre a fornirne gli estremi per una loro classificazione e datazione, ha stimolato la riflessione sul frammento, supportando un'evoluzione della ricerca a comprendere anche i criteri e le tecniche di intervento passate, attuali e future. Dall'esame di contesti già restaurati sono emersi casi persi ed esempi virtuosi di operare in relazione ai princìpi teorici attualmente condivisi nella disciplina del Restauro cui si è precedentemente accennato.

3.1. «Quel mezzo pollice che se n'è andato»[2]

Non sorprenderà, quindi, la constatazione di superfici trattate con scarsa attenzione e conoscenza da parte di architetti e maestranze di «non sicura formazione storico-critica» (Carbonara, 1976: p. 24). Va considerato che, in ambito professionale, le categorie SOA di specializzazione delle imprese normano l'esecuzione degli interventi in cantiere e che solo in determinati contesti in cui sono presenti superfici decorate e beni culturali mobili i restauratori (secondo i settori del proprio percorso formativo professionalizzante PFP) sono chiamati allo svolgimento di opere specializzate (ad esempio la categoria OS 2-A). Negli altri casi, è solo la Direzione Lavori che vigila (o almeno così dovrebbe essere) sulla necessaria sensibilità (anche artistica) degli operatori stessi della categoria OG 2 (Restauro e manutenzione). La questione si fa centrale se si pensa che il trattamento superficiale dei giunti di malta ha il potere di cambiare i 'connotati' di un edificio a tal punto da non renderlo più riconoscibile a cantiere concluso, compromettendone di fatto la percezione. La scelta del mix design adeguato per gli impasti delle malte di progetto nonché la modalità e qualità della sua posa in opera, richiedono una comprensione approfondita di quanto documentabile del passato e una maturazione critica di ciò che si vuole trasmettere al futuro attraverso l'intervento contemporaneo. Le immagini che seguono mostrano alcuni esempi concreti di tali difficoltà operative. Ad esempio, una malta priva di una varietà di inerti, con un colore (nocciola) e un tono (caldo) molto diverso rispetto all'originario (matrice biancastra, tono freddo), può diversificare l'immagine complessiva di un paramento murario a scapito della leggibilità stratigrafica e dei segni del tempo (figg. 5-6).



Fig. 5- Caso I. Composizione del giunto di connessura originario in calce aerea (foto di Isabella Zamboni, 2010).

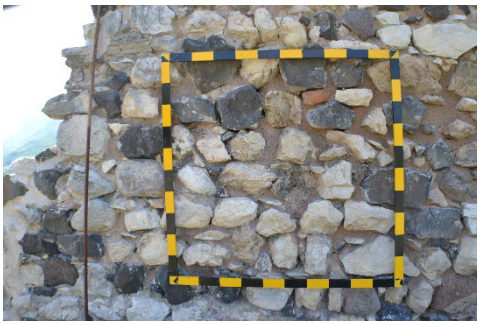


Fig. 6- Caso I. Paramento restaurato (foto di Isabella Zamboni, 2010).



Fig. 7- Caso II. Sovrapposizione tra malta originaria (dx) e di restauro (sx) (foto di Isabella Zamboni, 2010).

In secondo luogo, la carente cura delle integrazioni dei giunti (sovra-abbondantemente risarciti) nonché del rifacimento delle copertine in contesti a rudere può condurre alla perdita di comprensione dello sviluppo di un complesso, nel quale attualmente non sono più leggibili i nessi stratigrafici e dove le superfici esposte sovrastano, in quanto a percezione visiva, l'apparecchiatura e la varietà di composizione dei paramenti (figg. 7-8). Le foto mostrano il mancato riconoscimento dei valori figurativi e un

colore, ora predominante, che impatta anche a distanza considerevole, palesando il mutato rapporto tra architettura e contesto paesaggistico.



Fig. 8- Caso II. Vista generale di un settore dopo il restauro (foto di Isabella Zamboni, 2010).



Fig. 9- Caso III. Paramento esterno con tracce di sopraelevazione della cinta merlata (foto di G.G., 2010).



Fig. 10- Caso III. Paramento interno dopo il restauro (foto di G.G., 2011).

In terza istanza, l'assenza di una lettura stratigrafica, o di una sua adeguata trasmissione nelle fasi operative, può determinare la scomparsa di nodi costruttivi di rilevante interesse come sopraelevazioni di cinte murarie e profili identificativi della caratterizzazione formale di particolari elementi architettonici, che erano ben visibili sui prospetti prima dell'intervento nell'esempio proposto (figg. 9-10). La mancata comprensione dei caratteri identitari è riscontrabile anche nell'attuale paramento, la cui malta più recente annulla la varietà di cromie e occulta le morfometrie degli inerti dell'impasto antico che erano, invece, apprezzabili prima dell'intervento e/o nelle porzioni non interessate dal cantiere (figg. 11-12).



Fig. 11- Caso III. Composizione e finitura dei giunti originari in calce aerea (foto di Isabella Zamboni, 2010).



Fig. 12- Caso III. Paramento dopo il restauro (foto di Isabella Zamboni, 2011)

3.2. Conservare l'autenticità

A valle della fase di raccolta dati, sono emersi anche alcuni esempi di restauro attento al dettaglio dei giunti, sostanziato da indagini stratigrafiche in situ, da analisi in laboratorio di caratterizzazione delle malte originarie e dallo studio ponderato del materiale di nuovo apporto.

Il primo, già discusso e pubblicato (Doglioni, 2008: pp. 268-284; Gentilini, 2013), è il castello di Ossana in val di Sole, dove le miscele sono state realizzate con «calce idraulica naturale e sabbione locale, con aggiunta di inerti macroscopici affini a quelli presenti nella malta antica. La malta stessa a presa iniziata è stata spazzolata in superficie e ripulita con spugne in

modo da portare in evidenza i clasti di maggiore dimensione, della stessa natura e colore delle pietre circostanti. Non si è cercata la mimetizzazione dei nuovi giunti, comunque riconoscibili ad un esame ravvicinato, quanto un accordo materico e cromatico tra le parti antiche e quelle rinnovate, evitando l'effetto di rinnovo generalizzato che sovente si accompagna al risarcimento delle connessure di malta, e mantenendo la riconoscibilità nel punto di contatto con le malte antiche conservate» (figg. 13-14). Il nuovo giunto si è, inoltre, mantenuto il più possibile arretrato allo scopo di rievocare anche l'effetto chiaro-scuro espresso dal procedere dei fenomeni di degrado, che pur nel loro essere patologia svolgono talvolta un ruolo essenziale nella messa in evidenza di nessi stratigrafici costruttivi e delle trasformazioni occorse nel tempo (Doglioni, 2008: pp. 276-277).



Fig. 13- Castello di Ossana. Composizione della malta di connessura originaria (foto di Isabella Zamboni, 2010).



Fig. 14- Castello di Ossana. Composizione della malta di restauro (foto di Isabella Zamboni, 2010)

L'immagine della muratura della Torre Civica di Trento (fig. 15) è anch'essa significativa della cura posta nell'intervento di integrazione delle parti lapidee e dei giunti, eseguito sempre sottosquadro con prodotti compatibili e distinguibili grazie anche alla scelta opportuna del mix design per le malte di restauro (sabbia, polvere di marmo, inerti lapidei verdi e rossi, grassello, grumi di calce). La composizione scelta richiama l'originaria, con inerti provenienti dal fiume Fersina documentati grazie alle caratterizzazioni mineralogico-petrografiche eseguite in fase di cantiere. Anche in questo caso sono stati, inoltre, sottoposti a datazione analitica alcuni grumi di calce aerea contenuti negli impasti, a favore di una più accurata determinazione dei periodi costruttivi proposti (Gentilini, 2014).



Fig. 15- Torre Civica, paramento restaurato. Sono visibili le integrazioni lapidee e quelle relative ai giunti di connessura (foto di Isabella Zamboni, 2011).

4. Conclusioni

La qualità del progetto di restauro, secondo un'opinione condivisa e recentemente ribadita all'interno della comunità scientifica nazionale (SIRA, 2023), fonda le proprie radici nel programma conoscitivo.

Un'attività transdisciplinare, questa, che non si esaurisce nella sola collezione di dati qualitativi e quantitativi ma che deve far proprio un processo di interpretazione critica che comprende anche il riconoscimento di quei valori formali, figurativi, culturali in accordo con la più aggiornata definizione di bene culturale. Si è detto che la qualità esecutiva passata e contemporanea del dettaglio minuto, seppur talvolta sfugga al controllo della Direzione Lavori e/o non appartenga alla sensibilità degli operatori, è memoria materiale che trasmette un significato collettivo e che ha una ricaduta non trascurabile sulla percezione del monumento nel suo contesto. Si sono pertanto discussi nel presente contributo, denunciandone le vulnerabilità che tendono potenzialmente ad aggravarsi complice la crisi climatica in atto, le finiture dei giunti superficiali

in malta di calce riscontrate a partire dal 2009 nei siti fortificati dell'area pertinente alla Provincia Autonoma di Trento. Le tracce materiali dei saperi tecnici operanti in età medievale e moderna sono state classificate secondo criteri condivisi dalla storiografia nazionale e sono attualmente monitorati visivamente nell'ambito di sopralluoghi purtroppo non ancora coordinati e pianificati. Tra le potenzialità della ricerca, che presenta approfondimenti archeometrici e di datazione secondo le più avanzate tecniche analitiche, vi è da rimarcare il suo potenziale uso a fondamento di una programmazione preventiva delle attività di conservazione in linea con gli attuali princìpi e norme europee in materia di salvaguardia (UNI EN 15898:2019; Cfr. Moioli, 2023). Su questa strada, l'archivio su base regionale potrà dirsi fondamentale anche per la pianificazione sostenibile di sondaggi per altre attività predittive, come indicato nelle norme vigenti (DPCM, 2011, 4.1.7.). Nel quadro tracciato emerge, ancora una volta, la necessaria preparazione storico-critica dell'architetto che nella responsabilità del suo ruolo nel progetto di restauro deve saper riconoscere i valori culturali; deve saper collaborare con le altre discipline senza che queste siano relegate nel ruolo riduttivo di stampo ancillare; e, ultimo ma non meno importante, deve saper gestire e verificare l'esito formale dell'operatività in cantiere anche laddove, in mancanza di apparati decorativi o beni culturali mobili (e quindi di restauratori specializzati), sia ugualmente ed eticamente necessario preservare, trasmettendoli al futuro, i caratteri che contribuiscono a definire l'autenticità del Patrimonio storico costruito.

Notes

(1) APSAT -Alpinet finanziato dalla Provincia Autonoma di Trento, bando "Grandi progetti 2006 delibera G.P. 3790/2006"

(2) Ruskin 1849, Edizione 1981: p. 227.

Acknowledgements

Si ringrazia l'arch. Giorgia Gentilini per il confronto costante e proficuo, nonché per alcune delle fotografie inserite questo contributo.

Bibliografia

APSAT -Alpinet finanziato dalla Provincia Autonoma di Trento, bando "Grandi progetti 2006 delibera G.P. 3790/2006"

Bellini, A. (1990), La superficie registra il mutamento: perciò deve essere conservata. In: Biscontin G. & Volpin S. (a cura di), *Superfici dell'architettura: le Finiture*, Atti del convegno Scienza e Beni Culturali, 26-29 giugno 1990, Bressanone. Padova, Libreria Progetto, 1990, pp. 1-11.

Carbonara, G. (1976), *La reintegrazione dell'immagine. Problemi di restauro dei monumenti*, Roma, Bulzoni Editore.

Carbonara, G. (1990), Il trattamento delle superfici come problema generale di restauro. In: Biscontin G. & Volpin S. (a cura di), *Superfici dell'architettura: le Finiture*, Atti del convegno Scienza e Beni Culturali, 26-29 giugno 1990, Bressanone. Padova, Libreria Progetto, 1990, pp. 667-678.

Chini, E., Ferrari, S. & Toffolon, B. (a cura di) (2022), *Trento città dipinta: i decori murali esterni dal Medioevo ai giorni nostri*, Crocetta del Montello, Antiga, Italia Nostra, Sezione Trentina.

Chiovelli, R. (2022), Dall'ostentazione alla dissimulazione. Cronotipologia dei giunti in malta delle murature medievali in Italia. In: Esposito, E., Lembo Fazio, F. & Tetti, B. (a cura di), *Ricerche sulle malte tradizionali e sui sistemi di finitura medievali e moderni*, Firenze, Nardini Editore, pp. 389-398.

Decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, *Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002*, n. 137, Gazzetta Ufficiale n. 45 del 24.02.2004.

Doglioni, F. (1997), *Stratigrafia e restauro: tra conoscenza e conservazione dell'architettura*, Trieste, Lint.

Doglioni, F. (2008), *Nel restauro. Progetti per le architetture del passato*, Venezia, Marsilio.

Doglioni, F. (2011), Responsabilità verso l'edificio del Progetto e dell'opera di restauro. In: Centroni A. & Filetici M.G. (a cura di), *Responsabilità nella conservazione del costruito storico*, Roma, Gangemi Editore, pp. 129-134.

DPCM – Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 9 febbraio 2011, *Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008*, Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26.02.2011, Supplemento Ordinario n. 54.

Esposito, E., Lembo Fazio, F. & Tetti, B. (a cura di) (2022), *Ricerche sulle malte tradizionali e sui sistemi di finitura medievali e moderni*, Firenze, Nardini Editore.
Fiorani, D. (2005b), Finiture murarie nel medioevo: un profilo dell'Italia centro-meridionale. In: Fiorani, D. (a cura di), *Finiture murarie e architetture nel Medioevo. Una panoramica e tre casi studio nell'Italia centro-meridionale*, Roma, Gangemi Editore, pp. 15-62.
Fiorani, D. (a cura di) (2005a), *Finiture murarie e architetture nel Medioevo. Una panoramica e tre casi studio nell'Italia centro-meridionale*, Roma, Gangemi Editore.
Gentilini, G. & Zamboni, I. (2014), Considerazioni preliminari per lo studio delle apparecchiature lapidee in contesti castellani trentini di epoca romanica. In: Brogiolo G.P. & Gentilini G. (a cura di), Tecniche murarie e cantieri del Romanico nell'Italia settentrionale, Atti del Convegno, 25-26 ottobre 2012 Trento. *Archeologia dell'Architettura*, XVII, pp. 32-54.
Gentilini, G. (2013), Il castello di San Michele a Ossana in Val di Sole. In: Possenti E., Gentilini G., Landi W., Cunaccia M. (a cura di), *Apsat 6., Castra, castelli e domus murate. Corpus dei siti fortificati trentini tra tardo antico e basso medioevo. Saggi*, Mantova, SAP Società Archeologica, pp. 171-196.
Gentilini, G. (2014), La torre di piazza a Trento. Conoscenza materiale e cantiere di restauro. In: Cagol F., Groff S. & Luzzi S. (a cura di), *La torre di piazza nella storia di Trento: funzioni, simboli, immagini*, Atti della giornata di studio, 27 febbraio 2012, Trento. Trento, Società di Studi Trentini di Scienze Storiche, 2014 (Monografie. Nuova serie, 3), pp. 41-59.
IPCC 2023, *Climate Change 2023, Synthesis report*, AR6.
Legge 1 ottobre 2020, n. 133, *Ratifica ed esecuzione della Convenzione quadro del Consiglio d'Europa sul valore del patrimonio culturale per la società, fatta a Faro il 27 ottobre 2005*. (20G00152), Gazzetta Ufficiale, Serie Generale n. 263 del 23.10.2020)
Mannoni, T. (2008), Cultura materiale e cultura esistenziale. In: Pracchi V. (a cura di), *Lo studio delle tecniche costruttive storiche: stato dell'arte e prospettive di ricerca*, Como, Nodolibri, pp. 151-160.
MASE – Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, (2023), *Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*.
MATTM – Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, (2015), *Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*
Moioli, R. (2023), *La Conservazione preventiva e programmata: una strategia per il futuro – Premesse, esiti e prospettive degli interventi di Fondazione Cariplo sul territorio*, Firenze, Nardini Editore.
Pane, R. (1948), *Architettura e arti figurative*, Venezia, Neri Pozza.
PAT – Provincia Autonoma di Trento, APPA – Agenzia Provinciale per Protezione dell'Ambiente (2021), *Trentino Clima 2021-2023. Programma di lavoro sui cambiamenti climatici della Provincia Autonoma di Trento. Atto di indirizzo verso l'adozione della Strategia Provinciale di Mitigazione e Adattamento ai Cambiamenti Climatici*.
Pecchioni, E., Fratini, F. & Cantisani, E. (2008), *Le malte antiche e moderne tra tradizione e innovazione*, Bologna, Patron Editore.
Ruskin, J. (1849), *Le sette lampade dell'architettura*, New York, Wiley, Edizione Milano, Jaka Book, 1981.
SIRA – Società Italiana per il Restauro dell'Architettura (2023), Documento di indirizzo per la qualità dei progetti di restauro dell'architettura. In: *Restauro dell'architettura. Per un progetto di qualità*, coordinamento di Della Torre S., Russo V., Roma, Edizioni Quasar, pp. 1-75.
Torsello, B.P. (1990), Indagini geometriche sulle superfici architettoniche. In: Biscontin G. & Volpin S. (a cura di), *Superfici dell'architettura: le Finiture*, Atti del convegno Scienza e Beni Culturali, 26-29 giugno 1990, Bressanone. Padova, Libreria Progetto, 1990, pp. 571-580.
UNI EN 15898:2019 (2019), *Conservation of cultural heritage – Main general terms and definitions*.
Vecchiattini, R. (a cura di) (2019), La datazione delle malte in architettura tra archeologia e archeometria. *Archeologia dell'architettura*, XXIV, pp. 9-119.
Zamboni, I. (2013), Primi dati sulle tecniche costruttive e murarie dei castelli trentini tra V e XV secolo. In: Possenti E., Gentilini G., Landi W., Cunaccia M. (a cura di), *Apsat 6., Castra, castelli e domus murate. Corpus dei siti fortificati trentini tra tardo antico e basso medioevo. Saggi*, Mantova, SAP Società Archeologica, pp. 147-169.
Zamboni, I. (2023), Patrimonio costruito e cambiamenti climatici. Stato dell'arte, prospettive e competenze multidisciplinari. *Archeologia dell'Architettura*, XXVIII/2, pp. 7-18.

Digital Heritage

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20335

Lo sguardo vigile. La fortificazione bizantina di Monte Kassar a Castronovo di Sicilia

Fabrizio Agnello[a], Mirco Cannella[b], Vincenza Garofalo[c]
[a-b-c] University of Palermo, Italy, [a] fabrizio.agnello@unipa.it, [b] University of Palermo, Italy, mirco.cannella@unipa.it, [c] University of Palermo, Italy, vincenza.garofalo@unipa.it

Abstract

For many centuries, Sicily was a place where civilisations interacted and clashed. Its insular nature and its barycentric position in the Mediterranean have determined, together with the balances between the hegemonic powers, the settlement strategies: cities on the sea during the Greek-Punic colonisation and in subsequent periods characterised by general conditions of peace and equilibrium; cities inland or 'perched' in periods of greater fragility, when the main urgency was defence against attacks from the sea or control of the territory. The first real fortifications built in Sicily can be traced back to the period of Byzantine domination, a 'fragile' domination that followed the period of Roman rule and preceded the invasion and hegemony of Islamic culture (535-827 A.D.). The few surviving traces of the building activity carried out during the Byzantine rule are mainly located in eastern Sicily; little or nothing has been preserved in western Sicily. The exceptions are a few fortified sites located along the demarcation line running northeast-southwest, at either end of which were the cities of Himera and Selinunte, which historically separated Greek and Punic Sicily. Among these, a conspicuous stretch of fortification recently rediscovered on a rise above the town of Castronovo di Sicilia, in the central section of the demarcation line, stands out for the quality of its remains, having walls and towers that allow a reconstruction. The investigation aims at the acquisition of a digital survey developed with photogrammetric methods, using shots acquired from the ground and from above with the aid of a drone, and with laser scanning methods, using a SLAM scanner. The survey will make it possible to analyse the possibilities of integration between the two methodologies for the construction of a digital twin. The survey data will make it possible to analyse the construction techniques used and to investigate the relations that the fortification establishes with the territory, the reasons for its location, the visual control that it allowed, the possible relationship with other fortified places present on the demarcation line.

Keywords: byzantine fortifications; survey; virtual reconstruction.

1. La fortificazione bizantine di Monte Kassar

La Sicilia è stata per molti secoli luogo di incontro e scontro fra civiltà. La sua natura insulare e la sua collocazione baricentrica nel Mediterraneo hanno determinato, unitamente agli equilibri fra le potenze egemoni, le strategie insediative: città sul mare durante la colonizzazione greco-punica e nei periodi caratterizzati da condizioni generali di pace ed equilibrio; città nell'entroterra o 'arroccate' nei periodi di maggiore fragilità, quando l'urgenza principale era la difesa dagli attacchi dal mare o il controllo del territorio. Numerose strutture fortificate vengono costruite in Sicilia durante i tre secoli della 'fragile' dominazione bizantina (535-827 d.C.), che segue il periodo della egemonia romana e precede quello della cultura islamica. Le poche tracce superstiti dell'attività costruttiva di questo periodo sono ubicate prevalentemente nella

BY-NC-SA

Sicilia orientale; poco o nulla si è conservato nella Sicilia occidentale. Fanno eccezione alcuni luoghi fortificati ubicati lungo la linea di demarcazione con direzione Nord-Sud, che storicamente separava la Sicilia greca da quella punica. Agli estremi di questo limite si trovavano la città di Himera a Nord e la città di Agrigento a Sud.

Su questa stessa linea si trovavano anche le principali vie fluviali di accesso verso l'entroterra, i fiumi Torto e Himera da Nord e il fiume Platani da Sud; ancora, sulla stessa direttrice si sviluppava il tracciato della Via Aurelia, una strada romana, che collegava Palermo con Agrigento (Modeo & Cutaia, 2013).



Fig. 1- Ubicazione del centro abitato di Castronovo di Sicilia. In rosso il tracciato della Via Aurelia.

Nel punto baricentrico della direttrice, corrispondente al tratto intermedio della via Aurelia, immediatamente a settentrione del centro abitato di Castronovo di Sicilia (AG), si trova Monte Kassar, un altopiano posto ad una quota di circa 1000m, delimitato su tre fianchi (Est, Sud, Ovest) da ripidi pendii. Il quarto fronte, rivolto a Nord, si connette al territorio circostante con lievi e graduali cambi di quota.

Proprio su questa linea, estesa circa 1km e facilmente attaccabile per la sua orografia, si collocano i resti del più importante sistema di fortificazione di epoca bizantina finora rinvenuto in Sicilia.

Si tratta di una cinta muraria di consistente spessore, caratterizzata dalla presenza di nove torri e di due varchi di ingresso: una porta monumentale fortificata e una postierla.

Il primo rilievo della fortificazione di Monte Kassar viene completato nel 1867 da Francesco Saverio Cavallari, architetto ed esperto in rilievi architettonici, che a lungo aveva collaborato con Domenico Lo Faso Pietrasanta Duca di Serradifalco per la redazione dei rilievi e dei disegni che illustrano le monumentali pubblicazioni di quest'ultimo sulla Sicilia di epoca antica e medievale.

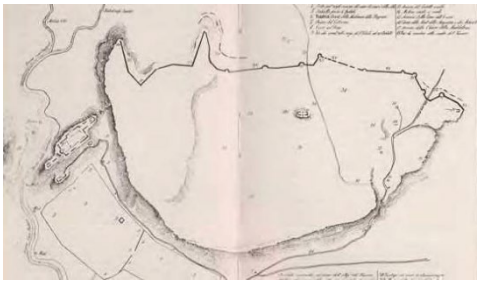


Fig. 2- Rilievo della fortificazione di Monte Kassar di F.S. Cavallari. (Vassallo et al. 2015: p. 10).

Una nuova e più aggiornata campagna di rilievo verrà condotta solo 130 anni dopo, nel 2005, a cura della Sezione archeologica della Soprintendenza di Palermo. Il resoconto di queste attività di rilievo, pubblicato nel 2015, costituisce ad oggi la fonte imprescindibile per lo studio della fortificazione del Kassar (Vassallo et al. 2015).



Fig. 3- In alto: vista del varco di ingresso dall'interno della cinta; sullo sfondo è visibile Pizzo Garibaldi vicino ad Alia. In basso: ripresa da drone dei resti della torre all'estremità orientale della fortificazione.

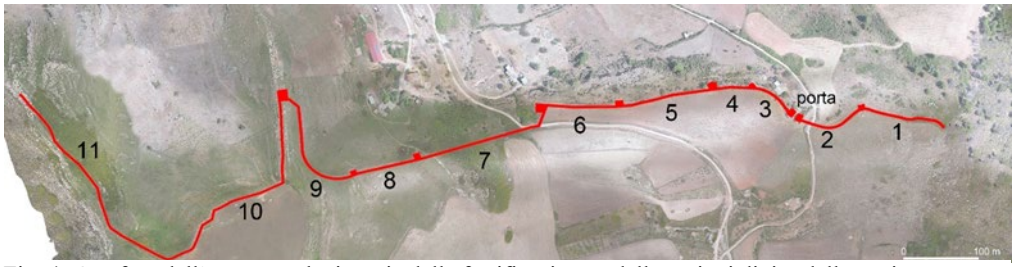


Fig. 4- Ortofoto dell'area con planimetria della fortificazione e delle sezioni divise dalle torri.

Il rilievo di Cavallari, in buona parte confermato dal più aggiornato rilievo della Soprintendenza, documenta la consistenza attuale dei resti della fortificazione, con il lungo muro di cinta, di spessore medio pari a 3,40m, che si sviluppa lungo una direttrice est-ovest; della fortificazione si conservano soltanto le parti più prossime all'attuale piano di calpestio, con un risalto variabile fra pochi centimetri e 2m.

Il muro di cinta è articolato in 11 sezioni delimitate da torri; fra la seconda e la terza sezione, contando da est, 2 torri di forma quadrata delimitano un varco di accesso monumentale di ampiezza pari a 3,75m; delle restanti 9 torri, 7 hanno forma approssimativamente quadrata e 2 hanno forma poligonale. Il tratto dalla sezione 1 alla 6 si sviluppa a quota pressocché costante, mentre le sezioni 7 e 8 si inerpicano in un tratto in forte pendenza, che culmina, nella sezione 9, in una sorta di avamposto con direzione Nord-Sud, terminato da una torre; da qui, le mura riprendono la direzione est-ovest, per superare un ulteriore dislivello e concludersi con un tratto terminale, di direzione nord-sud, a quota pressoché costante. Gli studi fin qui condotti non hanno potuto dare risposta ai numerosi interrogativi sulla funzione e sulle ragioni dell'ubicazione di una così imponente struttura fortificata. La collocazione occupa, come già evidenziato, un luogo baricentrico e nevralgico del sistema di comunicazioni interne della Sicilia, sia di quelle che attraversano la dorsale Nord-Sud (di cui si è detto), che quelle che da questa direttrice si sviluppavano verso est in direzione di Catania e verso Ovest alla volta di Selinunte e Mazara del Vallo. L'elemento che pone i maggiori interrogativi riguarda l'assenza di un centro abitato di dimensioni adeguate alla struttura fortificata; l'idea di un semplice presidio militare, realizzato per fronteggiare invasioni e attacchi e per comunicare, anche solo attraverso segnali visivi, con altre strutture fortificate, non risolve pienamente i dubbi. La fortificazione di Monte Kassar, imponente e suggestiva, anche per l'articolato rapporto con l'orografia del suolo, rimane in attesa di nuovi studi che possano gettare luce sulle ragioni della committenza e del ruolo che essa assumeva nel belligerante contesto della Sicilia in epoca bizantina.

2. Le operazioni di rilievo

Le tecniche digitali permettono oggi di costruire rapidamente i simulacri di manufatti e contesti.

Tali simulacri, detti *digital twins*, gemelli digitali, riproducono fedelmente le caratteristiche morfologiche, dimensionali e cromatiche delle superfici rilevate.

Fra le opportunità più evidenti offerte dalle tecnologie digitali di rilevamento indiretto è utile ricordare: a) l'alto livello di definizione nella documentazione delle superfici; b) la possibilità di riferire a uno stesso sistema di coordinate dati metrici acquisiti con metodologie differenti, quindi anche dati relativi ad aree dimensionalmente differenti (territorio, manufatti); c) la possibilità di mettere a confronto acquisizioni svolte in periodi differenti, grazie alla stabilità del sistema di riferimento GNSS.

Il rilievo della fortificazione di Monte Kassar è stato eseguito con diversi metodi, anche al fine di sperimentare i modi per la loro integrazione e le opportunità che ne derivano.

Fin dai primi sopralluoghi in situ e dall'analisi degli studi precedenti è apparso evidente che il rilievo delle strutture fortificate doveva essere condotto con un approccio multiscalare, che permettesse l'inquadramento generale del rapporto fra le strutture architettoniche e la morfologia del suolo, ma, allo stesso tempo, l'approfondimento e la documentazione di specifici aspetti delle tecniche costruttive ad una scala più ridotta.

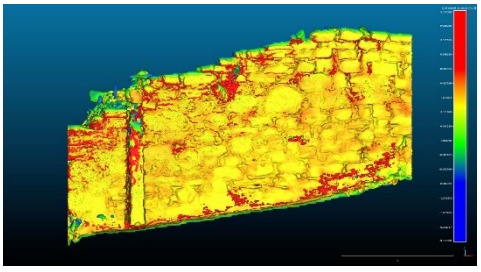


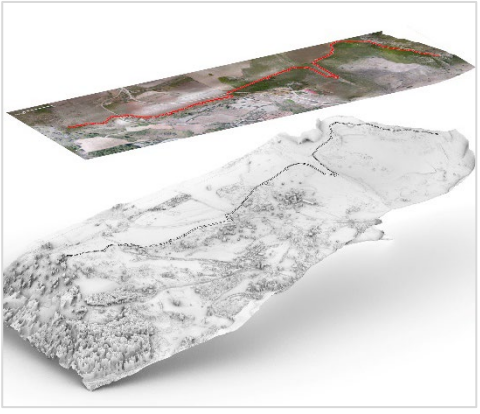
Fig. 5- In alto: immagine acquisita dal drone. In basso: ingrandimento su due target.


Fig. 6- In alto: Rilievo fotogrammetrico dell'area. Al centro: Mesh texturizzata calcolata con processi fotogrammetrici. In basso: dettaglio dell'ortofoto con proiezione nadirale.

Le prime acquisizioni sono state condotte con metodi fotogrammetrici e GNSS, al fine di produrre un modello digitale delle strutture architettoniche e dell'orografia dell'area su cui esse sono edificate. Il rilievo con metodi GNSS è stato utilizzato per la misura delle coordinate spaziali del punto baricentrico di 9 target piani di dimensioni 50*50cm, poggiati al suolo. Le coordinate di tali punti, riconoscibili nelle foto dal drone, hanno permesso di assegnare un orientamento spaziale e un fattore dimensionale ai modelli fotogrammetrici realizzati dalla foto aeree.


Fig. 7- Ortofoto del fronte Sud-Est del varco di ingresso.


Fig. 8- Confronto fra la mesh risultante dal rilievo con laser scanner statico e quella prodotta dal rilievo con lo scanner dinamico.


Fig. 9- Proiezione della planimetria della fortificazione sul modello mesh.

Il rilievo fotogrammetrico è stato utilizzato per calcolare un modello mesh texturizzato e un'ortofoto, con proiezione su piano orizzontale, dell'intera cinta muraria e dell'area ad essa limitrofa.

Ulteriori riprese fotografiche, acquisite da terra, sono state utilizzate per la realizzazione delle ortofoto, con proiezione su piano verticale, delle superfici interne della porta di accesso, uniche superfici in elevazione che superano l'altezza di 2 metri. In questo caso il modello mesh utilizzato per il processo di texturing fotogrammetrico è stato estratto da una nuvola di punti ottenuta dalla mosaicatura e dalla successiva campionatura di 6 scansioni, acquisite da terra con un laser scanner statico a modulazione di fase Leica HDS7000.

L'ultima fase del processo di acquisizione è stata dedicata alla sperimentazione sull'utilizzo di uno scanner laser dinamico di recente commercializzazione, per il rilievo di un tratto della cortina muraria.

Lo scanner SLAM ha dimostrato di essere uno strumento particolarmente efficace per il rilievo del paramento esterno delle mura, al netto della fitta presenza di vegetazione, che in più tratti nasconde l'opera di architettura.

Al fine di mettere a confronto le peculiarità dei dati acquisiti con le due diverse strumentazioni laser scanning, il rilievo delle torri sul varco di ingresso è stato ripetuto anche con il dinamico. Dal confronto sono emersi scarti medi compresi fra 5mm e 2cm, del tutto accettabili considerata la peculiarità dell'opera rilevata.

3. Il disegno della fortificazione

La costruzione di un modello affidabile dello stato di fatto della fortificazione ha permesso di condurre alcune osservazioni, impensabili con le tradizionali metodologie di rilievo e di disegno, sulle caratteristiche intrinseche dell'opera e sulle sue relazioni a scala territoriale.

Tali osservazioni si propongono di avanzare alcune ipotesi sul 'disegno' dell'opera, ovvero sulle finalità della sua costruzione e sulle strategie insediative che ne hanno determinato l'ubicazione e l'assetto.

La prima fase di elaborazione è stata dedicata al ridisegno delle tracce della fortificazione a partire dall'ortofoto dell'area.

Il disegno ha sostanzialmente confermato l'attendibilità dei rilievi del 2005, a meno di piccoli scarti.

Il modello dello stato di fatto ha posto in evidenza la complessità del sistema della fortificazione e il suo svilupparsi in un contesto orograficamente articolato, che dalla quota lungo la quale si sviluppano le sezioni da 1 a 6 (variabile fra 870 e 890m slm), passa alla quota dove si trova la sezione 9 (970m slm) e prosegue ancora, in leggero pendio ascendente, nelle sezioni 10 e 11, fino a raggiungere la quota di 1020m slm.

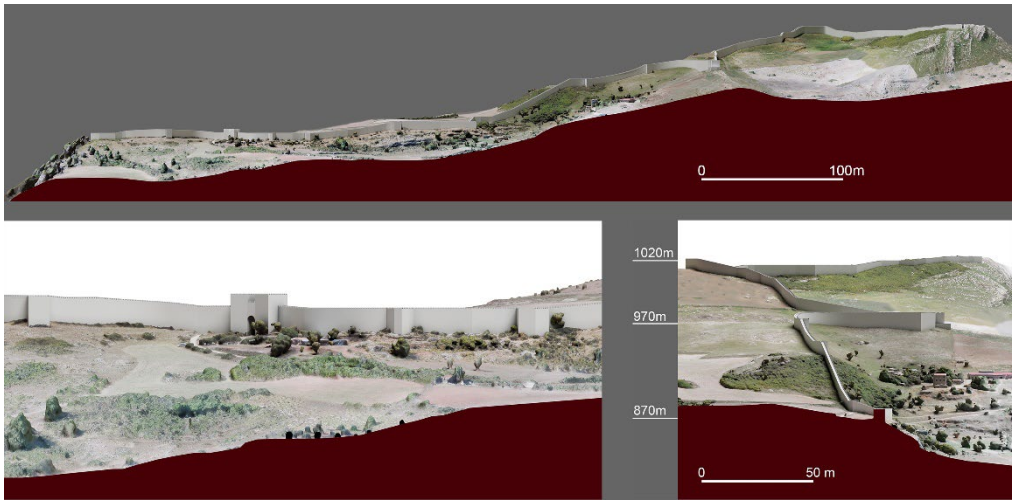


Fig. 10- Viste del modello ricostruttivo inserito nel contesto reale. In alto: prospetto-sezione da Nord. In basso a sinistra: dettaglio in corrispondenza della porta di accesso. In basso a destra: sezione trasversale in corrispondenza della torre fra le sezioni 5 e 6, che pone in evidenza il cambio di pendenza del terreno e lo sviluppo altimetrico della fortificazione.



Fig. 11- Ripresa fotografica da drone con inserimento del modello ricostruttivo delle mura. A destra, la parte più alta della fortificazione; a sinistra e sullo fondo la Valle del fiume Platani.

Complessivamente, quindi, il sistema della fortificazione si estende sulla direttrice est-ovest per una lunghezza di 1124m e supera un dislivello di 150m.

Al fine di realizzare il modello ricostruttivo delle mura, basato sulle ipotesi formulate in letteratura, (Vassallo, 2015), il disegno dello sviluppo planimetrico del tracciato delle mura e delle torri è stato proiettato ortogonalmente sul modello digitale del terreno. Le curve ottenute dalla proiezione sono state utilizzate come linee guida per la determinazione del profilo altimetrico del modello ricostruttivo.

Dal modello complessivo sono state estratte alcune proiezioni ortografiche; a) una sezione con piano verticale orientato secondo l'asse Est-Ovest, che mostra efficacemente lo sviluppo lineare della fortificazione e il suo rapporto con l'orografia del sito; b) una sezione ortogonale alla linea della fortificazione, che mostra il repentino cambio di pendenza del suolo a ridosso delle mura e, in modo ancora più incisivo, il salto di quota che la fortificazione supera nel suo sviluppo. Queste viste riaffermano le potenzialità del disegno anche nella rappresentazione digitale, che troppo spesso si concentra sull'attività di creazione dei modelli, riducendo il disegno a una semplice 'vista' del modello.

Le due sezioni dimostrano che un'adeguata scelta del piano e del tipo di proiezione può produrre elaborati grafici che descrivono in modo sintetico ed efficace le qualità salienti di un'opera di architettura.

Un elemento significativo, emerso durante i sopralluoghi e ben evidenziato anche dal modello tridimensionale del terreno e delle mura, nonché dai disegni, è la connessione visiva fra le torri, in particolare fra la torre posta all'estremità Est della linea fortificata e quella che concludeva l'avamposto alla quota 970m: la prima, più bassa, controllava la Valle del Platani, mentre quella più alta era in connessione visiva con i principali rilievi montuosi, sia verso Nord che verso Sud.

Al fine di ampliare il modello del terreno realizzato con le foto del drone, per inserirlo nell'ambito dell'intero altopiano, e successivamente, in un più ampio contesto territoriale, sono state utilizzate due tecniche: a) la simulazione di un volo con Google Earth Pro; b) l'estrazione semiautomatica di un modello del terreno con il plug-in "Blender GIS" del noto software di simulazione fotorealistica, che utilizza i dati della *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Il primo metodo ha dato risultati attendibili con voli a quote limitate e con la combinazione di fotografie nadirali e inclinate, mentre ha mostrato notevoli criticità nell'estrazione di modelli fotogrammetrici da riprese eseguite a quote superiori a 1000m, utili alla restituzione di una vasta porzione di territorio. Questo metodo è stato dunque utilizzato soltanto per generare un modello di suolo dell'altopiano di Kassar.

Per contro, il secondo metodo, che permette di generare modelli del terreno non dettagliati ma più affidabili sotto il profilo dimensionale e altimetrico, è stato utilizzato per documentare l'orografia dell'intera isola.

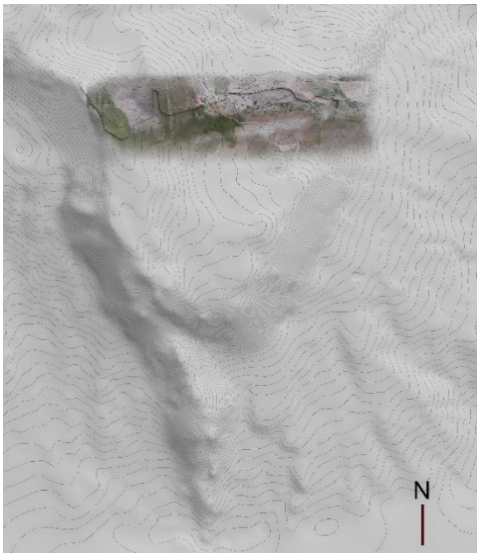


Fig. 12- Modello del terreno da immagini estratte da Google Earth e modello estratto dalle foto da drone.

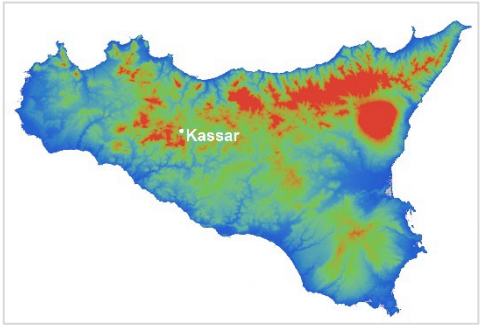


Fig.13- Proiezione ortografica del modello del suolo della Sicilia con texturing a falsi colori.

Il modello estratto con quest'ultima tecnica è stato texturizzato con falsi colori associati all'altitudine. La vista ortografica del modello permette di visualizzare in modo estremamente efficace i rilievi montuosi, le vallate e i fiumi.

Un'ulteriore sperimentazione, consentita dall'uso integrato di metodi di rilievo e rappresentazione digitale, è stata indirizzata all'analisi delle relazioni visuali fra la fortificazione e le alture circostanti, alla ricerca di possibili connessioni per punti, che permettessero di veicolare messaggi visivi dal Monte Kassar fino ai principali centri della costa (Palermo a Nord e Agrigento a Sud).

A tal fine sono state realizzate delle riprese con drone, idonee alla realizzazione di immagini panoramiche; la quota di stazionamento del drone durante l'esecuzione delle prese è stata fissata a un'altitudine di circa 10 metri dai resti della fortificazione.

Per il processo di analisi è stata utilizzata l'immagine sferica acquisita in corrispondenza della torre all'estremità Est della fortificazione.

Al fine di determinare le coordinate geografiche del punto nodale dell'immagine sferica e l'orientamento della stessa, le prese acquisite con il drone sono state inserite nel progetto fotogrammetrico generale, le cui coordinate, occorre ricordare, sono geografiche poiché riferite al rilievo con metodi GNSS.

L'immagine equirettangolare prodotta al termine del calcolo permette quindi di posizionare con esattezza la direzione Nord, che, nel caso in esame, è stata posizionata ai bordi dell'immagine. Quest'ultima è stata scalata in modo da assegnarle una dimensione pari a 360 unità.

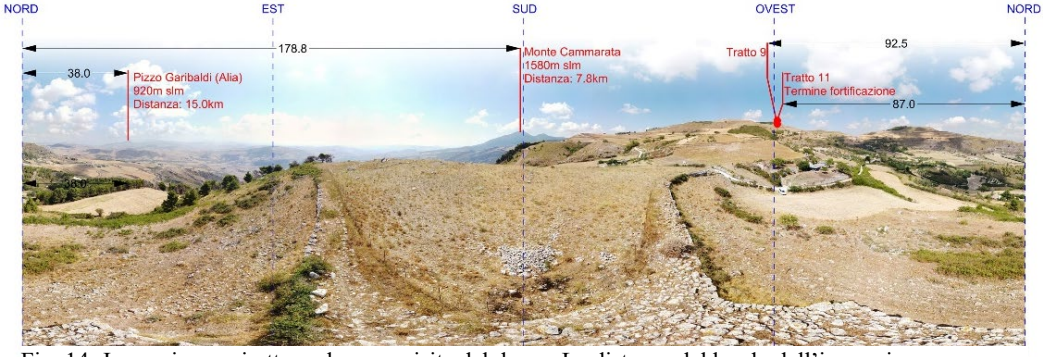


Fig. 14- Immagine equirettangolare acquisita dal drone. Le distanze dal bordo dell'immagine, corrispondente al Nord, misurano gli angoli visuali riportati nella mappa.

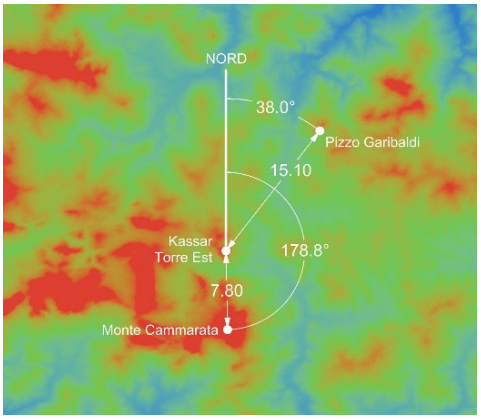


Fig. 15- Mappa a falsi colori del territorio intorno al monte Kassar con gli angoli visuali utilizzati per identificare i rilievi.

In questo modo, le distanze dal bordo dell'immagine equivalgono, sulla mappa, agli angoli rispetto alla direzione Nord. Si è dunque proceduto a identificare, nell'immagine equirettangolare, le principali cime montuose visibili e a individuare sulla mappa, i luoghi corrispondenti.

L'ipotesi proposta è che i luoghi di riferimento per Kassar potessero essere, a Nord, pizzo Garibaldi, ubicato a una distanza di 15 km nei pressi del centro abitato di Alia, e, a Sud, monte Cammarata a una distanza di circa 8km. Da queste due alture, i messaggi potevano essere indirizzati sia a Nord che a Sud verso ulteriori rilievi montuosi in diretta connessione visiva con i centri abitati di Palermo e Agrigento.

Un'ultima sperimentazione, indirizzata a promuovere la conoscenza della fortificazione verso una più ampia platea di soggetti non specializzati, è stata eseguita con l'ausilio di due distinte tecniche, indirizzate rispettivamente alla visualizzazione in situ e a distanza. Per quest'ultima sono state utilizzate tecniche di *Motion tracking*, ampiamente diffuse nell'industria cinematografica, che permettono di contestualizzare, in una ripresa video, un oggetto virtuale. In questo caso, il video è stato acquisito con un volo da drone e l'elaborazione di *motion tracking* è stata sviluppata con il software Blender.

La seconda tecnica, che utilizza la combinazione di un'immagine sferica acquisita in situ con un'equivalente immagine di un modello tridimensionale, ha permesso di inserire il modello ricostruttivo in una delle immagini equirettangolari acquisite in situ; il visitatore che si trovi nei pressi del luogo da cui l'immagine sferica è stata acquisita potrà visualizzare, con l'ausilio di uno smartphone o di un tablet, la ricostruzione della fortificazione dal suo punto di osservazione.

4. Conclusioni

Lo studio sulla fortificazione di Monte Kassar ha mostrato le potenzialità che le tecnologie digitali


Fig. 16- Vista di un *frame* del filmato di *motion tracking* con la contestualizzazione del modello ricostruttivo.

offrono oggi ai processi che mirano alla conoscenza e alla divulgazione del patrimonio culturale.

Allo stesso tempo, lo studio ha posto in evidenza l'importanza della ricerca di forme di rappresentazione capaci di evidenziare le peculiarità di un'opera di architettura.

L'utilizzo combinato del rilievo digitale e di strumenti per la visualizzazione di immagini satellitari, come Google Earth Pro, ha dimostrato la possibilità di indagare in modo accurato le connessioni visive fra siti in elevato, elemento particolarmente rilevante nello studio delle strutture fortificate.

Contributo degli autori

Il contributo è stato realizzato nell'ambito della ricerca PRIN 2022 PNRR "Byzantine Cultural Routes between tangible and intangible", Coordinatore scientifico nazionale Marinella Arena (Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria), Responsabile unità ricerca locale Francesco Maggio (Università degli Studi di Palermo) ed è frutto della collaborazione tra gli autori che hanno condiviso obiettivi, metodologie e risultati. A Vincenza Garofalo si attribuisce il paragrafo 1, a Fabrizio Agnello il 2, a Mirco Cannella il 3. Si ringrazia il Dott. Stefano Vassallo per i preziosi suggerimenti.

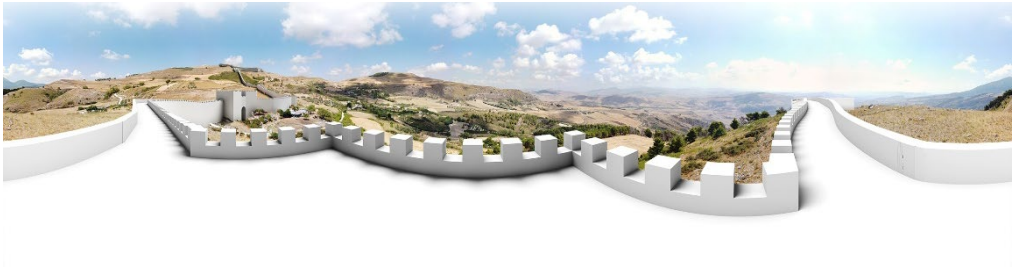


Fig. 17- Immagine equirettangolare 'ibrida' con il posizionamento del modello ricostruttivo.

Bibliografia

Modeo, S., Cutaia, A. (2010). Il sistema bizantino di difesa e di trasmissione dei messaggi ottici nella Valle del Platani. In Congiu M., Modeo S., Arnone, M. (eds.). *La Sicilia bizantina: storia, città e territorio, Atti del VI Convegno di Studi*. Caltanisetta-Roma, pp. 297-330.

Modeo, S., Cutaia, A. (2013). L'incastellamento bizantino nella Sicilia centro-meridionale. Tipologie edilizie e tecniche costruttive dei καστρα tra il Platani e il Salso. In AA.VV. *La Sicilia del IX secolo tra Bizantini e Musulmani. Atti del IX Convegno di studi*. Caltanissetta, Sciascia Editore, pp. 91-120.

Panvini R. (2002). Insediamenti bizantini nella Sicilia centro-meridionale. *Byzantino-Sicula IV*, Atti del I Congresso Internazionale di Archeologia della Sicilia Bizantina, Palermo, pp. 191-213.

Vassallo, S., De Leo, A., Di Stefano, S. & Graditi, R. (2015). *La fortificazione bizantina del Kassar. Relazione di scavo 2005* - Soprintendenza Beni culturali e ambientali di Palermo. Dipartimento dei Beni Culturali e dell'Identità Siciliana available at https://www.academia.edu/15290794/_Vassallo_De_Leo_Di_Stefano_Graditi_La_Fortificazione_bizantina_del_Kassar_Relazione_di_scavo_2005_A_Testo_2015_ (Accessed: 15 September 2024).

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20336

Architettura militare, la linea difensiva di Messina durante la Seconda Guerra Mondiale. Dati per l'ampliamento del progetto GIS sull'area peloritana

Alessio Altadonna [a], Alessia Chillemi [b], Giuseppina Salvo[c], Fabio Todesco[d]
[a-b-c-d] Università degli studi di Messina, Messina, Italia, [a]aaltadonna@unime.it, [b] alessia.chillemi@studenti.unime.it, [c]giuseppina.salvo@studenti.unime.it, [d]ftodesco@unime.it

Abstract

World War II had a profound impact on the city of Messina, strategically important for its location overlooking the Strait and its control over a wide area of the hinterland, leaving a legacy of destruction and resilience. Starting from these premises, the research focuses on the defensive structures built in the Messina territory during the conflict. First, the anti-aircraft defence systems, such as bunkers and *Tobruks*, and those of anti-aircraft defence, such as pits and listening walls, were identified and analyzed. The different types of outposts and their respective construction techniques, their integration/camouflage with the territory, as well as their strategic impact along the numerous foothill access routes related to the particular orographic configuration of the peri-urban area were then examined. This study is part of a broader work started in November 2023 by LAB6R of the Department of Engineering UniME, with the aim of monitoring and cataloguing the minor and widespread building heritage. The activities used advanced geomatic technologies, such as laser scanners and drones for the correct morphological restitution and spatial georeferencing of the surveys, further enhanced in precision by GPS equipped with an RTK module. The data thus obtained were entered into FileMakerPro19 for the implementation of the database to support the territorial analyses carried out in the QGIS3.38 environment. The method described so far is a best practice for the knowledge of the context and the verification of the advancement of the state of degradation of the specialized building, proving to be fundamental in view of the programming of conservation interventions of the traces present. The virtuosity pursued by the project is, finally, the most complete possible preservation against the slow and inexorable loss of the identity of non-monumental and specialized historical construction.

Keywords: Second World War, military architecture, heritage conservation, GIS.

1. Introduzione

Il presente contributo s'inquadra all'interno di una più ampia ricerca, avviata nel novembre 2023 dal LAB6R del Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Messina, di individuazione territoriale e inventariazione delle persistenze architettoniche, storiche e archeologiche dell'area urbana e periurbana. Il panorama storico-artistico peloritano è difatti variegato come conseguenza dell'evoluzione continuativa della città nel medesimo sito (1).

Ciò ha concorso alla nascita di un contesto ricco di elementi caratterizzanti la storia siciliana e, per tale ragione, da preservare. Le ripetute indagini sul territorio, effettuate durante i mesi intercorsi tra novembre 2023 e ottobre 2024, hanno permesso la scoperta e riscoperta di numerosi elementi i cui dati, fino ad ora raccolti, hanno costituito la base di un sistema informatizzato volto al monitoraggio e alla conservazione del patrimonio archeologico-architettonico.

BY-NC-SA

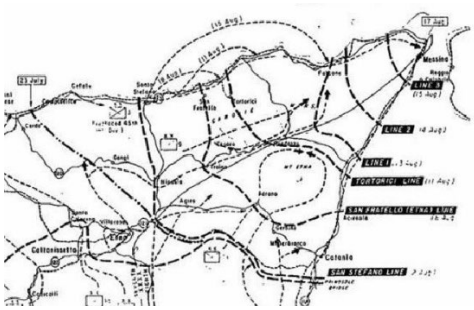


Fig. 1- Carta americana in cui sono evidenziate le 3 grandi linee difensive e le tre linee di evacuazione tedesche verso lo Stretto di Messina (Donato, 2017: 82).

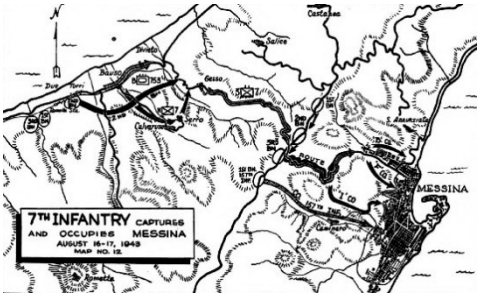


Fig. 2- Carta in cui viene evidenziata la strategia utilizzata dalla 7a Fanteria americana per conquistare Messina e costringere i tedeschi alla ritirata (White, 1947: 41).

1.1. La difesa costiera dello Stretto di Messina

Durante la Seconda Guerra Mondiale, Messina divenne – com'era sempre stata nei conflitti d'ogni epoca - un obiettivo cruciale per le forze armate contrapposte, in quanto ultimo baluardo difensivo prima dell'evacuazione delle truppe tedesche dalla Sicilia (Operazione *Lehrgang*). Il controllo della città e dei suoi territori limitrofi, infatti, avrebbe permesso di interrompere le linee di rifornimento tra l'Italia e la sua Isola meridionale. Per tale ragione nel 1943, di fronte all'avanzata degli Alleati nella Regione, le forze tedesche e gli italiani che le spalleggiavano si prepararono a organizzare una linea difensiva territoriale per ritardare il più possibile i nemici. A tale scopo, a difesa della cosiddetta Piazza Militare Marittima tra Messina e Reggio o, meglio, la costa calabra, vennero costruite numerose postazioni fortificate, bunker, trincee e barriere anticarro, sia lungo il litorale che sulle alture circostanti che, seppur temporanee, rappresentarono un elevato sforzo ingegneristico e organizzativo da attuare in tempi serrati.

1.2. Le batterie del versante siculo

Nel 1935, a Messina era stata destinata la 17ª legione M. da Cos. (2) dislocata presso 8 batterie per mortai da 280/9 di fine Ottocento. Nel 1939, la difesa siciliana venne affidata alla 6ª legione MilMart (3), istituita nel mese di gennaio dello stesso anno con l'aggiunta di tre nuove batterie, la Bat. De Cristofaro da 120/40, la Bat. Mezzacapo da 120/50 e la Bat. Punta Pellaro da 152/50. Fu nel 1939 che venne istituita la Piazza Militare Marittima di Messina/Reggio Calabria con R. Decreto del 27 settembre (Donato, 2014). Nel mese di dicembre del 1940 vennero effettuare le prime sporadiche incursioni notturne su Messina, mentre nel 1941 vennero intensificate quelle ad opera degli inglesi. Nel 1942 la RAF (4) effettuò incursioni nei mesi di febbraio, maggio, giugno e luglio. Nel 1943 i bombardamenti vennero ulteriormente aumentati e coordinati tra americani e inglesi USAAF (5) e RAF nella offensiva di bombardamento combinata chiamata *Combined Bomber Offensive,* in una alternanza tra americani che attaccavano di giorno e inglesi in notturna. Questo perché lo Stretto è da sempre stato un luogo strategico di alto traffico navale e quindi un obiettivo da colpire senza soluzione di continuità. Con lo sbarco americano sul versante orientale siculo avvenuto nella notte tra 9 e 10 luglio 1943, Operazione *Husky*, bombardamenti e incursioni si fecero sempre più intensi. L'obiettivo della 7ª armata americana e della 8ª inglese era di confinare le truppe italo-tedesche a Messina. Con tale strategia si bloccava l'accesso alla città sia dalla SS114 a sud sia dalla SS113 a nord, riducendo l'ingresso alla sola dorsale Peloritana che collega Divieto a Gesso. Le truppe italo-tedesche organizzarono un piano preventivo per frenare l'avanzata nemica con una fase di contenimento basata su 3 linee difensive e 3 linee di evacuazione (fig. 1) a sbarramento delle principali strade costiere ed interne.

Per lo stesso motivo, Diversi furono gli interventi di potenziamento della Piazza Militare Marittima di Messina /Reggio Calabria: nel mese di gennaio del'43 si contavano 31 batterie italiane e 4 tedesche; nel mese di luglio il numero aumentò fino a 57 batterie di cui 41 italiane e 16 tedesche; nel mese di agosto il numero fu incrementato per un totale di 65 batterie italo-tedesche. Di queste 57 le seguenti erano nel settore siculo: 2 Batterie



Fig. 3- Vista aerea del raggruppamento di bunker monoarma collocati lungo la SP44, in località Campo Italia, a presidio dell'accesso sud del Forte Masotto (foto degli autori, 2024).



Fig. 4- Vista aerea di dettaglio di uno dei bunker monoarma appartenenti al raggruppamento in località Campo Italia, a presidio dell'accesso sud del Forte Masotto (foto degli autori, 2024).

Antinave da 280/9 (Bat. Masotto, Bat. Cavalli; Bat. Crispi, Bat. Schiaffino e Bat. Serra la Croce non erano più efficienti nel 1943); 2 Batterie Antinave da 152/45 (Bat. Spartà, Bat. Margottini); 1 Batteria Antinave da 120/50 (Bat. Mezzacapo); 4 Batterie doppio compito da 76/40 (MS 713, MS 611, MS 3, MS 400); 3 Batterie Doppio compito da 90/42 (MS 525, MS 123, MS 159); 2 Batterie Doppio compito da 90/42 (MS 620, MS 280); 2 Batterie Contraeree da 37/54 (MS 553, R.E. 344); 4 Batterie Contraeree da 76/40 (MS 477, MS 577, MS 253, MS 905); 11 Batterie Contraeree da 90/53 (MS 328, MS 724, MS 120, MS 277, MS 434, MS 475, MS 949, MS 349, MS 807, MS 940, MS 881); 8 Batterie tedesche Flak da 88 (Donato, 2014, p.580).

1.3. I reparti avanzati

A corollario del suddetto sistema difensivo, tra il 1941 e il 1942, vennero emanate differenti circolari riguardanti il potenziamento della difesa costiera: Nello specifico, la Circolare n. 3 C.S.M del 24 Ottobre 1941, con oggetto "Difesa delle frontiere marittime", firmata dal Capo di Stato Maggiore del Regio Esercito Mario Roatta, aveva un carattere prescrittivo delle nuove costruzione da eseguire; la Circolare n. 4 C.S.M del 1 Dicembre 1941, con oggetto "Lavori di fortificazione alle frontiere marittime", integrava alcune lacune della precedente circolare (Caniglia, 2023); la Circolare n. 9 del 13 Aprile 1942, con oggetto "Sistemazione difensiva delle frontiere marittime", indicava la priorità con la quale dovevano essere eseguiti i lavori (Clerici, 1996). Nella circolare n. 3 del '41, venivano elencate le tipologie di strutture da realizzare, i reparti avanzati, ossia posti di osservazione costiera (P.O.C.); nuclei fissi; nuclei mobili; posti di blocco costieri (P.B.C.); elementi di protezione ad impianti e vie di comunicazione; rincalzi. Tuttavia, poiché le quantità di cemento richieste per l'esecuzione di tali edifici furono di gran lunga superiore alla produzione nazionale, si rese necessario investire solo nei punti strategici e nei più deboli del territorio. Con la circolare n. 9 del '42, venne indicata la gradualità, da regione a regione e da zona a zona, con cui costruire tali presidi. In Sicilia e Sardegna, punti nevralgici dell'attacco nemico, si diede estrema priorità "ai lati delle piazze militari marittime; al fronte a mare a ai lati dei maggiori porti; nei tratti costieri di particolare interesse per ulteriore sviluppo delle operazioni" (Clerici, 1996, p.69).

1.4. Le principali tipologie di fortificazioni

Tra le più diffuse tipologie di architetture belliche costruite e, in buona parte, ancora esistenti a Messina sono state rilevate:

Bunker in calcestruzzo armato, che hanno rappresentato il fulcro della linea difensiva peloritana. Erano progettati come robusti rifugi per alloggiare le truppe e ospitare mitragliatrici pesanti e altri pezzi di artiglieria di medio calibro.



Fig. 5- Vista aerea del raggruppamento di bunker monoarma collocati lungo la SP 44, in località Campo Italia, a presidio dell'accesso sud del Forte Masotto. Coordinate 38°14'34.0"N 15°33'12.3"E (foto degli autori, 2024).



Fig. 6- Vista aerea del raggruppamento di bunker monoarma collocati lungo la SP 44, in località Trivio, a ulteriore presidio dell'accesso sud del Forte Masotto. Coordinate 38°14'53.1"N 15°33'00.7"E (foto degli autori, 2024).

Dislocati in punti strategici lungo la costa e sulle alture, i bunker offrivano protezione sia dalle intemperie che dagli attacchi nemici, in virtù del loro camuffamento nell'ambiente naturale.

Dal punto di vista della forma, i bunker possono essere classificati in: bunker pluriarma, ovvero di strutture monoblocco in c.a. per mitragliatrici, fucili mitragliatori e cannoni anticarro, e bunker circolari monoarma con un numero variabile di feritorie, dipendente dal tipo di arma ospitata. L'organizzazione Todt (Clerici, 1996, pp.82-83), riorganizzò i bunker in categorie definite "serie" (Mariotti, Ugolini & Zampini, 2018, p.153) per un totale di 700 tipi. I numeri Regelbau dei bunker costruiti durante gli anni '30 erano generalmente inferiori a 100, mentre sul Muro dell'Atlantico erano nella serie 100 e 500. La serie 100 fu introdotta nel 1939 e le serie 400 e 500 nel 1940. La maggior parte dei tipi 100 e 500 apparve nel Muro dell'Atlantico. Le serie 200 e 300 erano costituite principalmente da tipi della Kriegsmarine (marina) e la serie 400 da tipi della Luftwaffe (aeronautica). Nel 1942, l'esercito creò l'ultima serie, la 600, che includeva posizioni per cannoni da 75 mm e di calibro superiore. Le serie 500 e 600 includevano anche bunker che potevano montare cannoni anticarro più grandi dei cannoni da 37 mm della serie 100. (Kauffmann & Kauffmann, 2014, p.88).
Un'altra tipologia di Bunker è il cosiddetto *Tobruk*, una postazione interrata con un'apertura circolare nella sommità dotata di un corridoio di accesso e di un vano per le munizioni o per il ricovero del soldato (Clerici, 1996)

Postazioni di osservazione e di tiro in cemento armato. Distribuite lungo la linea costiera, queste postazioni in cemento armato svolgevano una duplice funzione: da un lato, ospitavano gli osservatori addetti al monitoraggio dei movimenti nemici; dall'altro contenevano mitragliatrici e piccoli pezzi d'artiglieria per il tiro di copertura e la difesa ravvicinata.

Trincee anticarro scavate nelle alture per rallentare l'avanzata nemica. Sulle colline che circondavano Messina, per ostacolare e frenare l'avanzata di carri armati e veicoli blindati alleati, vennero scavate profonde trincee nella forma di barriere naturali, integrate con ulteriori ostacoli fissi o mobili in cemento e metallo, per esercitare una efficace linea di difesa.

Ostacoli e barriere anticarro in cemento o metallo. Lungo le principali vie di accesso a Messina, furono disposti numerosi ostacoli e barriere anticarro, sia in calcestruzzo che in metallo. Elementi che, combinati con le trincee scavate sulle alture, miravano a impedire la penetrazione di mezzi veloci e corazzati nemici all'interno della città.

Tutti i suddetti elementi erano sapientemente integrati in un sistema difensivo articolato, con postazioni ravvicinate di supporto reciproco e

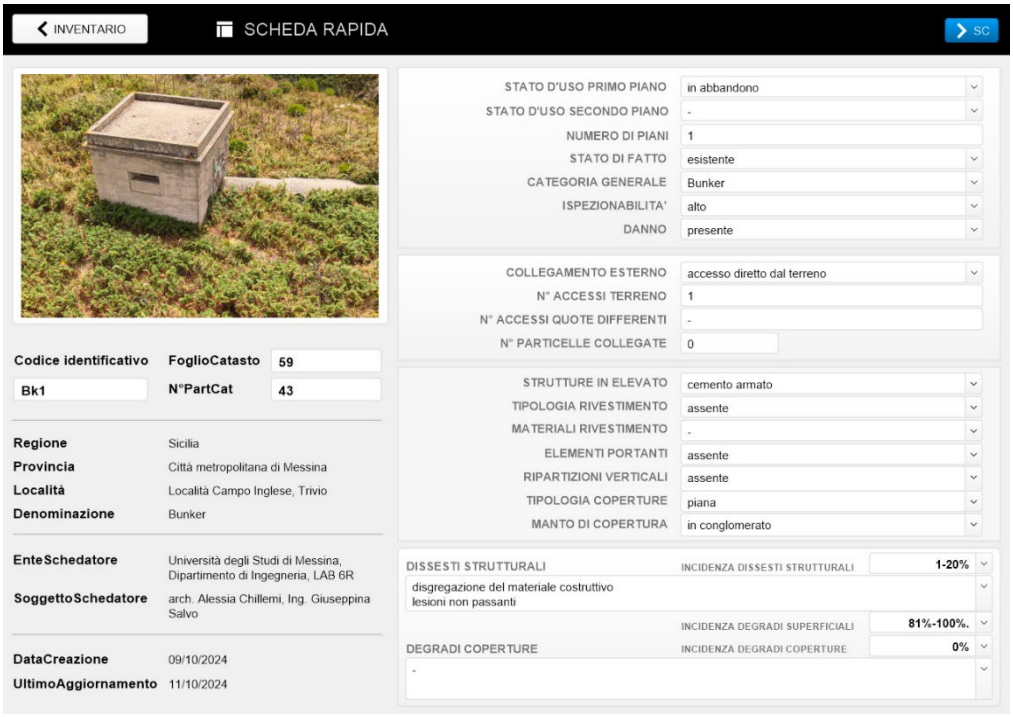


Fig. 7 - Esempio di Scheda Rapida redatta per uno dei tre Bunker monoarma collocati lungo la SP 44, in località Trivio. Coordinate 38° 14' 53.8188N, 15° 32' 59.9712E (elaborazione di Alessia Chillemi, 2024).

linee di rifornimento protette. In particolare, l'artiglieria giocò un ruolo fondamentale nella difesa della città, col dispiego di numerose batterie di cannoni, sia costieri che di medio calibro, posizionate strategicamente per coprire l'intero perimetro difensivo. Questi pezzi d'artiglieria, insieme alle mitragliatrici sistemate nei bunker, costituirono quindi il cuore del sistema di difesa - cosiddetto attivo - della città peloritana durante la campagna in Sicilia.

Oltre alle postazioni di osservazione visiva, la linea difensiva di Messina si avvaleva anche di un particolare tipo di struttura, "I Muri d'ascolto". Si tratta di grandi strutture in calcestruzzo a forma di parabola (alcuni anche piani), progettate per captare e amplificare i suoni provenienti dal mare

e dal cielo. Queste apparecchiature passive di rilevamento acustico permettevano di individuare l'avvicinamento di navi, imbarcazioni e anche aerei nemici ben prima che fossero visibili all'orizzonte. Posizionati in punti strategici lungo la costa, fungevano da primo avviso dell'arrivo delle forze alleate. I suoni captati dai setti murari verticali venivano convogliati verso le postazioni di ascolto e osservazione, permettendo di attivare tempestivamente il sistema di allarme radio e di coordinare la risposta delle batterie d'artiglieria costiera e/o del retroterra (sulla base della provenienza del segnale acustico) per organizzare un fuoco di sbarramento più efficacemente mirato e immediato (Alberghini Maltoni, 2019).

2. Acquisizione e digitalizzazione dei dati

L'acquisizione dei dati è stata effettuata tramite l'utilizzo di differenti strumentazioni. Per i rilievi sono stati impiegati il laserscanner Leica BLK360 e il drone DJI Mavic 3T dotato di modulo RTK per la corretta geolocalizzazione degli scatti e, di conseguenza, del modello digitale elaborato. La georeferenziazione è stata eseguita con il GPS Leica Zeno FLX100 anch'esso con RTK, mentre le foto sono state acquisite con macchine fotografiche Nikon D90 e D5600.

I dati fotografici raccolti sono stati successivamente elaborati con il programma *Agisoft Metashape* con cui si è restituito un modello digitale di due gruppi di bunker georiferiti e catalogati.

2.1. Catalogazione e schedatura degli elementi

La seconda fase del lavoro ha previsto il data arricchimento del database creato in *FileMaker Pro 19* relativo al territorio di Messina. Le schede redatte (fig. 7) sono il frutto di uno studio e di una sintesi di quelle proposte dalla CDR (6) (Fiorani, 2023). I campi e i *record* appositamente selezionati per rendere la schedatura speditiva e di facile compilazione, sono stati implementati, ove necessario, con le apposite terminologie derivanti dal lessico militare a cui afferiscono le strutture oggetto d'indagine. Nello specifico si è reso necessario inserire nel vocabolario chiuso del campo "Categoria generale" i termini "Batteria" e "Bunker".

È stato altresì indispensabile ridefinire l'organizzazione generale d'inventariazione del sistema in *FileMaker Pro 19* al fine di ottenere una gerarchizzazione articolata e dettagliata dei dati raccolti: -Provincia -Comune - 1. Città; 2. Piccole città e sobborghi; 3. Zone rurali - 1. abitato; 2. Archeologia classica; 3. Archeologia medievale; 4. Archeologia bellica; 5. Archeologia industriale. La classificazione dei comuni segue quanto indicato dal Regolamento (UE) 2017/2391, ossia basandosi sul grado di urbanizzazione DEGURBA (Istat 2023, p.18).

Il presente lavoro, ancora *in itinere*, ha portato alla compilazione delle schede rapide e complesse dei due raggruppamenti sopracitati. All'interno della Scheda Rapida sono stati inseriti i campi confluenti all'interno del software QGIS per la realizzazione della cartografia tematizzata, mentre nel formato Scheda Complessa sono stati implementati i dati e inseriti in "struttura a schede" così articolata: Anagrafica, Localizzazione, Sistema Edilizio, Accessi, Elementi Costruttivi Verticali, Rivestimenti e Decorazioni, Elementi Costruttivi Orizzontali, Stato Di Conservazione.

2.2. La digitalizzazione georiferita in QGIS

La fase successiva si è esplicata nello studio finalizzato alla georeferenziazione delle singole architetture (fig. 8) all'interno della sezione riservata all'archeologia bellica, in seno al progetto QGIS di più ampio respiro avviato dal Lab6R a partire dal 2023. Monitorando le evoluzioni e gli eventuali cambiamenti, rilevabili dalle ortofoto derivate dai Voli ATA negli anni (dal 1988-'89 al 2012), sono state posizionate le aree in cui ricadevano le Batterie - attive e/o dismesse durante la Campagna di Sicilia - e, puntualmente, i presidi deputati alla difesa attiva, all'osservazione e alla radiocomunicazione (ossia alla difesa passiva) sparsi sul territorio peloritano e in affaccio sullo Stretto quale Piazza Militare Marittima.

Si sono quindi prodotte delle carte tematiche del solo territorio peloritano contenenti le informazioni attinenti a diversi aspetti della difesa promulgata durante gli anni delle operazioni belliche, ossia prima dell'evacuazione delle truppe italo-tedesche. Nello specifico, nella carta territoriale (scala 1:150000) sono state evidenziate e categorizzate la viabilità principale e quella secondaria insieme ai corsi d'acqua, in quanto vie di possibile o probabile penetrazione e perciò costantemente presidiate con postazioni armate (fig. 8). A tale scopo è stata evidenziato il profilo orografico del terreno mediante DEM ombreggiato, così che spiccasse la distribuzione areale dei sistemi integrati di grandi batterie, bunker e Tobruk (fig. 9), che ancora punteggiano fittamente il versante più settentrionale della Sicilia, e il singolo muro d'ascolto (o *Mirror Wall*) posto invece a sud di Messina (7)

A ciascuna geometria è stata infine collegata la scheda per catalogarne la tipologia architettonica specifica e descriverla dettagliatamente (fig. 7), al fine di perpetuare la, seppur amara, memoria storica di vestigia per lo più abbandonate (Parisi, 2023).

3. Conclusioni

L'utilizzo di software come QGIS e *FileMaker Pro 19* nella ricerca risulta essere cruciale, poiché offrono non solo dei supporti fondamentali per la gestione e l'analisi dei dati, ma permettono di ottenere quadri d'insieme e interpolazioni di informazioni che aprono a prospettive differenti per lo studio del territorio.

L'implementazione costante di dati del sistema GIS, resa possibile grazie alle ricognizioni organizzate e sistematiche svolte dal LAB6R, si configura come strumento utile e necessario per una più consapevole conoscenza del territorio.

L'output di tale lavoro rappresenta uno strumento utile non solo a chi voglia approcciarsi allo studio dell'*hinterland* di Messina, ma soprattutto costituisce un valido supporto alla PA per il monitoraggio facilitato del patrimonio architettonico e archeologico, valutandone

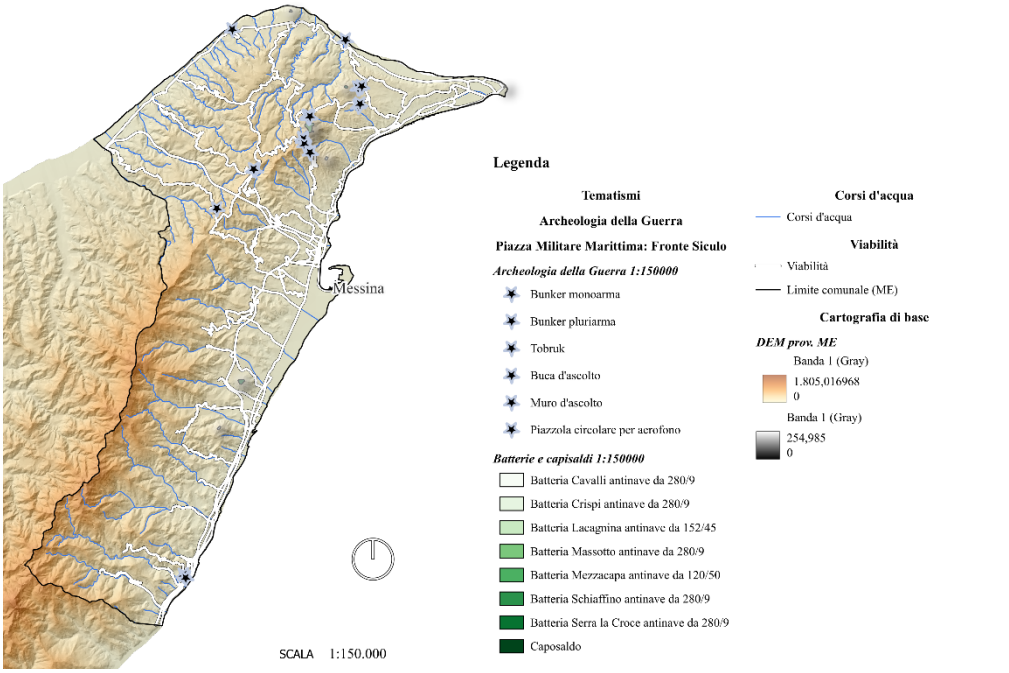


Fig. 8- Carta tematica "Archeologia della Guerra" contenente la disposizione delle architetture belliche sul territorio di Messina (elaborazione di Giuseppina Salvo, 2024).

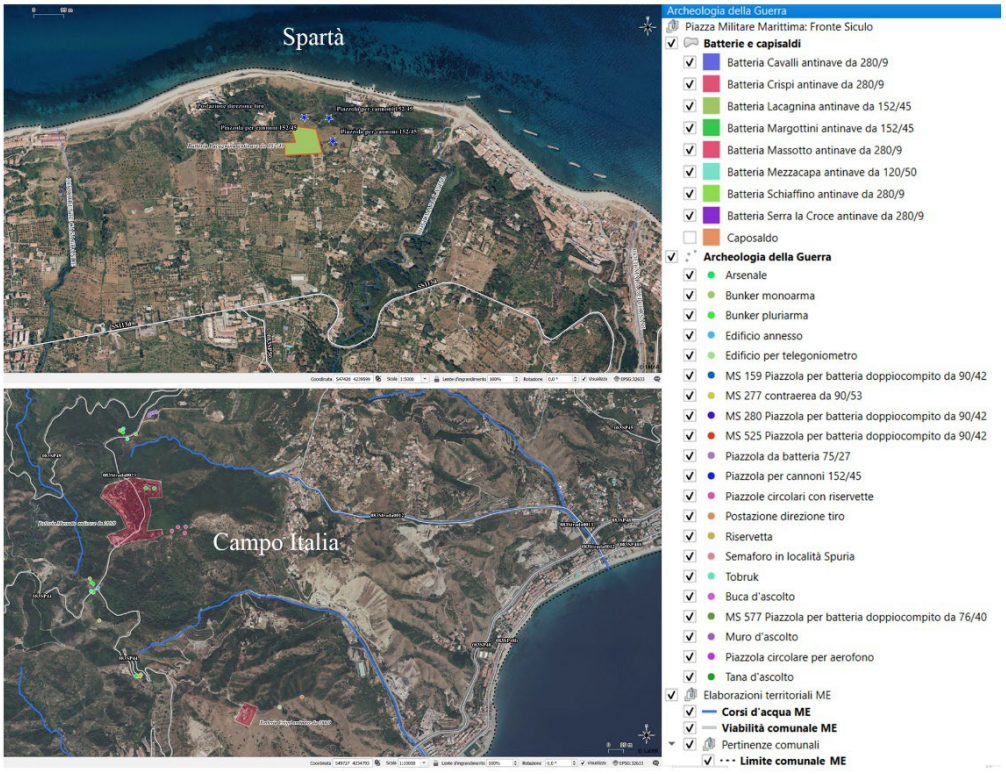


Fig. 9- Focus stralciati sulla Batteria Lacagnina in località Spartà e sui sistemi riferibili alla Batteria Masotto presso "Campo Italia" in località Annunziata alta (elaborazione di Giuseppina Salvo, 2024).

lo stato conservativo nell'ottica di programmi di valorizzazione del territorio.

Note

(1) Questo lavoro è stato parzialmente finanziato dall'Unione Europea (NextGeneration EU), attraverso il progetto MUR-PNRR SAMOTHRACE (ECS00000022).

(2) Milizia da Costa.

(3) Milizia Artiglieria Marittima.

(4) Royal Air Force, aeronautica inglese.

(5) United States Air Force, aeronautica americana.

(6) Carta del Rischio

(7) Il Muro d'ascolto si trova in località San Placido di Calonerò lungo la SP35. Coordinate N 38° 4' 29.1648 E 15° 29' 17.3328.

Bibliografia

Alberghini Maltoni, L. (2019) *Prima del Radar*, Lecce, YouCanPrint.

Caniglia, M.R. (2023) Le Casematte in Calabria. Architetture di un sistema difensivo del Novecento. In: Bevilacqua M.G. e Ulivieri D. (eds) *Defensive Architecture of the Mediterranean*, Vol. 13: Proceedings of FORTMED – Modern Age Fortification of the Mediterranean Coast, 23-25 Marzo 2023. Pisa, Pisa University Press, pp. 475-464.

Clerici, C.A. (1996) Le difese costiere italiane nelle due Guerre Mondiali, Parma, Albertelli.

Donato, A. (2014) *La Piazza Marittima di Messina (1939-1943)*, available at: https://www.societaitalianastoriamilitare.org/quaderni/quad%202014.pdf. (Accessed: 04/10/24)

Donato, A. (2017) Messina 1860–1943. Storia e Archeologia Militare di una piazzaforte contesa. Oxford, BAR Publishing.

Fiorani, D. (2023) *Centri storici, digitalizzazione e restauro: Applicazioni e ultime normative della Carta del Rischio,* available at: https://www.google.it/books/edition/Centri_storici_digitalizzazione_e_restau/e8DOEAAAQBAJ?hl=it&gbpv=1&pg=PP1&printsec=frontcover. (Accessed: 03/10/24).

Istat, (2023) *Rapporto annual 2024. La situazione del Paese*, available at: https://www.istat.it/it/files/2024/05/Rapporto-Annuale-2024.pdf. (Accessed: 04/10/24).

Kauffmann, J.E & Jurga R.M. (2002) *Fortress Europe. European Fortifications of World War II,* available at: https://prussia.online/Data/Book/fo/fortress-europe-european-fortifications-of-world-war-2-2002/Kaufmann%20J.,%20Jurga%20R.%20Fortress%20Europe.%20European%20Fortifications%20of%20World%20War%20II%20(2002),%20OCR.pdf (Accessed: 09/10/24).

Kauffmann, J.E & Kauffmann, H.W. (2014) *The Forts and Fortifications of Europe, 1815-1945:The Central States. Germany, Austria-Hungary and Czechoslovakia,* available at: https://prussia.online/Data/Book/th/the-forts-and-fortifications-of-europe-1815-1945/Kaufmann%20J.,%20Kaufmann%20H.%20The%20Forts%20and%20Fortifications%20of%20Europe,%201815-1945%20(2014),%20OCR.pdf (Accessed: 09/10/24).

Mariotti, C., Ugolini, A. & Zampini, A. (2018) I bunker tedeschi a difesa della Linea Galla Placidia. Conservare un patrimonio dimenticato, *ArcHistoR*, Volume (9), pp.148-193.

Parisi, A. (2023) Il GIS per la conoscenza e la valorizzazione del sistema delle strutture fortificate della Sicilia centrale. In: Bevilacqua M.G e Ulivieri D. (ed.), *Defensive architecture of the Mediterranean*, Vol. 14: Proceedings of FORTMED – Modern Age Fortification of the Mediterranean Coast, 23-25 Marzo 2023. Pisa, Pisa University Press, pp. 727-734.

War Two, Brockton, Keystone Print.

White, N.W. (1947) *From Fedala to Berchesgaden, a history of Seventh United States infantry in World*

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20337

The medieval fortress of Catino (Poggio Catino, RI). Recent digital survey and new architectural interpretations

Andrea Angelini[a], Viviana Petraroli[b]
[a] Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale, CNR ISPC, Roma, Italia, andrea.angelini@cnr.it, [b] Ricercatore Indipendente, Taranto, Italia, vivianapetraroli@tiscali.it

Abstract

The analysis of the architectural palimpsest, the study of sources and archival research has been the cornerstones of the project involving the medieval fortress of Catino (Poggio Catino, RI). Through the application of a systematic method of investigation, the project proposed a novel model of historical and architectural reconstruction of the settlement, allowing clarity on one of the best-preserved and most scenic sites of the Sabina tiberina. Since the 9th century onward, the area appears to be firmly in the hands of the Abbey of Farfa, controlling the road junction that lead to the cave of San Michele Arcangelo in Monte Tancia, already recorded in ancient times as *via ad cisternam*.
Through research and the study of ancient sources, it has been possible to recognize several passages of ownership, each of which involved the construction of infrastructures that developed around the first nucleus composed of the four-sided tower and religious building, of which a planimetric representation is proposed for the first time.
28 m high, the main Catino pentagonal tower is presented as part of a specific defensive system. The tower has been the subject of a laser scanner and photogrammetric survey that aimed to return a updated graphic documentation. More than 50 scans were made between the exterior of the fortress and the interior of the tower. The latter returned very important information on the development and management of the spaces inside and made it possible to represent an updated plan of the entire monument.

Keywords: Poggio Catino Tower, Rocca of Catino, 3d modelling, medieval fortress, 3D laser scanning.

1. Introduction

In February 2021, an intensive research and study campaign was launched on the fortress of Catino (Rocca of Catino). The challenge was to clarify, for the first time through the use of a systematic method of investigation and recent technologies, the historical vicissitudes that have marked the long history of the Sabine monument, which are still partly unclear.

It was therefore necessary to begin the investigation by studying the various medieval historical sources relating to the territorial dominance of the Abbey of Farfa in a geographical context, that of lower Sabina, which at the dawn of the medieval age was still strongly conditioned by the Roman *facies*. In fact, the Rocca of Catino is only documented from the mid-11th century onwards (Giorgi & Balzani 1887-1914) (Fig.1).

The research presented here inevitably also involved an examination of historiographic and documentary material concerning the tower and the fortified settlement of Catino. This documentation is unfortunately limited to a few local studies based on folklore tradition and on the main news that can be reconstructed from historical sources. Sperandio is the first scholar who in 1790 associates the Fortress of Catino with a Longobard foundation (Sperandio, 1790). He in fact connects King Desiderius, by descent, to a certain Alberico. His will, dated 950 A.D.,

BY-NC-SA

mentions the *castle* of Catino among the inherited properties, but this document later proved to be inauthentic.

Starting from this note, historical and architectural reconstructions concerning the fortress were scarce and superficial until 1986 (D'Amelia 1986) and later 1996 (Cortesi, 1996).



Fig. 1- The Rocca of Catino from the sinkhole view (photo by authors, 2024).

These two works should undoubtedly be acknowledged for having systematically and accurately collected all the information circulating on the development and birth of the settlement, and for having attempted a scientific approach in the Sabine area, in which it has only recently been possible to carry out in-depth archaeological investigations and explain the dynamics of population and territorial and anthropological development.

Finally, it was necessary to carry out an in-depth examination of the masonry and the census of coeval and neighbouring settlements that constitute an important chronological comparison (De Meo, 2006).

A new historical-architectural interpretation of the entire settlement is proposed through the combined reading of stratigraphic wall analysis and interpretation of ancient sources, supported by a renewed and accurate original three-dimensional survey of all the elevations and the tower.

2 The territorial context

The territorial context of this research is conventionally defined as low Sabina, delimited by the middle valley of the Tiber River and the Sabine mountains. The fortress of Catino controls the only pass that still allows the entire Sabine area to be crossed easily, going over the green peaks of Mount Tancia and connecting the middle valley of the Tiber River with Rieti and the innermost area of the Apennines, through a well-defined road network (Fig. 2). The fortified settlement rises at the base of an ancient road, still in use, that crosses the locality of Cisterna and led, already in ancient times, to the hermitage dedicated to San Michele Arcangelo. The Rocca of Catino develops on a *plateau* to the north-east of the settlement, which has a characteristic '*spindle*' shape, along an important doline, like the more famous Revotano doline, only a few kilometres away (Toubert, 1973).

3. A brief history of the Rocca of Catino

A brief summary of the history of the Rocca of Catino is necessary in order to understand the many activities that have taken place over the course of time and that have been detailed in a specific volume published in 2024 (Petraroli, 2024).

The first historical mention of Rocca of Catino dates back to the year 898 A.D., during the Saracen invasions of *Latium*, probably used at this stage as a base for raids in the area. No material traces remain of this first phase, but it is probable that Catino was a fortified construction made of perishable material.

From the middle of the 11th century, the *castellum* of Catino is mentioned several times in the documents of the Regesto of Farfa. To this phase belong the first masonry constructions made of local stone, with sporadic wedges, in undulating, split or converging rows. In the settlement of Catino, in this phase, traces remain of the quadrangular tower (Fig. 3, a), located in the north-east corner of the area, and the main façade of the religious building, mentioned from 1067

and consecrated to *Our Lord Jesus Christ* (Giorgi & Balzani, 1887-1914) (Fig. 3, b).

In 1308, Catino was part of the dowry of Margherita Bucamazzi, wife of Teobaldo di S. Eustachio. The noble Roman family is probably responsible for the construction of the north-south perimeter wall made of local stone blocks of varying dimensions in disorderly rows, which is attached to the pre-existing four-sided tower (Fig. 3, c). In addition, the circular tower (Fig. 3, d) in the south-east corner of the settlement must have been added at this time. At this stage, the fortification wall must have been completed with a further section to the north (Fig. 3, e).

In 1478, the Roman counts sold the castle of Catino to Meliaduce Cicala for 700 ducats. At this stage, the fortress was no longer to be used to control the road network but became a symbol of the power of its new owner. Cicala built the first core of the pentagonal tower in medium-large blocks of local limestone in sub-horizontal rows (Fig. 3**,** f). The structure referable to this first phase is characterised by two floors, located below the current entrance to the tower. In 1481, the settlement was donated to the Roman Hospital of St. John the Baptist and, in 1483, it was owned by Paolo Orsini, who was responsible for the further elevation of the tower. This, at the end of this intervention, reaches a height of 28 m and is one of the so-called *'pointed towers'*. The elevation, which externally follows the pentagonal plan, is internally defined by a single trapezoidal space, 20 m high.

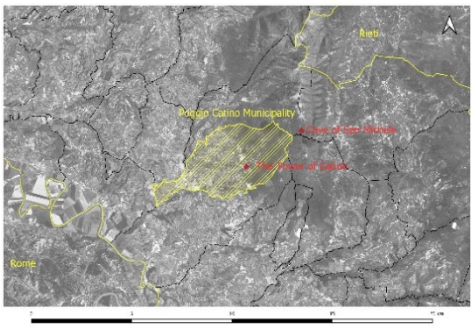


Fig. 2- The Municipality of Catino between Rome and Rieti projected on Google maps (graphic elaboration by authors, 2024).



Fig. 3- General plan of the fortress of Catino (graphic elaboration by authors, 2024).

In 1588 the castle is sold to the Counts Savelli. Finally, in 1597 it was sold to Mario Capizzucchi and in 1614 to Settimio Olgiati.

The last descendant, in 1853, definitively renounced the Catinese property in favour of the newly founded municipality of Poggio Mirteto (RI).

4. The 3D survey activities on Catino

As part of the project, a data acquisition campaign was carried out, at different scales, through the integration of different survey techniques. In particular, integration was made between laser scanner and drone photogrammetric acquisitions, a system now widely used in archaeology and architecture (Remondino & Campana 2014; Calisi et al. 2023).

The objective was to survey the status quo of what remains of the entire fortification and to carry out archaeological interpretations of the fortification's structures for a more in-depth understanding of an archaeological complex in the Sabine region that has been little investigated to date.

A further objective was also to completely survey the interior and exterior of the Catino pentagonal tower that stands over the entire area in order to study its masonry characteristics and define its main construction phases. The field acquisition activity was mainly divided into three distinct moments:

- the first related to the laser scanner acquisition from the ground of all the visible structures that covered the high plateau (430 m^2), taking into account that the northern and southern slopes are completely overhanging and difficult to access for a laser scanner survey;

- the second involved the photogrammetric acquisition from the ground and from UAV of the tower and the surrounding area with zenith and oblique shots as well as an accurate acquisition of the north and south sides relating to the north façade of the tower and the south façade of the church;

- the last part involved the laser scanner survey of the tower's interior (Fig. 4). For the first time, a survey of the exterior and interior of the tower of the Rocca of Catino was carried out through the use of a laser scanner. The data acquisition activity was peculiar, as the only access to the tower is through a small door of 1,70 m on the west façade at a height of approx. 8 m above the current floor level.

In fact, it was necessary to have scaffolding erected close to the tower in order to be able to climb up to the height and thus gain access to the inside of the structure.

The connection and control of data registration errors between the two parts was carried out through the door and the windows on the tower's territory located at the highest part (28 m), in the casemate (Dong et al. 2020).

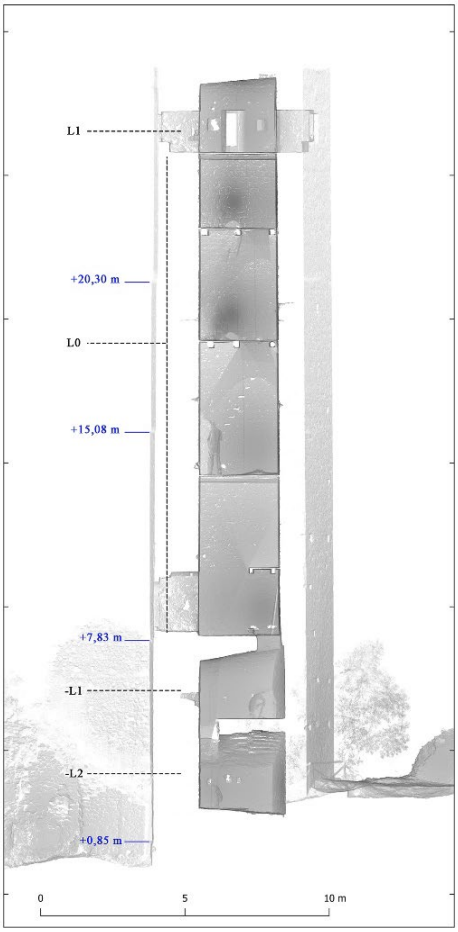


Fig. 4- The main section of the tower with the levels and tapering heights of the elevation (graphic elaboration by authors, 2024).

More than 50 scans were made between the exterior of the fortress and the interior of the tower. The latter highlighted very important

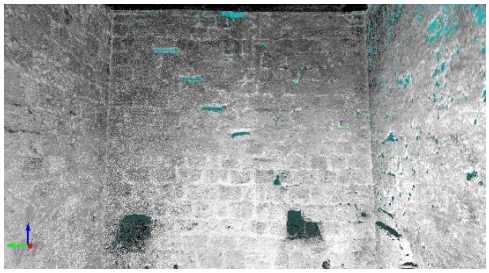


Fig. 5- 3D model of the L0 level with signs of wooden steps and beams for intermediate floors (graphic elaboration by authors, 2024).

information on the development and management of the spaces inside and made it possible to represent an updated plan of the entire structure.

On the outside, the tower is characterised by an irregular pentagonal plan with the tip strongly flattened towards the north-east (Fig. 3;f).

The interior is characterised by a structure that is developed on at least four distinct levels of different heights, as visible in figure 4 where a section is shown.

The entrance door at 8 m gives direct access to what must have been the last construction phase of the tower (L0). It cannot be excluded that the same access door was also used for the first construction phase of the tower and that it has been modified over the course of a few years, as some traces with the lower level would suggest. The plan at this level is trapezoid shaped with the longer side corresponding to the tip of the pentagon towards the north-east.

The space measures 2,80 m in width and 3,20 m in length (on the major side). To the left of the door, at the bottom, there is a little opening that probably served for liquid drain.

A series of wooden ladders led up to the casemate for sighting (L1). On the walls are the holes for the wooden stairs and the holes for the intermediate floor beams used to reach the top level (Fig. 5). Today, the ancient floors have been replaced by those from the recent restoration in the 1990s, from which it was possible to take laser

scans. A little opening in the L0 floor, 0,77 m long by 1,12 m wide, on the east wall gives access to the two lower levels.

The lower levels (-L1, -L2), belonging probably to the first construction phase of the tower, are instead characterised by a pentagonal plan that follows the external geometric shape. The first lower level (-L1) has holes for shelves on the two long sides (a wooden beam is still in situ) and a roof with a right-cone vault on a pentagonal plan tapering towards the west, as visible in the figure (Fig. 6). There is also a small window on the west wall, which has been partly filled in with masonry, probably as a result of the upgrading work due to the tower's elevation.

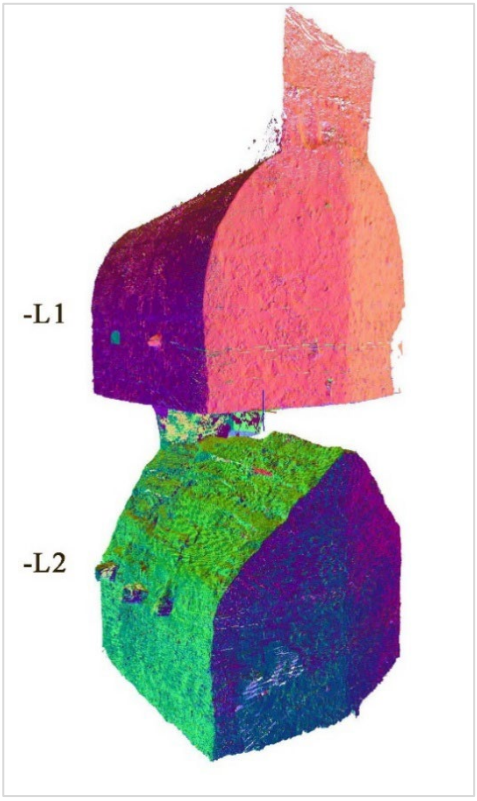


Fig. 6- Inclination map of the two lower levels that should belong to the first construction phase.

On the same side, another opening in the floor provides access to the second lower level (-L2). This level should correspond to the first space of the tower, which still maintains a pentagonal plan. Interesting, however, is the roofing system present that resembles pseudo-vault systems (Fig. 6; -L2). On the north and south walls there are holes of modest dimensions (approx. 0,20 m and 0,15 m) probably relating to a roof centring system that shows in the intrados the negative marks of the wooden boards on which the conglomerate for the floor was placed. The survey reveals at least three distinct strips of

wooden planking, which, however, create a gable roof and not a push-system like that of the vaults. The difference in construction techniques between the second lower level and the first lower level suggests two distinct construction moments, however, the historical sources do not confirm this difference.

In the transition between the first lower level (-L1) and the current access room (L0), there is a constructive discontinuity between the trapezoidal and pentagonal plan. In fact, a step of the later construction layout is visible in this part.

On the outside, the tower is characterised by two distinct materials and arrangement, one medium-large blocks of local limestone in sub-horizontal rows for the lower part and up to 10 m high; the other medium squared lighter blocks of travertine (sponge stone), probably used to support the weight of such a tall structure. At different heights it has tapering that reduces the thickness of the masonry, which in the lower part is 1,62 m while in the upper part is 1,53 m.

The last level corresponds to the casemate, again characterised by a trapezoidal layout and five windows on each of the tower's sides that allow an overall view of the area for many kilometres. These windows, as is well known, served to control the surrounding area from a height of 27 m. Also in this case, a tapered conical vault was used, on which there is a trapdoor for access to the terrace.

On the northern perimeter wall, adjacent to the tower, due to the poor state of preservation of the masonry, it is not possible to determine whether there are any traces of stairs to the tower door, although it is strongly conceivable.

5. The area outside the tower

The external survey by UAV system was instead used for a reading of the area aimed at the recognition of the surrounding structures and for the integration of the laser scanner survey of the walls of the fortification. Of particular interest was the reconstruction of part of the volumes pertaining to the church (Fig. 7). Currently, only both fronts of the south wall are visible, incorporated in the perimeter masonry of the fortification. On the inner façade, there are several traces of frescoes and the recesses of the wooden beams that must have supported the building's roof. The frescoes on the main wall show small portions related to characters, but whose precise references could not be found.

On the inner façade, there are several traces of frescoes and the recesses of the wooden beams that must have supported the building's roof. The frescoes on the main wall show small portions related to characters, but whose precise references could not be found.



Fig. 7- Image of the two sides of the church still visible (graphic elaboration by authors, year).

The main problem concerned the reconstructive hypothesis of the volumes of the church, considering that a few metres away from the wall is the passageway through the Rocca, which is still in use today and shows no obvious traces of ancient structures.

Thanks to the 3D integrated survey carried out from a height of approximately 10 m, it was possible to hypothesise and verify the anomalies on the ground relating to the layout of the church. The data was appropriately filtered and processed to obtain a Digital Terrain Model (DTM) in false colours with high resolution (Murtiyoso & Grussenmeyer 2017; Angelini et al. 2023) (Fig.8).

In view of the presence of different structures on the Rocca, but above all the considerable height differences in the whole area, it was necessary to filter the data in order to obtain a data threshold that would highlight small variations over the entire area.

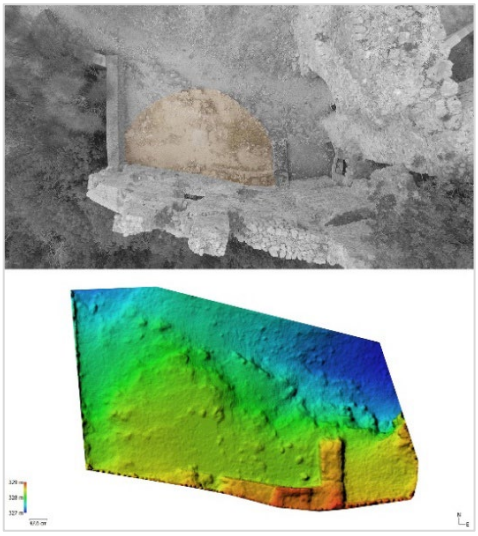


Fig. 8- Digital Terrain Model showing traces of the church plan.

The DTM analysis clearly shows a semi-circular ground plan of the church. On the north side, the church had an apse closure with probable entrances to the structure.
In a drawing of 1527 by an unknown author of the Rocca of Catino, the tower, fortification, church and plateau can be seen very well (Fig. 9) (Cortesi, 1996).

Of particular interest is the representation of the church, which does not seem to have a curved shape, at least at that stage. Instead, from the drawing it seems to be built on a rectangular base resting on the fortification to the north with a pitched roof. The visible access on the west side of the church is also important. In this sense, the data found may not conflict with the drawing but could probably be part of two distinct phases of the church with respect to the building of further structures.

This representation, which provides a perspective of the village as well as the defence system in the middle of the 16th century is interesting above all for horizon line in relation to the observer, which appears to be rather high. However, the projection centre of the observer was imagined to fall actually along the ancient route of the Via Galantina from which such a view of the village was possible.

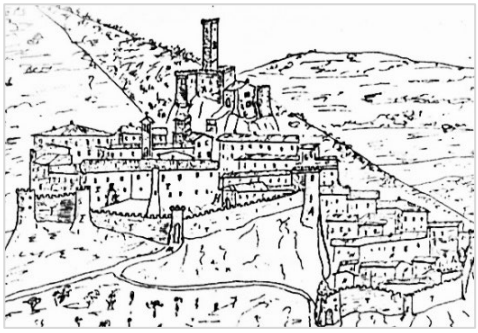


Fig.9 – The perspective drawing of the fortress of Catino as it appeared before 1527 (Cortesi, 1996).

6. Conclusion

6.1 Results of the research on Catino

In this contribution, some of the most important results of the research activity were presented. Based on the observations, the scientific investigation conducted has led to surprising news. It is possible to state that at present nothing remains of an early hypothetical medieval settlement, while the first important material traces date back to the 11th century.

At this stage, the settlement must have been defined by a walled circuit, a four-sided tower located to the north-east along the naturally more exposed slope and a small cult building. Surveys of this have made it possible to advance a reconstructive proposal. In fact, a trace of a wall septum with a curvilinear course closing the still existing façade was revealed. It is therefore possible that the building had a semicircular apse and a pitched roof, as visible in the traces of the main façade. Only later is the fortified apparatus completed with the construction of a circular tower and a perimeter wall with a scarp external profile. The pentagonal tower, on the other hand, in its majesty, reveals two different construction periods between the middle and the end of the 15th century. The survey of the interior led to further information that helped to reconstruct the complex history of the place. The research activity is still ongoing for the necessary in-depth investigation and to complete the study of all the wall structures of the fortress that have not yet been included in this contribution.

Aknowledegements

The research activity on the Rocca of Catino, which started in February 2021, was made possible thanks to the sensitivity and commitment of the Municipal Administration of Poggio Catino (RI) within the framework of a Lazio Region project (1). The on-site survey activities were made possible thanks to the support of the CNR ISPC and the RDR laboratory team coordinated by Andrea Angelini. Thanks, are also due to Giovanni Caratelli and Barbara Foschi for the acquisition of field data outside and inside the tower. Special thanks to the 'Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per l'Area metropolitana di Roma e la provincia di Rieti' for the scientific support.

The contribution is the result of a joint activity between the authors, in particular Andrea Angelini edited paragraphs no. 3,4 while Viviana Petraroli edited paragraphs no. 1,2,5.

Notes

(1) Implementation of Regional Determination No. G12361/2019, project *App@sseggio tra la Torre pentagonale di Catino e la Rocca di Poggio Catino*.

References

Angelini, A., Cozzolino M., Gabrielli R., Gentile V. & Mauriello P. (2023) Three-Dimensional Modeling and Non-Invasive Diagnosis of a Huge and Complex Heritage Building: The Patriarchal Basilica of Santa Maria Assunta in Aquileia (Udine, Italy). *Remote Sensing* 15(9), 2386. https://doi.org/10.3390/rs15092386

Calisi, D., Botta S., and Cannata A. (2023) Integrated Surveying, from Laser Scanning to UAV Systems, for Detailed Documentation of Architectural and Archeological Heritage. *Drones* 7(9), 568. https://doi.org/10.3390/drones7090568

Cortesi, R. (1996) *Catino e Poggio Catino*. Rieti.

D'Amelia, A. (1986) *I Castelli di Catino e Poggio Catino e altri castelli Sabini*. Siena, Edizioni Cantagallo.

De Meo, M. (2006) *Tecniche costruttive murarie medievali. La Sabina. Storia della tecnica edilizia e restauro dei monumenti*. Roma, L'Erma di Bretschneider.

Dong, Z., Liang, F., Yang, B., Xu, Y., Zang, Y., Li, J., Wang, Y., Dai, W., Fan, H., Hyyppä, J. & Stilla U. (2020) Registration of large-scale terrestrial laser scanner point clouds: A review and benchmark. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens, 163*, 327–342.

Giorgi, I. & Balzani, U. (1887-1914) *Liber gemniagraphus sive cleronomialis Ecclesiase Pharphensis: Il Regesto di Farfa compilato da Gregorio di Catino*. Roma, Biblioteca della Società Romana di Storia Patria.

Murtiyoso, A. & Grussenmeyer, P. (2017) Documentation of heritage buildings using Close-range uav images: Dense matching issues, comparison and case studies. *Photogramm. Rec. 32*, 206–229.

Petraroli, V. (2024) *La rocca di Catino. Archeologia e storia di un castello sabino.* Monte Compatri, Espera editore.

Remondino F. & Campana S, (2014) *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage.Theory and best practices*. BAR International Series, Oxford.

Sperandio, F.P. (1790) *Sabina sagra e profana antica e moderna ossia Raccolta di notizie del paese sabino divisa in dieci capitoli con carte corografiche appendice ed indice delle materie*. Roma, Stamperia di Giovanni Zempel.

Toubert, P. (1973) *Les structures du Latium médiéval - le Latium méridional et la Sabine du IXe siècle à la fin du XIIe siècle*. Rome, École francaise de Rome.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20338

Tra dongioni normanni ed echi federiciani, il Castello Rufo Ruffo di Scaletta Zanclea (ME). Ipotesi per la comunicazione e la fruizione

Marinella Arena[a], Sonia Mercurio[b]
[a] Università Mediterranea di Reggio Calabria, Reggio Calabria, Italia, marinella.arena@unirc.it, [b] Università Mediterranea di Reggio Calabria, Reggio Calabria, Italia, sonia.mercurio@unirc.it

Abstract

The castle Rufo Ruffo of Scaletta Zanclea is part of the Federician Castles, a network of defensive structures, built around the XII - XIII century by the will, precisely, of Frederick II of Swabia. These architectures found, generally, their primitive point of support in towers of defence of more ancient erection, dating in most cases to the Norman era.
Under the rule of the Dukes of Bagnara, I Ruffo, the castle is incorporated into a complex system of fortifications to house pieces of artillery. The new fortifications, especially the coastal fortress built on a cliff below that of the castle, resist in 1678 to a siege by the French. If the castle stands on the medieval village, the New Tower (also called Scaletta Tower), which later took the name of "Battery San Placido", controls all the surrounding territory overlooking the coastal road and directly overlooking the sea.
The choice to study this architecture in a systematic and thorough way is mainly due to the extraordinary uniqueness of this factory in the context in which it arises, but also to the opportunity for immediate comparison with similar buildings, both in the context of Federician defensive constructions, and exquisitely referred to the morpho-typological characteristics of the Norman Dungeon of Paternò, Adrano and Motta S. Anastasia, compared to which it seems more similar.
The study, using the tools of survey and drawing, together with an analysis of the historical-geographical context, through topographical and historical-the environment is preparing to develop a communication strategy aimed at supporting the enjoyment of knowledge with graphic and multimedia tools. The data thus obtained are put to the service of the dissemination and exploitation of the asset through various proposals.

Keywords: federician castles, fortified cultural landscapes, architectural survey, valorisation.

1. Introduzione

Il castello di Scaletta, situato sulla costa ionica messinese, fa parte delle strutture fortificate del territorio storicamente conosciuto come Sicilia “citra flumen Salsum", nell'antica divisione amministrativa al tempo di Federico II, e quindi insiste sul versante orientale dell’isola, che comprende la Val Démone e la Val di Noto, al di là del fiume Salso. Aggrappata fermamente su uno sperone roccioso pressoché inaccessibile, segnato da dirupi e pendii ripidi, protetto attorno da valli profonde e impervie, questa *fabrica* racconta ancora oggi storie di resistenza agli assedi, e dei poteri nobiliari che si sono succeduti nel governo di queste terre. Ed è proprio nella storia del territorio che le popolazioni locali hanno il compito essenziale di svolgere un’azione creativa nell’identificare i paesaggi, le loro peculiarità, le relazioni e le contingenze che li hanno modificati, ma anche nel promuovere i valori loro attribuiti, incentivandone la memoria per evitarne l’oblio, mettendo in pratica processi di valorizzazione dell’eredità collettiva.

BY-NC-SA



Fig. 1- Cart. a. G. DELISLE, Particolare della Carte de l'isle et royaume de Sicile, 52,5x98,5 cm, BNF, Département Cartes et plans, inv. Ge Sh 18 Pf 224 Div 1 P 19, post 1719. (G. DELISLE, 1719).

2. Il sistema delle fiumare ioniche, l'interruzione della trama.

Il sistema fortificato della costa ionica messinese, così come lo apprezziamo oggi, è il risultato di processi di difesa di questo territorio protratto sullo stretto di Messina, oltre che di un apparato relazionale forte. Tale sistema di relazioni, nel tempo, ha garantito la difesa costiera proprio in virtù del lavoro sistematico di tutte queste piccole architetture, che alimentando una narrazione scalare, appunto, tra particolare e contestuale, hanno mantenuto una "tensione" continua del paesaggio, fatta da microcosmi, costituiti da ogni elemento puntuale e dal contesto ampio nel quale questi elementi si inseriscono.

Il territorio al quale si fa riferimento rappresenta l'ultimo baluardo di oriente in Sicilia, laddove, proprio nel Val Démone la preponderante presenza di monasteri e cenobi bizantini fece si che gli abati dei monasteri si ergessero a veri e propri feudatari ecclesiastici, i quali riscuotevano i tributi della popolazione, e sulla quale esercitavano anche potestà giuridiche.

Questo sistema di fiumare che dai crinali dei Peloritani si riversa sulla costa ionica risulta essere un "pettine" che interrompe la trama valliva sulla quale si dispongono una serie di piccoli insediamenti urbani che, come dei microcosmi, erano generalmente costituiti da un'architettura religiosa, quella monastica ove esistente, e largamente controllati da alcune fortificazioni, a tutela della popolazione. Ragion per cui i monasteri basiliani costituenti sedi del potere feudale ecclesiastico, governavano la popolazione di quei centri urbani (Scaduto, 1947; Todesco, 2018).

A quest'epoca, però, fare riferimento a veri e propri castelli in Sicilia è piuttosto azzardato se non in parte ingiustificato. Le esigue fonti scritte si riducono a qualche generica menzione di cronisti arabi, o, in numero ancora inferiore, di scrittori bizantini. Ingiustificato, secondo Maurici, perché la storia della Sicilia bizantina autorizza piuttosto a parlare soprattutto di città e cittadine fortificate, definite kástra o frouría dalle fonti greche (1). Tale rete di città e cittadine fortificate (ar. *mudūn*, pl. di *madīna*), eredi quasi sempre di insediamenti antichi e bizantini, farà da canovaccio alla strutturazione del sistema fortificato della *Siqilliyya* islamica (827/902-1061/1091) (2). A tale scopo si fa riferimento a un elenco certamente incompleto di *mudūn* Siciliane, riportato dallo scrittore arabo al-Muqaddasī, intorno al 988. Le fonti storiografiche principali sulla costruzione di castelli di età federiciana sono le epistole del 1239-1240, nelle quali Federico II attesta l'importanza del castello, quale *instrumenta regni*. La lista dei così detti *castra exempta* (quelli, cioè, amministrati direttamente dall'imperatore) del 1240 ricorda in Sicilia citra i castelli di Scaletta e San Fratello, mai menzionati da documentazione normanna e, in Sicilia ultra, i castra di Bellumreparum (Birribaida, in comune di Campobello di Mazara), e Bellumvidere (Belvedere, oggi quartiere di Castelvetrano, Palazzo Tagliavia), ricordati anch'essi per la prima volta (3).

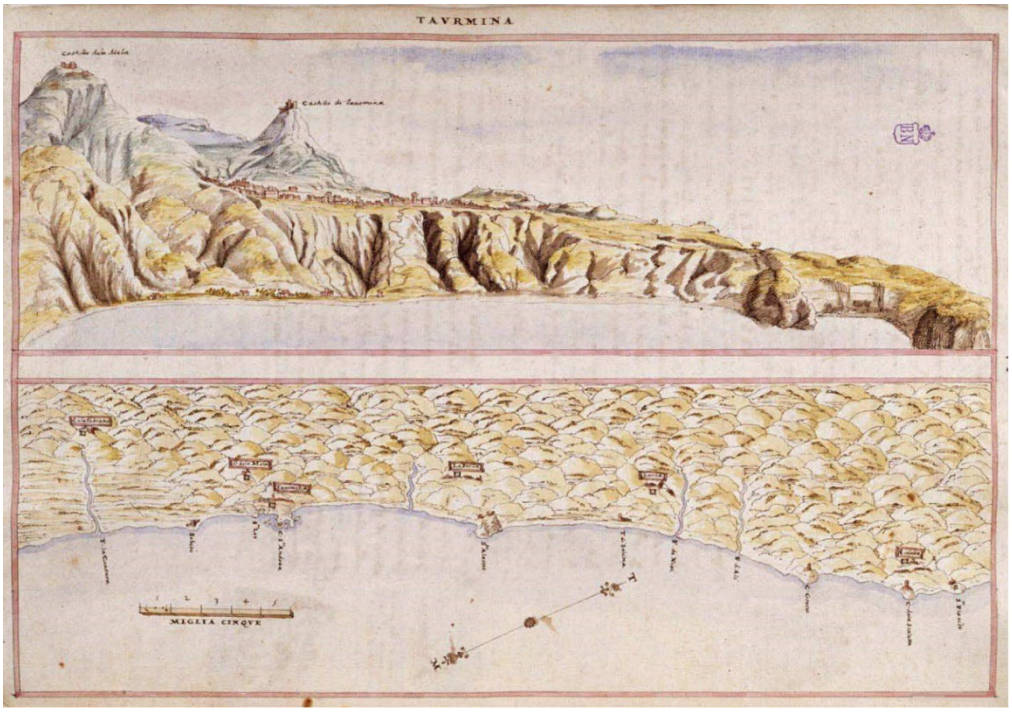


Fig. 2- Cart. b., Tavrmina, 22x22,5 cm, BNE, Descripción de las marinas de todo el reino de Sicilia con otras importantes declaraciones notadas por el Cavallero Tiburcio Spanoqui, del Ábito de San Juan, Gentilhombre de la Casa de Su Magestad dirigido al Príncipe Don Filipe Nuestro Señor, en el año de MDXCVI, ms., MSS/788, f. 25. (Tiburzio Spannocchi, 1596).

3. *Castra exempta*. Il castello di Scaletta Zanclea

Nel corso della sua permanenza in Sicilia, Federico II, sebbene forte di una visione illuminata, vocata alla multiculturalità, si distinse per la forte spinta militaristica e al contempo difensiva e quindi per la definitiva conquista dell'Isola a scapito degli ultimi Musulmani. Per queste ragioni impiegò largamente il suo regno nella costruzione di castelli e fortezze, tesi alla difesa e al controllo del territorio.

Nel tempo gli storici dell'architettura riconobbero all'architettura federiciana dei castelli una sua specificità che, sebbene abbia trovato le prime applicazioni in terra sicula, ebbe la più fulgida espressione nella costruzione di Castel del Monte in Puglia.

Alla produzione fortilizia fatta da manieri costruiti *ex novo* su indicazione dell'Imperatore svevo e da quelli sui quali intervennero i suoi architetti mediante la trasformazione di strutture preesistenti (in seguito eventi del 1232-33), si aggiunsero, postumi, castelli e fortezze, che risultano ancora fortemente pregni della matrice *castrale*.

Nell'accezione siciliana, il castello si presenta come urbano, fortemente votato alla difesa della città. Solo successivamente, nel basso medioevo si connota un tipo di castello isolato, nel quadro di una generale revisione del contado, effetto di una permanente guerra dapprima contro gli angioini, in seguito contro i Baroni.

Per ciò che concerne la "Sicilia Citra", appare evidente come il progetto difensivo dell'Imperatore si costituisca come un disegno organico d'insieme. Federico II intervenne su una distribuzione geografica già precostituita, basata su tradizioni differenti di architettura castrense (bizantina, musulmana, normanna).

I castelli, dunque, rappresentavano il fondamento del sistema castrale del demanio regio. Secondo G. Agnello, il *donjon* di Scaletta, sebbene presenti

origini normanne e *facies* legata al primo intervento edificatorio potrebbe reggere l'ipotesi di una datazione risalente all'età federiciana (4). Le prime tracce relative alla presenza di un insediamento posto dove oggi sorge Scaletta si trova in Muhammad Al-Idrīsī, che ricorda *'ad Dargat 'as sagîrah'* (5) la Scala Piccola posta a due miglia da '*Ayn 'as Sultân'* - la fonte del Sultano (probabilmente l'odierna Guidomandri) e a tre da '*Hag'ar 'abî Halîfah' (odierna spiaggia di Briga)*. Al-Idrīsī, nella sua opera non fa riferimento ad alcun castello o fortificazione presente nei pressi della località.

Solo in seguito la *fabrica*, infatti, fu annoverata nell'elenco dei *castra exempta*, ossia quelle fortezze esentate per quanto riguarda la nomina e la deposizione dei castellani dalla competenza dei *provisores* (6). Scaletta figura ancora, nel 1281, nel nuovo *statutum castrorum* retto "*per castellanum scutiferum non habentem terram in regno et servientes sex*". L'equiparazione del castello di Scaletta ai ben più noti: Nicosia, Milazzo, Monforte, Rometta, Sperlinga. Mistretta, San Fratello per la "Sicilia Citra" e Palermo, Termini, Calatafimi, Calatamauro, Bellumvidere Bellumreparum, Licata per la "Sicilia Ultra", definì l'importanza strategica e militare che la fortezza ebbe nel sistema fortificato federiciano sotto il diretto controllo imperiale. Matteo Selvaggio, ne risulta custode agli inizi del XIII sec., prova secondo cui il castello evidentemente sarebbe stato già edificato ben prima che lo stesso personaggio risultasse insignorito della fortezza, mediante concessione di Federico II nel 1220. Secondo un'epistola del 6 maggio 1239, risulterebbe ancora in possesso del castello il Selvaggio, mentre un trentennio dopo, precisamente nel 1271, Oddo de Martinville conquista il forte ionico durante l'occupazione angioina della Sicilia. Solo un decennio dopo, Michelotto Gatta a capo degli angioini, durante rivolta del Vespro, trova rifugio presso la fortezza di Scaletta e in seguito in quella di Matagriffone a Messina.



Fig. 3- Fotografia aerea da missione di volo Drone (foto delle autrici, 2024).

Instauratasi la monarchia aragonese, il c*astrum* di Scaletta viene concesso da Pietro II nel 1325 a Pellegrino Patti, la cui famiglia deterrà il feudo fino al 1380. Nel nuovo ordinamento dei castelli del regno voluto da Martino I nel 1398, il Castello di Scaletta, che nel 1397 era passato ai Marchese, non figurerà più. Nel 1673 Francesco Ventimiglia vendette il castello ad Antonio Ruffo, duca di

Bagnara, il quale ricevette inoltre l'investitura del Principato di Scaletta, divenendo barone di Yudimandri o Oglio di mandri, odierna Guidomandri (attuale frazione del Comune di Scaletta Zanclea) e del casale di Altolìa. Sotto il loro dominio, il castello viene inglobato all'interno di un complesso sistema di fortificazioni atto ad ospitare pezzi di artiglieria. Le nuove fortificazioni, soprattutto la fortezza litoranea edificata su di una rupe sottostante quella del castello, oggi nota come Batteria "San Placido" resistono nel 1678 ad un assedio dei francesi.

4. Rilievo digitale

Per il rilevamento, è stata applicata la fotogrammetria aerea, consentendo di generare un modello tridimensionale da fotografie digitali. Per l'acquisizione dei dati, ci si è serviti di un Drone DJI Mavic 2 PRO.
Il volo manuale con selezione di fotografie, percentuale di sovrapposizione immagini e l'inclinazione della fotocamera operata manualmente dal pilota è stata ritenuta l'opzione migliore da perseguire, considerata la dimensione del manufatto non particolarmente estesa. Sono state previste due missioni di volo, che comprendessero il Castello Rufo Ruffo e al contempo la "Batteria San Placido" per completezza di indagine. Sono state scattate 309 immagini JPEG. I parametri di volo impostati per entrambe le missioni erano gli stessi, in modo da mantenere l'omogeneità del sondaggio. La sovrapposizione delle immagini scattate è sempre pari al 70% per avere una sovrapposizione ottimale. La restituzione è stata ottenuta tramite il software Agisoft Metashape.

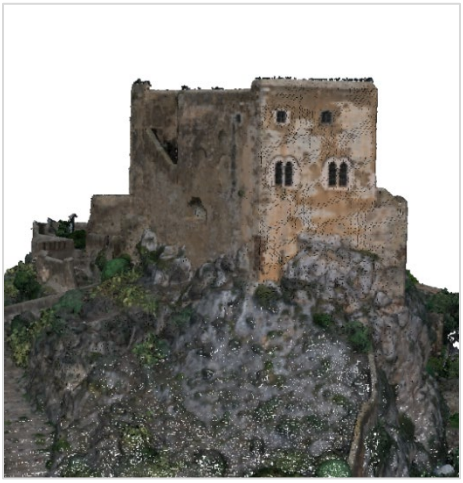


Fig. 4 - Immagine ottenuta dalla nuvola di punti (elaborazione grafica delle autrici, 2024).

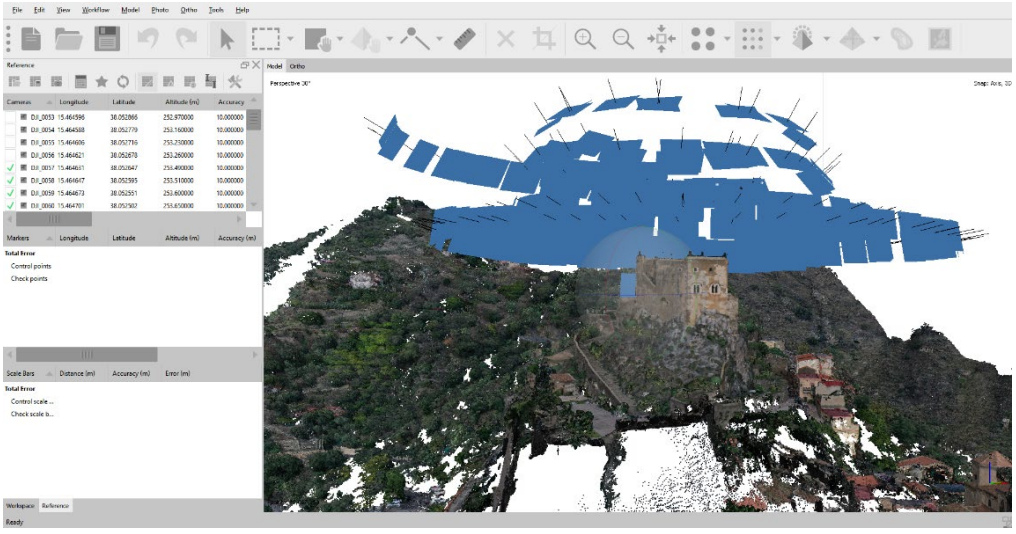


Fig. 5 - Interfaccia del software Agisoft Merashape durante la lavorazione della fotomodellazione (elaborazione grafica delle autrici, 2024).



Fig. 6 - Ortomosaico tratto dalla nuvola densa della fotomodellazione del Castello di Scaletta Zanclea. (elaborazione grafica delle autrici, 2024).

La *fabrica* presenta una pianta trapezoidale, con gli assi principali che misurano rispettivamente 18 e 20 metri circa e si sviluppa su tre livelli. La tessitura muraria è costituita da blocchetti di pietra calcarea non sbozzata e tenuta insieme da malte; i cantonali e le finiture decorative sono stati realizzati con blocchi calcarei ben squadrati.

L'ingresso principale è posto sul prospetto di nord-ovest e si accede mediante una porta ogivale in blocchetti di pietra arenaria agli ambienti interni voltati, in alcuni casi con volte a botte, in altri a crociera. Il livello superiore della fortezza ha un piano terrazzato, accessibile da una prominente scala *en plein air* e sul fronte posto ad est, si aprono due bifore coronate da ghiere ogivali con il classico sopralzo in pomice lavica nera (la terza bifora cadde nel terremoto del 1908) a livello del piano nobile, mentre al piano superiore due piccole monofore. Come di consueto, gli ambienti al primo livello servivano il personale addetto alla difesa del castello.

Questo livello presenta tre ambienti coperti da volte a botte, più un quarto vano più piccolo e riservato. Il piano superiore, ossia il piano nobile, era abitato prevalentemente dal castellano e dalla sua famiglia appare coperto da volta a crociera, sorretta da costoloni poggianti su mensole. Infine, l'ultimo piano, un ammezzato, accoglieva probabilmente la servitù. La presenza di finestre e porte indirizzate verso orizzontamenti mancanti indicherebbero l'utilizzo di solai lignei, oggi scomparsi. Per quanto G. Agnello fosse

indirizzato verso una datazione dell'edificio al periodo federiciano, considerata la specificità delle fonti documentarie, il modello del castello di Scaletta sembra più simigliante ai dongioni normanni di Paternò, Adrano, Motta S. Anastasia, sulla base di caratteristiche legate alla posizione isolata del palazzo rispetto al territorio circostante, al muro di spina che divide in senso longitudinale gli spazi interni di ciascun piano, financo alla presenza delle tre elevazioni canoniche, tipiche di molti dongioni normanni siciliani ed europei. Lo stesso Agnello, infatti, nella descrizione dell'edificio ammetteva di non trovare nella struttura elementi architettonici che potessero essere riconducibili all'età sveva.

5. Conclusioni. Un'ipotesi di valorizzazione

Riallacciare i fili della conoscenza, ricostruendo l'apparato storico, culturale, tecnologico e percettivo, può far emergere trame nascoste nel territorio e nella memoria della popolazione locale, può implementare la consapevolezza del valore di queste architetture. La consapevolezza è sempre il primo passo verso la conservazione e la valorizzazione di un bene, ricollocare il patrimonio architettonico nel suo contesto culturale e paesaggistico è una strategia che valorizza ad un tempo l'architettura e i valori estetici e culturali del paesaggio siciliano.

In ottica di tale processo di tutela e valorizzazione del territorio la ricerca, di cui tale affondo costituisce un tassello, vuole garantire un approccio meta-disciplinare capace di associare al rigore della metodologia scientifica uno storytelling accattivante utilizzando i nuovi media e nuovi strumenti (VR, AR, Social Web, Digital Storytelling) per contribuire alla disseminazione del patrimonio e quindi alla sua conservazione nella memoria culturale. Un sistema di fruizione misto: analogico e multimediale, opportunamente interconnessi, che guideranno l'utente verso un'esperienza culturale e percettiva multidimensionale, in pieno dialogo con il Sistema-paesaggio.



Fig. 7- Interfaccia web app con visualizzazione del modello digitale mediante marker posto su cartografia storica (Augmented Reality). (elaborazione grafica delle autrici, 2024).

Notes

(1) Si veda Maurici 1992, pp. 18-23. Per una introduzione generale allo studio delle fortificazioni bizantine cfr. Ravegnani 1983; Foss, Winfield 1986.



Fig. 8- Interfaccia web app con visualizzazione dei Virtual tour disponibili in repository. Digital Storytelling degli elementi puntuali presenti nei diversi itinerari (elaborazione grafica delle autrici, 2024).

(2) ibidem, Maurici, 1992, pp. 48-89.
(3) Sthamer 1914, p. 58.
(4) Agnello, 1961, pp. 47-61.
(5) Come riporta Santagati L., in Al-Idrisi. Il diletto di chi è appassionato per le peregrinazioni a traverso il mondo (Il Libro di Ruggero) *"La scala piccola"*, oggi la spiaggia di Scaletta Zanclea, frazione a Sud di Messina, che nel nome attuale ha conservato il ricordo dell'asprezza della trazzera".
(6) Sthamer, 1914, pp. 57 s., con l'elenco di questi castelli.

Ringraziamenti

La presente pubblicazione è stata prodotta nell'ambito della ricerca BYZANTINE CULTURAL ROUTES", finanziata dal programma PRIN 2022 PNRR (Progetti di ricerca di Rilevante Interesse Nazionale) compreso nell'ambito dei finanziamenti del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR).

I paragrafi "Introduzione" e "Un'ipotesi di valorizzazione" sono stati redatti congiuntamente dalla Prof.ssa Marinella Arena e dalla Dott.ssa PhD Sonia Mercurio; i paragrafi 2-3-4 (rispettivamente "Il sistema delle fiumare ioniche, l'interruzione della trama" – "Castra exempta. Il castello di Scaletta Zanclea" e "Digital Survey") sono stati redatti dalla Dott.ssa PhD Sonia Mercurio.

Bibliografia

Agnello, G. (1935) *L'architettura sveva in Sicilia*, Catania, Brancato Editore.
Bares, M.M. (2011) *Il Castello Maniace di Siracusa. Stereotomia e tecniche costruttive nell'architettura del Mediterraneo*, Siracusa, Emanuele Romeo Editore.
Bellafiore, G. (1993) Architettura dell'età sveva in Sicilia, 1194-1266, Venezia, Lombardi Editore.
Bottari, S. (1950) *Monumenti svevi di Sicilia*, Palermo, Società Storia Patria Palermo.
Bresc, H. e Maurici, F. (2015) *I Castelli Demaniali della Sicilia Demaniali del XIII e XIV secolo*. Palermo, Dipartimento dei beni culturali e dell'identità siciliana.
Bruschi, A. & Miarelli Mariani, G. (1975*) L'architettura sveva nell'Italia meridionale: repertorio dei castelli federiciani.* Firenze.
Cadei, A. (2002) *Le origini dei castelli quadrati federiciani. Aggiunte all'ipotesi crociata*, in A.C. Quintavalle, Medioevo: i modelli, atti del convegno internazionali di studi (Parma, 27 settembre – 1 ottobre 1999), Milano, pp. 497-506.
Kantorowicz, E.H. (1981) *Federico II, imperatore.* Milano, Garzanti editore.
Maurici, F. (1997) *Federico II e la Sicilia. I castelli dell'Imperatore.* Catania, G. Maimone Editore.
Pistilli, P.F. (2014) *Sulle orme di Riccardo da Lentini, «prepositus novorum hedificiorum» di Federico II di Svevia*, in G. Bordi et al., L'officina dello sguardo. Scritti in onore di Maria Andaloro, I, I luoghi dell'arte, Roma, pp. 127-136.
Pistilli, P.F. Gianandrea, M. (2020) *Il voltar pagina della Corona sveva. Incontri e convergenze negli insediamenti federiciani della Sicilia ionica*. "Arte medievale", 10, pp. 115-134.
Schramm, P.E. (2015) *I simboli del potere dell'imperatore Federico II*, a cura di G. Arnaldi, Soveria Mannelli.
Sthamer, E. (1914) *Die Verwaltung der Kastelle im Königreich Sizilien unter Kaiser Friedrich II. und Karl I. von Anjou*, Leipzig 1914 (trad. it. *L'amministrazione dei castelli nel Regno di Sicilia sotto Federico II e Carlo I d'Angiò*, a cura di H. Houben, Bari 1995)
Tosco, C. Bares, M. M., Bella, T., Linguanti, F. & Panicco, A. (2023) L'architecture des châteaux frédériciens en Sicile: perspectives de recherche. In: *Fortification et pouvoirs souverains. Architecture fortifiée et contrôle des territoires, atti del convegno internazionale (Carcassonne, 18-21 novembre 2021)*, Ampm, Carcassonne.
Willemsen, C.A. (1979) *I castelli di Federico II nell'Italia meridionale*. Napoli, Società Editrice Napoletana.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20339

Paesaggi fortificati. Pissignano e i castelli triangolari dell'Appennino Centrale

Fabio Bianconi[a], Marco Filippucci[b], Simona Ceccaroni[c], Claudia Cerbai[d], Filippo Cornacchini[e], Matilde Cozzali[f], Michela Meschini[g], Andrea Migliosi[h], Chiara Mommi[i], Rebecca Rossi[l], Laura Suvieri[m]*

[a-b-c-d-e-f-g-h-i-l] Università degli Studi di Perugia, Perugia, Italia, [a] fabio.bianconi@unipg.it, [b] marco.filippucci@unipg.it, [c] simona.ceccaroni@dottorandi.unipg.it, [d] claudia.cerbai@dottorandi.unipg.it,[e] filippo.cornacchini@dottorandi.unipg.it, [f] matilde.cozzali@studenti.unipg.it, [g] michela.meschini@unipg.it, [h] andrea.migliosi@dottorandi.unipg.it, [i] chiara.mommi@dottorandi.unipg.it, [l] rebecca.rossi2@studenti.unipg.it, [m] Università di Catania, Catania, Italia e-mail: laura.suvieri@phd.unict.it

Abstract

Fortresses in Umbria represent a distinctive element of the regional landscape, where architecture and territory intertwine harmoniously. These fortified settlements, often located on ridges and slopes, were designed to meet defensive and functional needs, making the most of the area's morphological features. The fortifications integrate with the landscape, not only as strategic defenses but also as aesthetic elements that enhance the surrounding natural context. The village of Lizori serves as an emblematic example of this interaction between built structures and nature, with an urban layout that adapts perfectly to the hilly terrain. It highlights how medieval construction techniques responded to the challenges posed by the landscape. Topographic relief, used as a key tool to understand the relationship between built and natural environments, offers new interpretations of its historical evolution. The use of BIM enables the creation of an interactive model that documents, manages, and enhances the heritage, opening new opportunities for the preservation and enjoyment of the Umbrian landscape.

Keywords: Fortified architecture on slope, triangular layout, landscape analysis, digital representation.

1. Introduzione

1.1 Comprendere il territorio

L'analisi del paesaggio e del territorio è una pratica fondamentale per comprendere e interagire con lo spazio geografico in cui le comunità umane vivono e operano.

Questa lettura approfondita del territorio si avvale di strumenti interdisciplinari, che spaziano dalla cartografia all'interpretazione dei segni visibili, integrando componenti naturali, storici, architettonici e culturali. Tale approccio consente di decifrare la complessità di un luogo, rivelando le dinamiche naturali e antropiche stratificatesi nel tempo. I segni del paesaggio (Filippucci, 2013) diventano così preziose testimonianze: ogni traccia, sia essa naturale, come rilievi e corsi d'acqua, o frutto dell'intervento umano, come edifici storici e infrastrutture, racconta l'interazione tra uomo e ambiente.

Uno dei concetti chiave nella lettura del paesaggio è il dialogo tra gli elementi visibili e l'ambiente circostante, una reciproca influenza che emerge dal rapporto tra natura e cultura. Dialogo che si manifesta nella fusione visiva tra costruzioni e paesaggio, nei processi di degrado e recupero, e in ogni traccia lasciata dal passaggio dell'uomo. Il paesaggio stesso, infatti, non può essere inteso unicamente come un aggregato di elementi statici; esso si configura piuttosto come un'entità viva e in continua evoluzione, capace di

BY-NC-SA

custodire e tramandare le memorie del passato, riflettendo e assorbendo le trasformazioni in atto. La lettura dei paesaggi consente di cogliere i processi storici e culturali, visualizzando il territorio come un "testo" complesso che racconta la storia di un luogo. In particolare, il rapporto tra paesaggio e architettura è da sempre caratterizzato da una profonda interconnessione, in cui ambiente naturale e intervento umano si intrecciano, generando spazi che riflettono le esigenze, le tradizioni e la cultura di una comunità (Cianci, 2021). L'architettura non si presenta mai come un'entità isolata (de Rubertis, 1994), bensì come un elemento che risponde alle caratteristiche del territorio, adattandosi e modificandolo, contribuendo al contempo a plasmarne l'immagine e il significato. In questo equilibrio dinamico, il paesaggio non è solo un contesto in cui l'architettura si inserisce, ma diventa un protagonista attivo nel definire le forme e le modalità con cui gli edifici e gli insediamenti si sviluppano.

1.2. L'orografia umbra e lo sviluppo delle architetture fortificate

La relazione tra paesaggio e architettura assume in Umbria una singolare dimensione, (Bianconi, 2016) soprattutto nella disposizione di borghi, rocche e castelli, che, adattandosi e sfruttando la particolare orografia, spesso venivano realizzati su pendii e crinali, rispondendo a esigenze pratiche, contribuendo anche alla creazione di un paesaggio unico. Costruire in altura apriva la possibilità di dominare le vallate sottostanti, rispondendo a precise esigenze di difesa. I borghi arroccati, infatti, offrivano una posizione strategica poco accessibile e con migliore visibilità, permettendo di avvistare potenziali nemici con largo anticipo.

Le fortificazioni umbre (Amoni, 1999), spesso caratterizzate da mura solide e possenti torri d'avvistamento, testimoniano l'ingegno delle comunità che, utilizzando materiali locali, hanno saputo creare strutture perfettamente integrate con il territorio circostante. Questa fusione tra architettura e natura, in cui le costruzioni sembrano sorgere dalla terra stessa, è visibile in molti dei borghi medievali umbri (D'Avino, 2020). Pietra e legno, elementi facilmente reperibili nel territorio, diventavano i materiali principali di costruzione, consentendo alle rocche e ai castelli di confondersi con la montagna e il paesaggio, quasi come fossero una sua naturale estensione. Anche la configurazione urbanistica di questi borghi è stata influenzata dall'orografia umbra. Infatti, in molti casi vicoli e strade si snodano seguendo il naturale andamento del terreno, creando percorsi sinuosi che si aprono su piccole piazze e scorci suggestivi. L'assetto urbanistico segue la logica delle pendenze e delle curve del terreno, dando vita a un'armonia tra costruzione e paesaggio che diventa la firma estetica e culturale della regione.

1.3. Architetture fortificate su pendio e definizione dell'impianto triangolare

La disposizione di borghi su pendio si è poi ulteriormente evoluta nella specifica configurazione di impianti a forma triangolare, caratteristica distintiva di molti insediamenti medievali della regione, che massimizzava la protezione del borgo e ottimizzava l'uso dello spazio limitato delle alture. I castelli a pianta triangolare (Quilici & Quilici Gigli, 2002), infatti, sfruttavano al meglio le pendenze naturali per scopi militari, consentendo di costruire strutture più compatte e resistenti, ottimizzando la difesa su tre lati. Il vertice del triangolo, spesso occupato da una rocca o una torre d'avvistamento, rappresentava il punto di massima elevazione e offriva una visuale privilegiata sulla valle sottostante. I lati del triangolo, difesi da mura possenti che seguivano le curve del terreno e intervallati da torri di guardia, creavano una struttura compatta e ben difendibile, con accessi limitati per controllare e scoraggiare eventuali incursioni. Grazie a un'analisi dettagliata del territorio umbro, sono stati identificati numerosi borghi e rocche fortificate sviluppati su pendii, tra cui spiccano quelli con impianto triangolare, sia regolare che irregolare, che risultano particolarmente frequenti nel tratto compreso tra Foligno e Terni. Questa configurazione si concentra lungo il fiume Nera e sui pendii affacciati verso la valle spoletina, dove l'adattamento alla morfologia del terreno ha permesso di ottimizzare la difesa e l'integrazione paesaggistica. Il borgo di Lizori, conosciuto anche come Castello di Pissignano Alto, rappresenta un esempio emblematico di come l'architettura medievale umbra si sia adattata alle caratteristiche del territorio. Situato su una collina vicino a Campello sul Clitunno, il borgo è costruito in stretta connessione con il pendio, dando vita a un dialogo tra architettura e natura che ancora oggi incanta visitatori e studiosi.

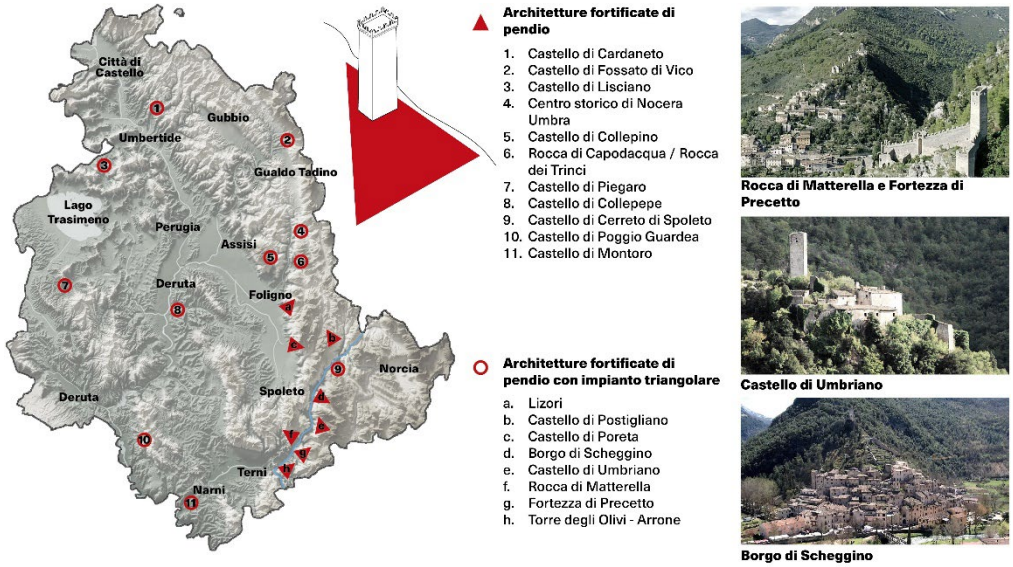


Fig. 1- Mappa delle architetture fortificate su pendio e a impianto triangolare umbre. (Rielaborazione grafica degli autori).



Fig. 2- Borgo Lizori, Campello sul Clitunno.

2. Lizori: l'analisi del borgo come architettura storica e culturale

Il Castello di Pissignano si sviluppa attraverso un affascinante sistema di residenze disposte su terrazze, con la maestosa torre principale che sovraintende l'intero borgo, affiancata dalla torre pentagonale situata poco più in basso, dando vita a un delicato equilibrio tra architettura e paesaggio (Bianconi, 2016). Oggi il castello, restaurato e coerente alla sua originale conformazione medievale posto a controllo dell'antica via Flaminia (Messineo & Carbonara, 1993), racconta la sua storia attraverso la pietra e le mura che conservano il fascino e l'antico splendore. Se già nell'XI secolo una piccola comunità benedettina diede forma al nucleo originario, fu solo nel XII secolo che il borgo si fortificò con la cinta muraria, generando quello che oggi è noto come il Borgo di San Benedetto. La sua storia è intimamente intrecciata con quella del feudo della famiglia Sansi di Spoleto, che si contendeva il borgo con la città di Trevi per la sua posizione strategica lungo la valle del Clitunno. La diatriba culminò con l'abbandono del forte a seguito del saccheggio del 1395 ad opera dei trevani. Dopo ulteriori conflitti e riacquisizioni da parte degli spoletini, il castello fu nuovamente vissuto e rivitalizzato, ma la sua importanza si consolidò anche durante la Seconda Guerra Mondiale, quando divenne un campo di concentramento fascista. Nonostante queste vicissitudini, Pissignano si conserva oggi con la sua struttura medievale quasi intatta, grazie all'opera di Antonio Meneghetti, che negli anni Settanta insieme ad un gruppo di volontari ha ridato vita al borgo, rinominandolo Lìzori. Li – Zo – Ri, ovvero "lì dove la vita vede" è il significato del nome, a testimonianza di un passato che si intreccia con il presente, dove il paesaggio naturale si fonde con la robustezza della pietra.

Il borgo si adagia sulla collina, con pochi accessi che interrompono le mura di pendio: solo tre di questi sono ad oggi presenti come punti di permeabilità, a loro volta raggiungibili tramite ripidi sentieri definiti dai terrazzamenti lungo il lato sud del borgo. Il tortuoso percorso formato dalle strade interne tesse un labirinto di vicoli ciechi alternati ad inaspettati scorci sulla valle,

stimolando il senso di meraviglia e di scoperta del visitatore. Può essere però identificata una griglia composta da vicoli paralleli alle abitazioni, intersecati da quelli ortogonali che consentono la salita.

Il fronte delle mura affacciato sulla valle, con le due torri che dominano il paesaggio, si impone con monumentalità, rendendo il borgo riconoscibile anche da lontano, come un faro che guida lo sguardo dalla piana Trevana verso il cuore fortificato del castello. L'architettura fortificata del borgo, con i suoi pieni e vuoti, si rivela lentamente, offrendo scorci che si aprono su vasti panorami che abbracciano l'intera valle Trevana fino ai Monti Martani.

In quanto architettura fortificata, l'interpretazione del linguaggio urbano di Lizori si può intendere come un'architettura unitaria, un complesso microcosmo al contempo coerente e articolato, che risulta profondamente influenzata dal rapporto instaurato tra interno ed esterno, tra borgo-architettura e pendio aperto, tra densità e permeabilità. Il confine del borgo assume la valenza di un segno iconico e maestoso, imprescindibile e immutabile, che cattura e vincola lo sguardo.

Con l'intento di astrarre ciò che è natura e ciò che è architettura, la rappresentazione bidimensionale, rispettivamente in verde e grigio delle sezioni ambientali, evidenzia la progressiva crescita dell'architettura in altezza, che lascia al contempo spazio al verde in pianta. Dunque, se da una parte il costruito in alzato incrementa progressivamente, coperto e alternato alle alberature e al verde verticale che ne mascherano le forme, poi improvvisamente spicca con le torri nella porzione più alta del castello, che invece si caratterizza per la presenza di verde e alberature di altezza contenute ma più diffuse dal punto di vista areale sui terrazzamenti più alti del borgo. D'altro canto, l'assenza di verde naturale in pianta nella porzione centrale del borgo dove si concretizza maggiormente l'unione dei blocchi residenziali viene nuovamente interrotta lungo il cateto minore del borgo triangolare, che dialoga con il pendio completamente verde al difuori delle mura di protezione. Attraverso questa rappresentazione si evidenziano schemi mentali predefiniti, che permettono all'occhio di interpretare l'insieme visivo senza la necessità di una consapevolezza esplicita, e, mediante l'astrazione, emerge la possibilità di comprendere i rapporti elementari ma profondamente significativi che intercorrono tra vegetazione e architettura nel contesto di Lizori. Il rilievo del castello si configura così come un mezzo essenziale per cogliere la stretta relazione tra ambiente costruito e naturale, tra materiali architettonici e vegetazione, tra uomo e natura (Bianconi, 2019).

Questa metodologia di analisi non solo consente di portare alla luce aspetti del borgo finora inesplorati, ma anche di svelare le proporzioni tra le diverse componenti, le criticità connesse alla vegetazione e alla morfologia stessa del castello, disegno punti di forza e peculiarità distintive (Belardi et al., 1999; Pirlone, 2016).

Attraversare l'antico Borgo è quindi una salita che conduce non solo al punto più alto del castello, ma anche a una comprensione più profonda del rapporto tra l'uomo, l'architettura e la natura, di cui il confronto sui segni e dialoghi di questo castello ne consentono l'interpretazione personale (Cianci, 2021).

Un luogo dove l'armonia tra il pieno e il vuoto, tra l'antropico e il naturale, si manifesta in un continuo gioco di luci e ombre, di spazi e silenzi, che arricchisce chiunque vi si avventuri, regalando momenti di pura contemplazione e meraviglia conoscitiva.



Fig. 3- Una delle torri di Borgo Lizori.

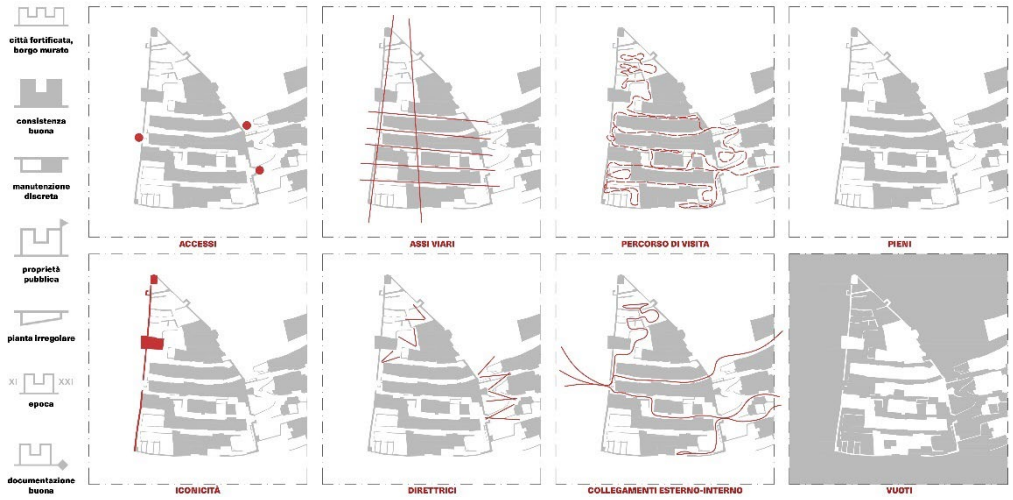


Fig. 4- Simbologia castellana e studi di composizione del borgo. (Rielaborazione grafica degli autori).

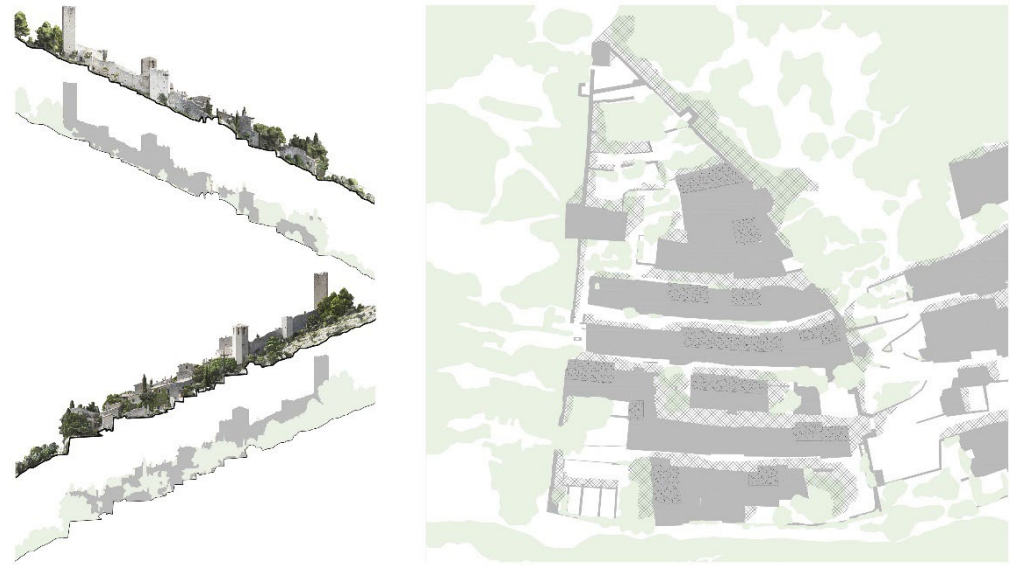


Fig. 5- Il rapporto tra verde e costruito: sezioni ambientali e pianta del borgo. (Rielaborazione grafica degli autori).

3. Prospettive: la restituzione digitale del patrimonio costruito.

La presenza massiccia sul territorio di elementi di particolare valore storico ha portato, nel tempo, a disporre e ad implementare nuovi metodi e strumenti per l'acquisizione del patrimonio costruito, implicando il continuo aggiornamento dei software per l'elaborazione massiva dei dati. Questi, infatti, non si limitano all'informazione di tipo geometrico ma vogliono essere esaustivi anche per ciò che concerne l'ambito storico e della ricerca archivistica: per la gestione di questi dati, si è rivelato necessario l'utilizzo di modelli digitali abbastanza completi da poter esplicare e raccogliere tutte le informazioni relative allo stato di fatto dell'oggetto. Nel caso di Lizori, la fase di rilievo eseguita mediante fotogrammetria aerea

ha costituito la prima delle fasi di conoscenza del borgo storico: quella interpretativa. Il modello, analizzato criticamente e successivamente semantizzato, è stato implementato attraverso la definizione degli elementi, i quali acquistano significato semantico solo se contestualizzati. La restituzione di muri, finestre, coperture è stata parte del processo conoscitivo che ha condotto non solo ad una rappresentazione esaustiva, funzionale ad una corretta visualizzazione, ma anche all'acquisizione di ciò che il borgo era e ciò che oggi è. Ogni elemento, infatti, rappresenta un contenitore di informazioni geometriche, storiche e documentali che solo se inserite all'interno di un contesto informatizzato possono essere correttamente interpretate e fungere da strumento di ricostruzione digitale.

3.1. Il rilievo come strumento di conoscenza e rappresentazione.

Alla base della restituzione digitale dell'esistente risiede l'attività di rilievo, la quale non solo permette una riproduzione accurata della realtà, ma costituisce anche una forma fondamentale di conoscenza e rappresentazione. Tale attività consente infatti di cogliere e interpretare la complessità del contesto attraverso un articolato processo di traduzione spaziale e geometrica, trasformando la materialità fisica del mondo in un linguaggio digitale suscettibile di analisi e reinterpretazione critica. Questa traduzione spaziale non si limita alla mera acquisizione visiva, ma innalza il rilievo a strumento epistemologico che genera nuove letture del reale e pone le basi per la progettazione, la conservazione e la gestione dell'ambiente costruito.

È stato possibile rilevare l'intero borgo utilizzando un drone professionale EVO 4HSE. La fase di volo e di acquisizione delle immagini è durata circa otto ore. In questa fase sono stati posizionati più di 20 marker a terra per facilitare la triangolazione aerea e limitare l'errore di orientamento delle telecamere. La fotocamera utilizzata per questa fase è una mirrorless digitale LUMIX DMC-GH4 con un obiettivo singolo, con ottica Panasonic 14-18 mm. Il software utilizzato per la modellazione fotografica è *ContextCapture* (Bentley).

Una volta conclusa la fase di input e georeferenziazione dei marker, è possibile passare alla fase di aerotriangolazione, dove tra le opzioni è possibile impostare densità dei punti chiave, scelta di metodi di foto simili e regolazioni delle distorsioni focali.

Completata la fase di allineamento delle fotocamere, si è prodotta la nuvola di punti impostandone la densità dei punti, la qualità della texture e i parametri della mesh. Successivamente, i dati del rilievo sono stati uniti e geo-orientati attraverso il software 3Dreshaper, grazie al quale è stato possibile estrapolare ulteriori dati come il modello digitale del terreno e la forma dell'ambiente costruito per gerarchizzare la nuvola di punti.

3.2. Best practices per la gestione del patrimonio.

Lizori si presenta come un luogo in cui arte, architettura e natura si intrecciano in un equilibrio armonioso, delineandosi quale centro di cultura umanistica che, pur conservando intatta la sua profonda essenza storica, si afferma al contempo come un baluardo di sostenibilità e rigenerazione culturale (Bianconi et al. 2023). Questo borgo incarna pienamente il messaggio di valorizzazione e conservazione del patrimonio artistico e architettonico, tematica di fondamentale rilevanza nel campo dell'architettura e della gestione del patrimonio. La sua rigenerazione non si configura solo come un atto di tutela fisica, ma rappresenta una riflessione critica sull'uso sostenibile e sulla trasmissione dei valori culturali alle generazioni future, costituendo un esempio virtuoso nel panorama delle pratiche di restauro e gestione integrata del patrimonio costruito.

La questione della gestione dei beni culturali e degli edifici storici in Italia solleva oggi interrogativi di grande rilievo, richiedendo soluzioni innovative che rispettino il passato. La sfida consiste nel conciliare tutela filologica e modernizzazione attraverso metodologie che mantengano l'identità storica, avvalendosi delle tecnologie digitali (Bianconi & Filippucci, 2024). In questo contesto, l'adozione di strumenti come il rilievo digitale e la modellazione tridimensionale apre nuove prospettive: grazie alla metodologia HBIM (Heritage Building Information Modeling), il modello digitale non solo riproduce fedelmente gli elementi architettonici, ma funge da contenitore multidisciplinare di informazioni - dai materiali costruttivi ai dati storici e agli interventi di restauro. Questa centralizzazione di dati tridimensionali fornisce un supporto essenziale

per la conservazione e gestione del patrimonio, facilitando interventi di restauro, fruizione virtuale tramite AR e VR, e un'ottimizzazione delle azioni di Facility Management, garantendo un monitoraggio e una manutenzione accurati.

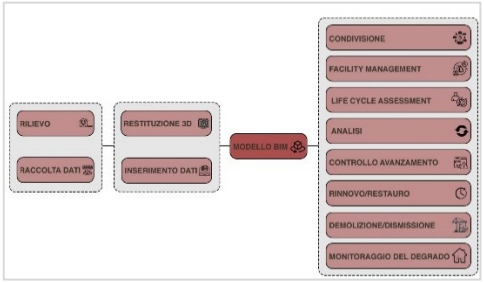


Fig. 6- Workflow metodologico adottato per lo studio di borgo Lizori.



Fig. 7- Modello BIM di borgo Lizori.

In questo contesto, il BIM emerge come uno strumento fondamentale per il conseguimento di tali obiettivi (Almeida et al., 2023; Calzolari, 2016; Pracchi & Lucchi, 2013). Quella che in letteratura viene tradizionalmente denominata la "dimensione 6D" del BIM (UNI 11337, 2017), considera infatti l'intero ciclo di vita dell'edificio, facilitandone la progettazione sostenibile, arrivando ad includere nel processo sia la demolizione che il riciclo dei materiali. Allo stato attuale, una delle procedure di interscambio dati in ambiente BIM avviene attraverso l'uso di software authoring, all'interno dei quali vengono installati plug-in specifici in grado di svolgere le specifiche simulazioni. Un primo aspetto su cui si indaga è l'involucro edilizio, in cui l'adozione di retrofit è spesso la scelta più adatta per preservare l'estetica esterna degli edifici storici. Utilizzando il plug-in EC770 di Edilclima, è possibile effettuare simulazioni termiche; per simulazioni avanzate, il modello può essere esportato in EC700 e reintegrato in Revit. Anche l'illuminazione ha un impatto sull'efficienza energetica (Guarini, 2020).

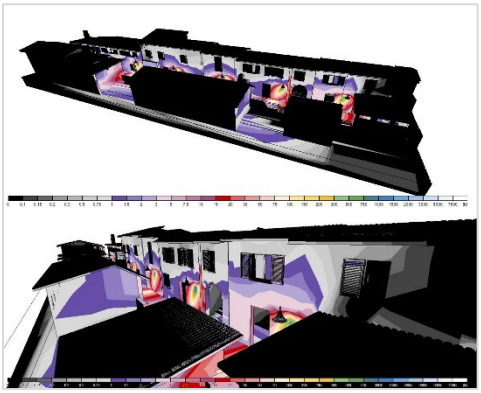


Fig. 8- Analisi illuminotecnica di borgo Lizori in ambiente BIM.

Sistemi LED e regolazioni automatiche, progettati con ReluxCAD per Revit, migliorano l'efficienza, anche se il plug-in non simula la luce diurna. Per analisi più dettagliate, il modello può essere esportato in formato .rdf. Infine, il Life Cycle Assessment (LCA) (Obrecht et al., 2020) con OneClick LCA, consente di valutare l'impatto ambientale dei materiali già nelle fasi iniziali della progettazione. Integrato in Revit, questo strumento offre dati sull'impatto ambientale, supportando la selezione di materiali sostenibili.

L'approccio adottato a Lizori, dove passato e innovazione si rafforzano reciprocamente, costituisce un modello esemplare per il recupero e la rigenerazione architettonica. L'implementazione di un modello digitale come il "digital twin" del borgo consente una gestione predittiva e tempestiva delle dinamiche strutturali e ambientali, trasformando il BIM in un sistema attivo e interattivo di conoscenza. I modelli, gli archivi, le fonti digitali quindi diventano i luoghi della memoria di questi spazi culturali, amplificando l'accesso e la condivisione della cultura tramite l'HBIM (Osello et al., 2018). Lizori si configura, quindi, come una sintesi perfetta tra conservazione e innovazione: un "archivio vivente" dove il presente e il passato si incontrano grazie a metodologie avanzate di gestione e modellazione, offrendo un esempio metodologico per la conservazione del patrimonio che può essere replicato in contesti simili. Non solo garantisce la longevità strutturale degli edifici storici, ma preserva anche la memoria e l'identità culturale del luogo, dimostrando che il rispetto della tradizione non è in antitesi con l'innovazione tecnologica.

Bibliografia

Almeida, R., Chaves, L., Silva, M., Carvalho, M., & Caldas, L. (2023). Integration between BIM and EPDs: Evaluation of the main difficulties and proposal of a framework based on ISO 19650:2018. *Journal of Building Engineering*, *68*. https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.106091

Amoni, D. (1999). *Castelli Fortezze e Rocche del'Umbria*. Quattroemme.

Belardi, P., Moriconi, C., Soletti, A., Bianconi, F., & Verducci, P. (1999). Emergenza Rilievo vs Rilievo Emergenze. In *Emergenza Rilievo. Applicazioni di metodi operativi al rilievo per la valorizzazione e il restauro dei beni architettonici e ambientali*, Edizioni Kappa, pp. 219–226.

Bianconi, F. (2016). La costruzione del paesaggio umbro. In A. Berrino & A. Buccaro (Eds.), *Delli Aspetti de Paesi. Vecchi e nuovi Media per l'Immagine del Paesaggio* (Vol. 1, p. Bertocci, Stefano, Andrea Arrighetti, and Matteo B). CIRICE - Centro Interdipartimentale di Ricerca sull'Iconografia della Città Europea.

Bianconi, F. (2019). Segni risuonanti. La cimatica per la ricerca della forma. *Riflessioni: L'arte Del Disegno/Il Disegno Dell'arte*, 375–384.

Bianconi, F., Filippucci, M., Zagari, F., Clemente, M., & Meschini, M. (2023). *HORTUS LIZORI. Percorsi sulla rappresentazione del paesaggio e la valorizzazione del patrimonio storico culturale*. Maggioli Editore.

Bianconi, F. & Filippucci, M. (2024). La rivoluzione BIM per la pubblica amministrazione. Sperimentazioni nel territorio di Città di Castello. *POLITECNICA*, 1–238. https://research.unipg.it/handle/11391/1566033

Calzolari, M. (2016). *Prestazione energetica delle architetture storiche : sfide e soluzioni : analisi dei metodi di calcolo per la definizione del comportamento energetico*. FrancoAngeli .

Cianci, M. G. (ed.) (2021). *Spessori. Il paesaggio come stratificazione*. Il Poligrafo.

D'Avino, S. (2020). *Sancta dicta sunt et quotidie debent reparari. Architetture difensive in Valnerina. Nuova edizione*.

de Rubertis, R. (1994). *Il Disegno dell'Architettura*. NIS.

Filippucci, M. (2013). Disegno e figurazione, scrittura e oralità. L'immagine della città e il valore della percezione per la ricerca delle scienze della rappresentazione. In: *Linee di Ricerca nell'area del Disegno. Approfondimenti dalle tesi di dottorato*, Aracne, pp. 300-308.

Guarini, G. (2020). Nuove frontiere della progettazione BIM per l'illuminazione. *POLITECNICA*, 222. Maggioli Editore.

Messineo, G., & Carbonara, A. (1993). *Via Flaminia*. Istituto poligrafico e Zecca dello Stato.

Obrecht, T. P., Röck, M., Hoxha, E., & Passer, A. (2020). BIM and LCA Integration: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, *12*(14), 1–19.

Osello, A., Lucibello, G., & Morgagni, F. (2018). HBIM and virtual tools: A new chance to preserve architectural heritage. *Buildings*, *8*(1). https://doi.org/10.3390/buildings8010012

Pirlone, F. (2016). *I borghi antichi abbandonati. Patrimonio da riscoprire e mettere in sicurezza*. FrancoAngeli.

Pracchi, V., & Lucchi, E. (2013). *Efficienza energetica e patrimonio costruito*. Maggioli Editore.

Quilici, L., & Quilici Gigli, S. (2002). *Città dell'Umbria*. L'Erma di Bretschneider.

UNI 11337. (2017). *Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni (BIM)*.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20340

Studying Marseille's citadel : a *multiple perspectives* strategy

Jean-Yves Blaise[a], Iwona Dudek[b], Anthony Pamart[c], Laurent Bergerot[d], Isabelle Fasse[b]
[a-b-c-d] UPR 2002 MAP CNRS, Marseille, France, map@map.cnrs.fr, [f] ENSAM, Marseille, France

Abstract

The MAP laboratory develops its research and training activities within a circle often referred to as "heritage sciences", but which in reality covers a wide range of scientific questions, technical know-hows and specialities – encompassing *observations* (object materiality) and *diachronic analysis* (reasoning on historical clues). The result of this diversity of investigations is often disjointed research partnerships or programmes, and a feeling of not achieving a global understanding of the heritage assets under scrutiny. It was against this backdrop of dispersion that MAP decided to experiment with a refocusing approach around a common object of study, Marseille's Citadel. Thus, a multi-faceted collaboration started with the actor in charge of its restoration and reconversion. This contribution illustrates the approach, placing side by side heterogeneous works (chronography, digitization strategies, extended realities). Its main aim is to contribute to a debate on disciplinary decompartmentalisation and, in a sense, the concept of slow science.

Keywords: time-oriented data, 2D/3D digitization, VR, 360-degree panoramas, interdisciplinarity.

1. Introduction to Marseille's citadel

The name *citadelle de Marseille* or *Fort Saint-Nicolas*refers to a quite extensive defensive structure (6 hectares) constructed in the mid-17th century, at the mouth of the port of Marseilles. Fort Saint-Nicolas is the counterpart of an earlier defensive structure, built on the north shore of the port, Fort Saint-Jean, which was enlarged shortly after the building of Fort Saint-Nicolas.

The decision to build the citadel was taken in 1660 by King Louis XIV with a dual objective: to defend the entrance to the port, and to calm the city's rebellious tendencies. Fort Saint-Nicolas was a fairly complex structure, comprising a major stronghold (*haut-fort*) built on a natural promontory, and another structure (*bas-fort*) built on the very shore of the port. Until the mid-19th century, these two components were united behind a single defensive enclosure. Most of the construction was completed in five years, (1660 - 1665) - the keep with five redans (four bastions and a half-moon), the first belt of ramparts with seven redans, barracks and a parade ground in the lower part. Restored after the French Revolution, it was then modified to adapt to artillery developments throughout the first half of the 19th century. Fort Saint Nicolas underwent a major transformation between 1862 and 1864, with the construction of an urban boulevard between the haut-fort and the bas-fort, which interrupted all operational continuity between the sub-units of the original structure. Both parts remained property of the French army. They were renamed in 1887: the former "Fort d'Entrecasteaux" and the latter "Fort Ganteaume". These two spatial entities would evolve quite independently of each other for over a century, accommodating a wide variety of functions (e.g. barracks, prison, listening services, archives, host to army veterinary services). In 1969 the citadel was listed as a historic monument. In 1992, a process was launched that aimed at transferring Fort

BY-NC-SA

d'Entrecasteaux to a new owner, the city of Marseilles. This process ultimately lead to its transfer to a Non-Governmental Organisation (NGO) named "Citadelle de Marseille", acting now as site operator. The NGO was given a mission to restore the site's heritage, with a broader ambition to re-articulate the upper part of the structure with its surroundings and with the city at large. The site aims to become host to creation and research activities. The bas-fort remains the property of the French army to this day, with no further functional or physical links to the upper part of the original structure.



Fig. 1- Marseille's citadel, seen from the port's north shore. In dark grey, Fort Ganteaume (photo by MAP 2024).

Fort d'Entrecasteaux, converted for civilian use, is now often simply called 'The Citadel', for convenience, and it is by this name that it is referred to in the rest of our contribution. The citadel can be read as a historical object (object of study for the historiographer), but also in many other ways: as a remarkable architectural ensemble, as a training site for the teaching of restoration techniques, a place for cultural and artistic encounters, a place where memories can be read in the object itself (endangered engraved graffiti), a maze of underground spaces not suitable for general public use, a venue for researchers or artists in residence, for training courses ... It is precisely this wide range of open issues - societal, cultural, scientific - embodied in a single object that has led our laboratory to set up, in 2023, a series of actions with the "Citadelle de Marseille". Our aim is to use the citadel as a focus point not only for diverse science and technology issues, but also for activities that run parallel to scientific research (e.g. training and dissemination typically). This article aims at illustrating our attempt to combine heterogeneous expertise around one single object.

2. The citadel, seen as a historical object

The Citadel is first and foremost a historical object, i.e. one whose evolution over time we wish to investigate, may this this evolution be still visible in the object's materiality today, or not.

To this end, we apply a specific, formal method of diachronic analysis dedicated to heritage architecture, which we have conceived as a means for the human analyst to type (characterise formally, beyond expressing it in natural language) the information he compiles, and then translate it visually into a synthetic form that we call *chronographs* (Blaise & Dudek, 2010).

The approach has been one of the laboratory's core research lines for over 20 years. It can be summarized as intersecting historical sciences (i.e. working on hints, partial data sets, uncertainty and time) and InfoVis (Information Visualisation) - a sub-discipline of information sciences (Spence, 2001). Our diachronic analysis method can be summed up as follows:

- A theoretical model supporting the analyst in his/her effort to differentiate between events, consequences, context and so on. This formal model is based on the opposition between states (moments of stability) and transformations (moments of change). It defines a grid of eighteen states and transformations, to be combined along the building's life cycle (e.g. abandonment, decay, hibernation, modification).
- A graphic language and visual tools that exploit the theoretical model in order to highlight different aspects of the interpretations made by the analyst. This graphic language translates (or maps, in the terms often used in the InfoVis community) the interpretations made during the course of the analysis into different glyphs and graphic entities - some aimed at differentiating transitions and states, others providing an indication of the quality (reliability) of the dating (Fig. 2).
- A context assessment component that allows analysts to report on facts that are exogenous to the building, but which the analysts consider likely to have impacted its evolution. Contextual elements are typed (around ten categories - epidemics, laws, etc.) (Fig. 3).

This method, which originated fifteen years ago in the context of a research on the city of Krakow, has been re-examined over time in a number of other cases (Dudek & Blaise, 2020) - we won't describe it in detail here for the sake of brevity.

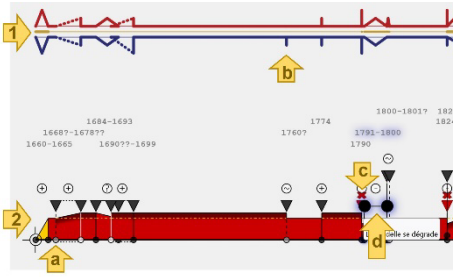


Fig. 2- Partial view of Fort Saint-Nicolas's chronograph. Chronographs combine two visual formalisms: (1) a variogram which conveys information on the scope of changes (morphological, structural and functional) and on their intensity, and (2) a diachrogram which details the types of changes (top glyphs), types of states (colour of the main rectangles), and the quality of the dating (circles on the bottom line). a) differences in the quality of the dating (shade of grey of circle); b) a functional change that introduces no change in the object's size; c) destructive transformation identified by a red glyph (here looting); d) a "decay" transformation that runs for several years (graphic elaboration by authors 2024).

Chronographs are not intended to provide an assertive, definitive, and exhaustive account of the building's lifeline. The approach aims at *visualising* a human expert's analysis of a set of documentary material. Their role, as visual reasoning tools, is to assist the analyst in his or her reflective effort (visual synthesis of one's own study) and to facilitate exchange and discussion (visual clarification of an individual path of interpretation, which the graph highlights for others). The experiment we report here is aimed at testing how chronographs do express multivocality. The idea is to compare the way different analysts read and interpret the same hints, and ultimately select a given set of transformations, states, associated with temporal slots and their assessments of uncertainty.

To set up this experiment, we asked several persons (six trainees and two researchers) to analyse a single source: the heritage diagnosis report drawn up by heritage architect I. Guérin and associates between 2015 and 2022. The report goes quite down in details concerning the Citadel's evolution; and contains extracts from primary sources (texts and graphics), a verbal description of the building's genesis and of the transformations it has undergone over time, as well as contextualization (whether in relation to the neighbourhood or major historical events).

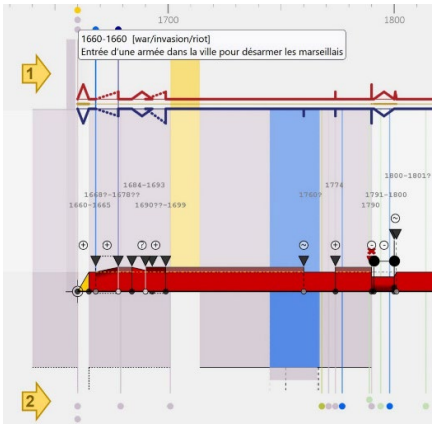


Fig. 3- Partial view of a chronograph with context assessment component activated. A distinction is made between (1) global context displayed in the top part (changes of rulers, wars at national level, etc) and (2) local context (in the vicinity of the edifice) displayed in the bottom part. Colours correspond to the predefined categories of context (graphic elaboration by authors 2024).

The experiment showed that interpretation and synthesis of clues lead to choices and then produces narratives that are not identical. There are, of course, a vast majority of points of convergence between analyses, but there are also differences that allow us to re-interrogate ourselves, and to better isolate points of ambivalence in the documentary material.

We view these small differences in interpretation, which chronographs highlight, as a richness of historical sciences. It invites us to be cautious about hasty adoption of approaches based on artificial intelligence (an interesting debate to open). The question before us maybe is this: do we want to produce as quickly as possible and without human intervention, an assertive narrative of a building's evolution? Or do we want to form our own idea, then communicate it in such a way as to make it a subject for discussions, if not as a means to feed a collective intelligence process? The approach we are

experimenting with is clearly tailored to this second line of thinking.

Experiments we launched in 2024 on chronographs also include addressing the issue of spatial granularity, in other words, the idea of conducting an independent analysis for each of the different "spatial blocks" making up the citadel, (haut-fort, first enclosure, second enclosure, etc.) in order to highlight divergences or concurrent events in their life courses. On a technical level, this work has led to the re-implementation of an experimental web interface, the *chronographer*, enabling students to produce their own analyses. We are now exploring the life histories of other citadels in Provence, with a view to foster visual comparisons.

3. The Citadel, seen as a complex site to develop thrifty digitization strategies

Considering its size, the complexity of the architectural space and the numerous historic points of interest the Citadel represents a great opportunity to challenge and renew 2D/3D CH (Cultural Heritage) digitization strategies. A while ago, from a scientific perspective, the approach would have been a long but straightforward data acquisition campaign followed by hours of data processing, cleaning etc. This workflow would have led to more or less complete digital model made of billions of 3D coordinates obtained from terrestrial laser-scanning and aerial photogrammetry, or likely. This model would have been useful for valorisation purposes, but would also have constituted a weak scientific matter. The partnership and the on-going work with the Citadelle de Marseille are the opportunity to think and act differently.

3.1. Toward priority and purpose-driven digitization

The Citadel is too vast for being scanned all at once in order to obtain a snapshot of its current state. Moreover, it is still under restoration hence some parts cannot be surveyed or, since it is a permanent worksite, in sub-optimal conditions (workers, machinery, materials deposit, scaffoldings). Since the first discussion with the site operator those conditions have been expressed as well the principal points of interest or concerns. Firstly, the Citadel's labyrinthine architecture is difficult to understand from scattered documentation because of the complex connectivity of spatial relationships and the specificity of military construction guided with strong technical constraints (dimension of structural elements, angle of sights, orientation). Secondly, some parts of the Citadel would remain, even after restoration conditionally or strictly inaccessible, for conservation and or security purposes. Those two issues pointed by the site operator present some challenges that intersect with expertise and research aims of our laboratory, and act as focus points for our experiments on new documentation approaches. In all actions so far, the survey is motivated by several objectives for both partners, the laboratory and the "Citadel de Marseille", "killing two birds with one stone".

Indeed, documenting a complex site with reality-based modelling requires tailored methods opening salient scientific prospects. Being able to anticipate the connection between the surveys implies a renewal of data acquisition protocol. Surveying more efficiently difficult zones often leads to develop new protocols or instrumental set-ups (Pamart et al, 2024). Finally having a strategic approach of digitization that could serve different objectives is a trigger to innovation.

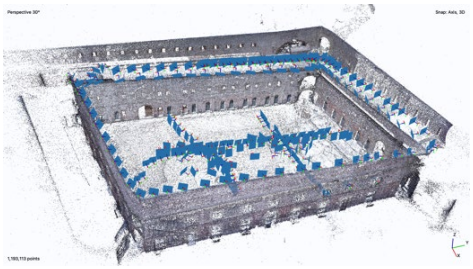


Fig. 4- Sparse point cloud and camera network for the complete digitization of the High Court (graphic elaboration by authors, 2024).

3.2. Interlinking multimodal digitizations

Ad-hoc and lightweight protocols mixing laser-scanning, close range and panoramic photogrammetry have been applied on the following parts of the Citadel:

- Powder magazine interior and exterior, with its surrounding in Villeroy's bastion.
- High Court and its upper corridor (Fig 4)
- Mazarin's bastion, indoor only.
- The prison-cells
- The west and north wing of the High Court underground

All the digitisation campaigns we have carried out in the Citadel, have been processed in anticipation of the necessary overlaps to enable a fine multi-scale spatial registration.

It remains work in progress also on the georeferencing side. In addition, a special care is being paid to metadata and paradata, using a provenance-inspired scheme (Pamart et al, 2020) to keep trace of digitization activities (Fig. 5).

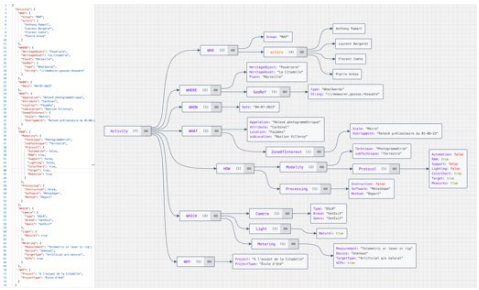


Fig. 5- Example of JSON based documentation for tracing digitization activities (graphic elaboration by authors 2024).

3.3. Multiple roles of digitization

At the research level, the Citadel acts as a scientific 'playground' to experiment with various digitization approaches and will serve as a 'sandbox' for Digital Sobriety (DG) and Open-Data (OD) management. All the outputs of digitization activities or training experiences (see section 4) are derived and reused within mixed-reality (see section 5). From the site operator side, digitization will be used to promote the Citadel developing various digital-born content, scenarios and events.

3.4. 3D digitization at the cross-road of technical platform and research protocols

For years, the MAP laboratory has been involved in Cultural Heritage (CH) 2D/3D digitization and have therefore a long experience and strong expertise in this field. The equipment fleet has grown and evolved with the advancement of technologies and is composed of devices to deploy image-based and range-modelling in various context CH context (from object to space scales). However, our research has been focusing recently on lightweight, corpus-driven and tailored digitization strategies. Several experimental protocols or set-ups have been developed including multimodal (Blaise et al., 2020) and massive approaches (Comte et al., 2024), interrogating the role of instrumentation in current digitization practices. Past and recent experiences have revealed that digitization schemes are unreasonably increasing in matter of time and data management while a semantic gap is remaining. Our capacity of digitization is uncorrelated to our ability to exploit and learn from digital resources. In addition, digitization practices and scientific driven CH documentation at the same time must be oriented toward OD and DG practices requiring to renew digital survey protocols.

4. VR exploration of the Citadel: the MYRTE experiment

Lightweight in terms of development, multi-platform, DIY, free, and scalable according to the needs of the cultural heritage field in terms of virtual tour applications: these are the guiding concepts behind the design of MYRTE prototype (MY viRtual tour for archiTecture and cultural heritagE), an application that enables users to create, edit, and view virtual tours for the cultural heritage sector.
Collaboration with the citadel has enabled us to compare these specifications with initial case studies, described in the following section.

4.1 Why MYRTE?

Started in August 2022, the development of MYRTE is inspired by apartment tours, such as those offered by Matterport™. Existing commercial solutions, such as Virtuatour™ and 3DVista™, did provide the inspiration for this venture, however, the need to create an in-house solution proved essential, to ensure full control over its development and tailoring to CH needs.

The application allows non-IT experts to create, edit, and visualise a VR (Virtual Reality) scenario on a theme of their choice. In this regard, the concept is similar to the other works (Coelho and al., 2018, Adão and al., 2018), offering an interface for creating virtual tours accessible to non-experts. This is where the DIY aspect takes on its full meaning. The prototype offers the possibility to easily create a virtual tour with custom information, through a simple action (e.g. drag-and-drop, double-clicking for creation of access points or points of interests (POIs) on panoramic images.

The difference, however, from the two aforementioned works is that the tours are not based on 360-degree videos but on multiple 360-

degree photos based on 360-degree videos but on multiple 360-degree photos, linked together by access points (~~as shown in~~ Fig. 6). Moreover, the exploratory aspect of the MYRTE prototype distinguishes it from the VMust concept(Reuter et al., 2014)) - in the sense that it's an application

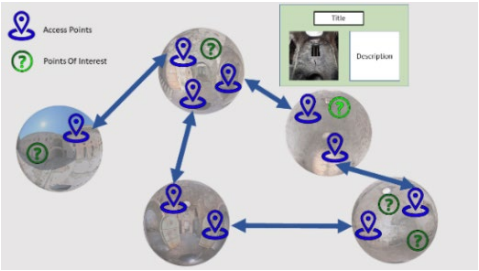


Fig. 6- Links between panoramas. In blue, access points; in green, points of interest (POI). When hovering over a POI, a label with a title, a thumbnail image and a description is displayed (top right) (graphic elaboration by authors 2024).

for research and educational purposes rather than for museums or the general public, although this was the case during two events described later in this article.

4.2 Development: data and software

In order to offer a quickly usable and accessible application for non-experts, the option of using only 360-degree panoramas was chosen instead of complex manually modelled 3D scenes. However, the easy, semi-automatic integration of 3D content into MYRTE for non-experts is currently underway. This content will consist of point clouds and spatialized camera positions from an ad hoc acquisition system, as described later in this article. To ensure rapid deployment within a few months and considering the rapid obsolescence of virtual reality equipment, especially headsets, we chose to use existing web technologies. In addition to HTML, PHP, and CSS, the use of JavaScript via the Three.js library allowed us to fully exploit the 3D/VR capabilities of a browser-based application.

4.3 Uses of MYRTE at the Citadel

Three use scenarios have been explored at he Citadel: education, dissemination, and research.

- Education

The first use of MYRTE, in a teaching context, took place during two summer schools organized at the Citadel in 2023 and 2024 (Fig. 7). Participants were tasked with creating their own virtual tour scenario for a specific area of the Citadel on a theme of their choice (architecture, history, ventilation systems, etc.). This led to the creation of various themed tours, covering different areas of the Citadel (powder magazine and Mazarin bastion), with different viewpoints

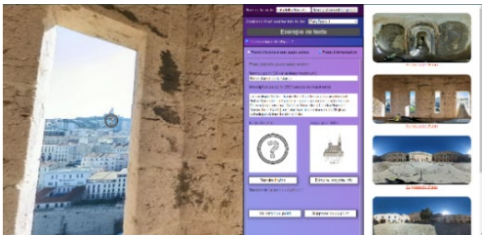


Fig. 7- Virtual tour editing system where users can easily create and modify their tours (graphic elaboration by authors 2024).

depending on the participants respective specialities. In this context, the creation/editing aspect was informally tested.

- Dissemination

The second use of MYRTE, for dissemination purposes, involved testing the prototype's 360° panoramic viewing interface in a public setting, using Meta Quest 3 headsets and a video projection system. Around a hundred people, aged from 5 to 77, were able to experience it at two public events linked to the Citadel of Marseille: The Xplore Festival and the European Heritage Days (EHD) 2024. User feedback was very positive regarding the immersive and informative aspects of the virtual tours. The operational limitations noted were the limited battery life of the VR headsets and browser instability (e.g. network connection issues).

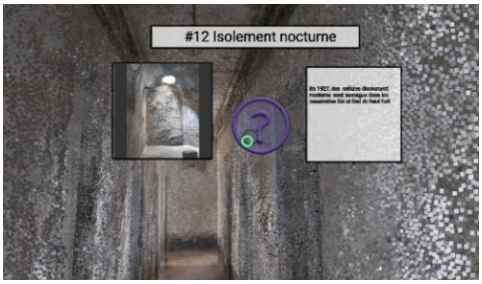


Fig. 8- First look of point clouds integration in MYRTE (graphic elaboration by authors 2024).

- Research: point cloud integration

In order to extend the functionalities of the MYRTE application, we are also working on a multi-layered version that integrates 3D point clouds (Fig. 8). This exploration was initiated as

part of a final-year internship aimed at digitizing and representing narrow and dark spaces using photogrammetry and has been submitted for publication at ISPRS (Pamart et al., 2024).
MYRTE can here act as a technological and methodological exploration tool, enabling us to develop the application as we see fit, according to our research needs, and without any external contributors. To this end, an instrumental prototype for hybrid photogrammetry and virtual tour capture called SQUILLIDAE, has been realized.
The automation of the integration of multi-layer data (360 photos and point clouds) is underway and will be available in MYRTE.

5. From research to a pedagogical experience

Introducing students or professionals to research through hands-on practice and training them in future technologies is one of the key objectives of our laboratory. This involves adapting scientific research and training to new teaching methods, such as workshops or summer courses that explore specific case studies or sectors emblematic of the characteristics of a territory. Through visits and meetings with professionals and researchers within the field of built heritage, along with various practical digital learning experiences, these educational events allow participants to enhance their critical thinking and expertise in using digital tools.

5.1. A pedagogical experiment based on the restoration of the Citadel.

The first year of this workshop focused on the Villeroy district powder magazine, a restored site where the military-specific characteristics of the building are expressed through its materiality and building envelope. The second year focused on the Mazarin bastion, which has not yet been restored and presents many traces of various historical periods, with architectural and structural elements that were not yet analysed.

5.2.1. Digitalization and annotation techniques to support Citadel's analyses

As we saw in the previous chapters, the use of digital photography as a means of gathering three-dimensional information opens the door and opportunity to capitalize a wealth of knowledge around collaborative approaches such as architectural, archaeological and historical analysis, at several scales of investigation.

In this context, learning photogrammetry is at the heart of teaching 3D acquisition techniques. Thus, our workshop began with a theoretical understanding of the stages in the photogrammetric process, followed by practical experience of shooting and acquiring digital images directly on site in the presence of the various people involved in the restoration of the fort. Once the digital acquisitions were made, the pictures and 3D point clouds were processed on site using various software solutions.
The integration of all photographs taken on site using a point cloud generated through photogrammetry techniques facilitated the dissemination of information. Annotations derived from analyses and observations are transferred from one viewpoint to another via the point cloud. The online AIOLI prototype (Abergel et al., 2023), developed within the laboratory, allowed the workshop candidates to create a visual diagnostic of the elements studied in the citadel, providing support for a semantic reading or professional analysis.



Fig. 9- Second Edition of the summer workshop "*A l'assaut de la Citadelle*" June (photo by authors 2024).

5.2.2. Visualisation of historical indices

The massive production of digital data (resulting from digitization processes, along with the actual documentation of the Citadel), raises important heterogeneity issues in terms of nature and temporal distribution. Visualization tools allow for the organization of these vast datasets and the creation of abstract graphical representations that can reveal aspects not always easily discernible in the form, image, or representation of built-heritage. With the support of these methods, knowledge of architectural heritage expands to encompass both synchronic and diachronic approaches. During the second edition of the workshop, graphical and textual documents related were analysed and structured by participants, who were then able to address more precisely the main historical parameters and indicators associated with the evolution of the Citadel.

5.2.3. Immersive 3D scenes and knowledge transmission through virtual visits.

The promotion of knowledge and the communication of architectural heritage are subjects of great interest due to their relevance to issues of representation in the design, restoration, or renovation of projects in architecture and for the built heritage. Consequently, the contribution of digital tools, particularly those involving virtual, augmented, or mixed reality, poses significant concerns for the workshop candidates as well as the heritage stakeholders. To express this thematic, workshop candidates are invited to investigate the immersive production tool based on panoramic 360°pictures MYRTE.

5.2. Feedbacks of the summer workshops

The participants spent two and a half full days training at the Citadel, surrounded by various professionals involved in the restoration and safeguarding of the fort. These days on-site were followed by two days in our laboratory, where participants aimed to engage more closely with the platforms and tools. In the second edition of this workshop, professionals engaged in built heritage and university lecturers requested to join the students to train themselves on tools presented in this paper. The digital approach was highly appreciated: it allowed close interaction with architectural elements and provided opportunities to explore the past and future of the Citadel.

6. Conclusions

In this contribution, we briefly presented three experiments (and one training course) focused on the citadel of Marseille, a complex and fairly extensive defensive structure currently being converted, under the leadership of an NGO. Each could have been the subject of an independent, more detailed paper, presented within its usual disciplinary silo. But the approach we have initiated with the citadel aims precisely to counter this clustering effect. By focusing on a single object, we aim to make it a means of sharing experiences and points of view.

Acknowledgments

Authors wish to thank the *citadelle de Marseille* team (https://citadelledemarseille.org/en) whose support in carrying out the activities reported in this contribution has been crucial, as well as Heritage Architects I. Guérin and associates, and our MAP colleagues A. Manuel and R. Roussel.

References

Abergel, V., Manuel, A., Pamart, A., Cao, I., De Luca, L. (2023) *Aïoli: A reality-based 3D annotation cloud platform for the collaborative documentation of cultural heritage artefacts*. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, 2023, 30 ⟨10.1016/j.daach.2023.e00285⟩. ⟨hal-04249650⟩

Adão, T., Pádua, L., Fonseca, M., Agrellos, L., Sousa, J. J., Magalhães, L., & Peres, E. (2018) *A rapid prototyping tool to produce 360 video-based immersive experiences enhanced with virtual/multimedia elements.* *Procedia Computer Science*, 138, 441-453.

Blaise, J.Y & Dudek, I. (2010) Understanding changes in historic architecture. Can we provide tools & methods for visual reasoning? In: P. Richard and J. Braz (Ed.), *Proceedings of the International Conference on Information Visualization Theory and Applications*. Angers, INSTICC, pp. 90-101.

Blaise, J.Y, Dudek, I., Pamart, A., Bergerot L., Vidal, A., et al (2020) *Space & sound characterisation of small-scale architectural heritage: an interdisciplinary, lightweight workflow*. IMEKO TC-4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage, Oct 2020, Trento, Italy. pp.263-268. ⟨halshs-02981084⟩.

Coelho, H., Melo, M., Barbosa, L., Martins, J., Sérgio, M., & Bessa, M. (2018) *Immersive edition of multisensory 360 videos*. In *Trends and Advances in Information Systems and Technologies: Volume 2* (pp. 309-318). Springer International Publishing.

Comte, F., Pamart, A., Réby, K., De Luca, L. (2024) *Strategies and Experiments for Massive 3D Digitalization of the Remains After the Notre-Dame de Paris'Fire*. 10th 3D-ARCH Workshop, Feb 2024, Sienna, Italy. pp.127-134, ⟨10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W4-2024-127-2024⟩.

Dudek, I. & Blaise, J.Y (2020) *Diachrograms – a theoretical framework for the modelling and analysis of a heritage artefact's diachronic evolution.* available at: https://shs.hal.science/halshs-03070375 (Accessed: 02 November 2024).

Pamart, A., De Luca, L., Véron., P. (2020) *A metadata enriched system for the documentation of multi-modal digital imaging surveys*. In: Studies in Digital Heritage, 2020, 6 (1), pp.1-24. ⟨10.14434/sdh.v6i1.33767⟩. ⟨hal-03844472⟩

Pamart, A., Maillard, N., Comte, F., Bergerot, L. (2024) *Optimization of 360-based photogrammetric pipeline for narrow and dark indoor surveys*. Low-Cost 3D Workshop. Article accepted."

Reuter, P., Granier, X., Graf, H., Corsini, M., Pagano, A., Farouk, M. (2014) Virtual Museums evaluation on portability, tangible visualization, and interaction techniques: *Methodological guidelines with respect to portability, usability, and integration. [Research Report*] D5.4, V-Must.net. 2014, pp.33.

Spence, R (2001) *Information visualization*. Harlow, ACM Press.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20341

Sperimentazione di LiDAR a stato solido per comparti urbani fortificati. Il caso studio dei vicoli saraceni di Forio d'Ischia

Massimiliano Campi[a], Valeria Cera[b], Marika Falcone[c]
[a-b] Università di Napoli Federico II, Dipartimento di Architettura, Napoli, Italia, [c] Università di Napoli Federico II, Centro interdipartimentale di Ricerca "URBAN/ECO", Napoli, Italia, [a] campi@unina.it, [b] valeria.cera@unina.it, [c] marika.falcone@unina.it

Abstract

Since ancient times, the island of Ischia, the largest of the Phlegrean Islands to the west of the Gulf of Naples, has been considered a land of great interest both for its strategic position in the Mediterranean Sea and for its rich landscapes and architecture. Among these distinctive features of the island, it is worth mentioning the unique urban layout of the Saracen alleys that developed around the watchtowers, which still characterize the village of Forio d'Ischia today. This defensive need, common to many Mediterranean locations, has led to distinctive urban and architectural outcomes only in Forio and a few other places.
To explore this peculiarity, the research has unfolded in subsequent phases, starting with historical and cartographic analysis and gradually enriched by the digitization of the urban area developed around the Saracen alleys. The acquisition of digital data - both metric and colorimetric - has been primarily intended as a priority action for analyzing the defensive labyrinth in relation to the urban fabric and its architectural expressions. To this end, the digitization was carried out by integrating range-based and image-based techniques. Specifically, a state-of-the-art LiDAR with hybrid solid-state sensors was used to dynamically acquire the metric and dimensional information of the urban area bordered by Via Nuova Marina, Via Lustro, Corso Regine, Vicolo Torrione, and Vicolo Sant'Antonio Abate. To increase the point cloud density, a TLS was employed in key locations, such as around the most significant defensive structures (e.g., Torre "il Torrione", Torre Quattrocchi, etc.).
Finally, to refine the color and surface texture data, both aerial and terrestrial photogrammetric survey campaigns were integrated. The collected data, in addition to representing an important update to the documentation, enabled the extraction of new information useful for both architectural design and the enhancement of the site – custodian of legends and defensive techniques typical of the Ischian tradition.

Keywords: architettura ischitana, sensori a stato solido, torri difensive, vicoli saraceni, itinerari.

1. Introduzione

Il rilievo 3D del tessuto costruito storico è ampiamente riconosciuto come strumento di conoscenza privilegiato del percorso evolutivo dell'assetto urbano di una città e, con esso, dell'evoluzione dei processi sia costruttivi che sociali che contraddistinguono la storia dell'essere umano come membro di una collettività organizzata. È noto, in tal senso, che la digitalizzazione e relativa trasposizione grafica di comparti urbani storicizzati rende possibile lo sviluppo di analisi conoscitive organizzate su più livelli di approfondimento. Oltre ad essere occasione per la restituzione di studi più di primo livello inerenti al costruito (ad esempio, questioni dimensionali, formali e costruttive), il rilievo digitale può assurgere, allo stesso tempo, al ruolo di strumento scientifico capace di alimentare investigazioni di un livello più approfondito, attinenti alla messa in relazione di diversi aspetti del Sapere (Bini & Bertocci, 2017). Indagare, infatti, i tracciati storici di un comparto urbano implica studiare i "materiali costitutivi" della città

BY-NC-SA

ovvero tanto le architetture quanto gli spazi urbani che non sono "altro" dalle costruzioni quanto fondamento relazionale delle stesse. La raccolta delle informazioni per questo tipo di analisi non è però un processo semplice: dal punto di vista della digitalizzazione, diversi parametri influiscono nella selezione della strumentazione migliore (estensione dell'area, presenza di ostacoli, scala della rappresentazione, accuratezza, ecc.).

Indubbiamente, l'approccio più consolidato è fondato sulla integrazione dei dati acquisiti con più sensori per superare i limiti del singolo e garantire una restituzione informativa multi-scala (Roggero & Diara, 2024).

In tal senso, ad oggi la Geomatica mette a disposizione diversi strumenti e tecniche per soddisfare i parametri sopra citati. Tra questi, accanto ai consolidati sistemi di scansione infrarossa statica (TLS) e alla *Structure from Motion* (SfM), il sistema di mappatura mobile (MMS) è una tecnologia che si sta diffondendo in questo campo di applicazione, essendo in grado di rilevare vaste aree in breve tempo, con buoni risultati in termini di densità, accuratezza e copertura dei dati (Campi et al. 2024a; Campi et al. 2024b; Treccani et al. 2024) (1).

2. I vicoli saraceni di Forio d'Ischia, un comparto urbano fortificato

Sin dai tempi antichi l'isola di Ischia, la più grande delle isole flegree a ovest del golfo di Napoli, è stata considerata terra di grande interesse sia per la sua posizione strategica nel mar Mediterraneo che per le sue ricchezze paesaggistiche e architettoniche.

Tra questi aspetti peculiari dell'isola è doveroso annoverare il singolare tracciato urbano dei vicoli saraceni sorto attorno alle torri di avvistamento che caratterizzano il borgo di Forio d'Ischia (Capano, 2017), sito tra Punta Imperatore e Punta Caruso. Un'esigenza difensiva comune a tante località del Mediterraneo, ma che solo a Forio, il vasto territorio occidentale aperto verso il mare e quindi facile preda di attacchi pirateschi ha determinato distintivi esiti urbanistici e architettonici (Delizia, 1990).

Per quanto fortemente compromesso dalle trasformazioni avvenute nel tempo, Vico Torrione, via Sant'Antonio Abate, via Casa Patalano, via Costantino, via San Giovanni, vico Albergo, via Vecchia, via Casa Di Maio, via II Casa di Maio, via Cesare Piro, via basso Cappella, via Peschiera, via Funno e ancora via Gaetano Morgera, vico I Pero, Vico II Pero, vico Schiano costituiscono tutt'oggi il dedalo "a cielo aperto" (Fig. 1): un complesso sistema difensivo, costruito a partire dalla metà del Quattrocento fino al 1563, la cui funzione principale era quella di difendere il territorio dagli assalitori nemici.

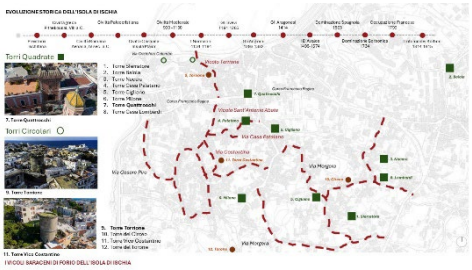


Fig. 1- Analisi storica e rappresentazione planimetrica dei vicoli saraceni di Forio d'Ischia (Elaborazione grafica a cura degli autori, 2024).

Per orientarsi nel labirintico percorso, il cui ingresso avveniva da due strade poste a nord-est ed entrambe presidiate da due torri di difesa (la torre di Baiola e la Torre di Nacera) i foriani si affidavano alla "segnaletica simbolica" delle edicole votive poste in prossimità di palazzi gentilizzi, ai portali di tufo, alla varie botteghe che popolavano i vicoli nonché ai presidi di avvistamento con torri di impianto circolare e torri di impianto quadrato che, invero, facevano parte di un grande rete di comunicazione che collegava tutta l'isola così come è possibile ripercorrere nella pianta-veduta di Mario Cartaro del 1586 (Fig. 2).

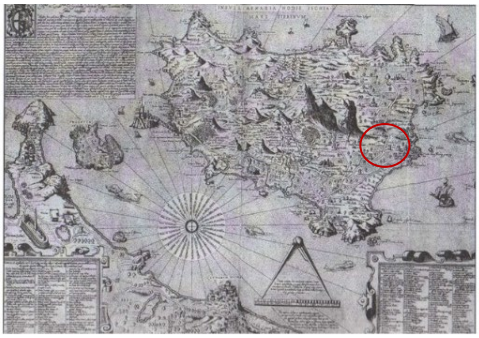


Fig. 2- Pianta-veduta di Ischia: particolare del borgo di Forio d'Ischia (Mario Cartaro, 1586).

Ai fini dello studio, la ricerca si è focalizzata sul comparto urbano cinto dalla via Nuova Marina,

via Lustro, Corso Regine, Vicolo Torrione e Vicolo Sant'Antonio Abate presidiato da torre "il Torrione" che domina l'abitato verso la spiaggia di Forio e Torre Quattrocchi" edificata e inglobata all'interno del nucleo abitativo costituitosi nel XIV sec. intorno alla chiesa di S. Maria di Loreto.

La più antica è la torre "il Torrione", di impianto circolare, costruita intorno al 1480 "*a spese o a spese della Università del proprio Casale de Foria"* (Delizia, 1987). L'edificio alto tre piani presenta quello inferiore scavato nel banco tufaceo mentre quelli superiori, scanditi da cordoli in pietra, sono costituiti da blocchi di tufo. L'accesso al secondo livello avviene per mezzo della scala esterna anch'essa in tufo. Invece, perfettamente parte integrante del contesto architettonico foriano, è Torre Quattrocchi.

La torre di Corso Regine, la più grande di quelle con impianto quadrato, fu realizzata in muratura di tufo e si innalza su tre livelli. Lungo il coronamento sporgente della torre, sostenuto da mensole collegate da voltine, si aprono feritoie alternate a caditoie da cui il soprannome "Quattrocchi".

3. Un sistema digitale integrato per il comparto urbano fortificato

Per esplorare le peculiarità del tracciato urbano, la ricerca si è articolata in successive fasi conoscitive che, a partire dalla analisi storica e cartografica, si è progressivamente arricchita con la digitalizzazione del comparto urbano sviluppatosi intorno ai vicoli saraceni.

Difatti, per lo studio dei vicoli saraceni sono stati effettuati numerosi sopralluoghi per comprendere la labirintica composizione spaziale e temporale, per leggerne la storia e le trasformazioni attraverso i dettagli e le tracce rimaste e per programmare opportunamente le operazioni di rilievo. In quest'ottica, l'acquisizione dei dati digitali - metrici e colorimetrici - intesa quale azione prioritaria per l'analisi del dedalo difensivo è stata condotta integrando ai consolidati sistemi TLS e SfM, il sistema di mappatura dinamica LiDAR a stato solido di tipo ibrido con l'obiettivo di cogliere nella raccolta dei dati tutti gli elementi propri della scala urbana, così come quelli della scala architettonica e di dettaglio da declinare in letture ed analisi con più livelli di approfondimento (Fig. 3).



Fig. 3- Strumentazioni impiegate per il rilievo (Elaborazione grafica a cura degli autori, 2024).

3.1 Rilievo *range-based* con LIDAR a stato solido ibrido

Per acquisire dinamicamente le informazioni metrico-dimensionali del comparto urbano cinto dalla via Nuova Marina, via Lustro, Corso Regine, Vicolo Torrione e Vicolo Sant'Antonio Abate è stato impiegato un LiDAR *low-cost* di ultima generazione con sensori ibridi a stato solido. Il ricorso a questa metodologia che si avvale della tecnologia SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) ha consentito di costruire in tempi rapidi e con un'acquisizione di circa 20 minuti un modello *point cloud* dell'intero tracciato urbano connotato da condizioni ambientali e al contorno significativamente sfidanti.

Dal punto di vista operativo, si è deciso di utilizzare il LixelKity K1 della XGRIDS con cui sono state percorse due traiettorie di acquisizione secondo uno schema *round trip* con inizio e fine negli stessi punti (sp1, sp2) individuati in prossimità di via Marina e di Corso Regine (Fig. 4). Le nuvole di punti ottenute sono state processate e manipolate in un unico sistema che consta di approssimativamente 400.000.000 punti, organizzati secondo una griglia di registrazione di 10 mm a 10 m.

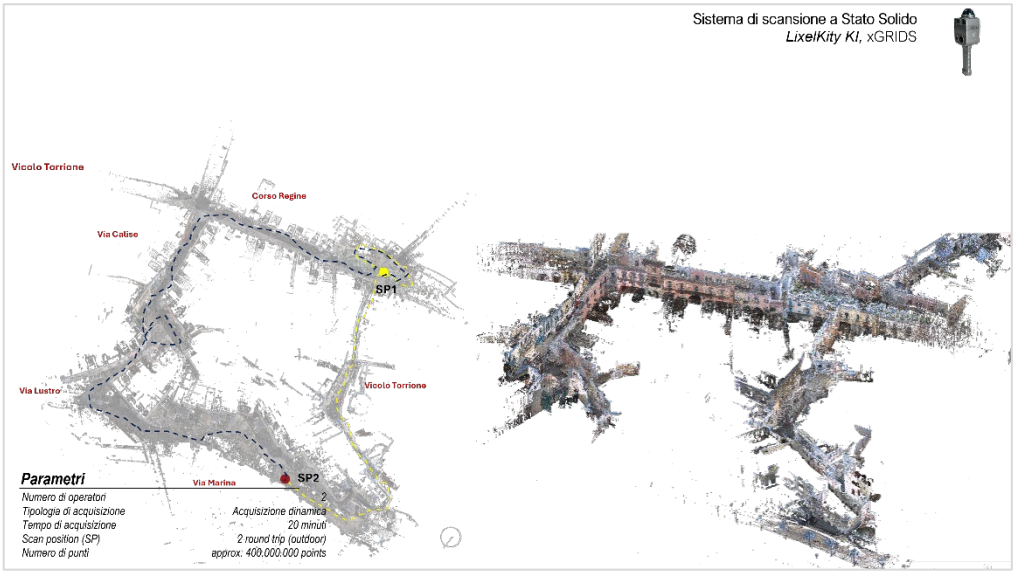


Fig. 4- Schematizzazione del processo di rilievo tramite LIDAR a stato solido e relativi risultati (Elaborazione grafica a cura degli autori, 2024).

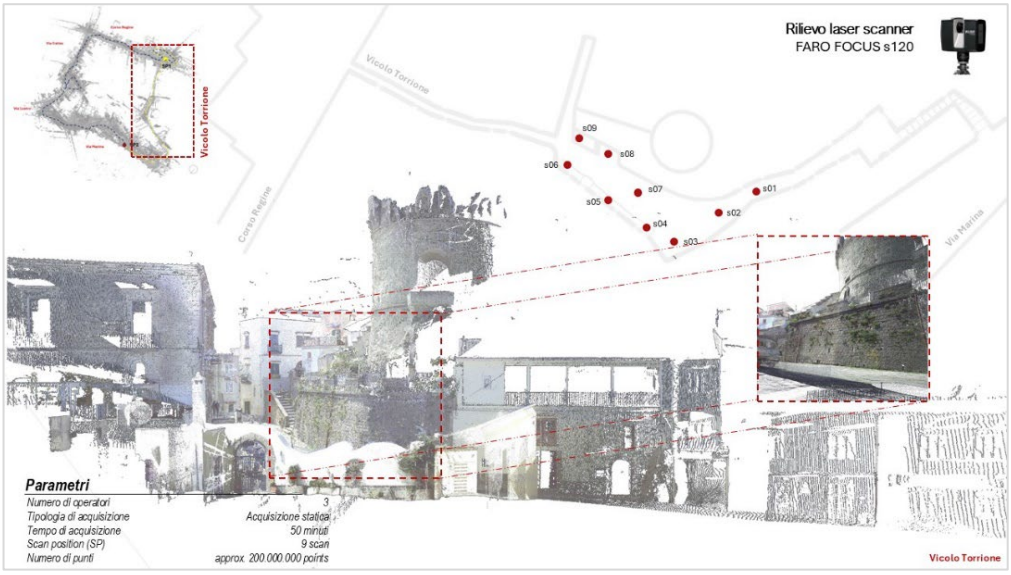


Fig. 5- Schematizzazione del processo di rilievo TLS per il vicolo Torrione e relativi risultati (Elaborazione grafica a cura degli autori, 2024).

3.2 Rilievo *range-based* con TLS

Dato il passo di discretizzazione, non così fitto, che è possibile determinare con un LIDAR dinamico, il processo di digitalizzazione è stato perfezionato. Al fine, infatti, di incrementare la densità della griglia di discretizzazione in forma di punti, è stato impiegato un *Terrestrial Laser Scanner* in modalità statica. Il ricorso a tecniche integrate di rilievo è un processo ampiamente consolidato che, se da un lato, consente di perseguire l'obiettivo di una documentazione digitale che sia completa ed esaustiva, sfruttando le peculiarità dei diversi sensori; dall'altro, pone la ben nota difficoltà di gestione dei dati raccolti

e di ottimizzazione degli stessi per contenere la ridondanza delle informazioni. Per tale motivo, si è deciso di condurre il rilievo *range-based* con un sensore ottico attivo secondo il sistema delle stazioni fisse solo per limitate e selezionate porzioni del tracciato storico saraceno.

In particolare, ambendo ad approfondire la relazione tra le architetture difensive medievali e la conurbazione di Forio d'Ischia, l'acquisizione *TLS* è stata effettuata in corrispondenza di uno degli elementi di difesa più significativi ossia "il Torrione". La scelta risiede nelle specificità della costruzione la quale, pur essendo oramai inglobata nel fitto tessuto del costruito, storico e moderno, ha preservato i caratteri morfologici della torre di guardia, consolidando al contempo il proprio ruolo di *landmark* nell'immagine visiva e percettiva di questa porzione di città.

Dal punto di vista operativo, impiegando un laser scanner a modulazione di fase, il FARO FocusS120, sono state eseguite n.9 scansioni progressive secondo una maglia di acquisizione a poligonale aperta, sviluppata su un dislivello di 7.92 m e una distanza tra le stazioni di circa 10 m.

"La nuvola di punti finale, registrata per rototraslazione delle singole *range maps* senza l'uso di riferimenti artificiali, consta di approssimativamente 200.000.000 punti, organizzati secondo una griglia di registrazione di 7,5 mm a 10 m. Tale passo di discretizzazione si è dimostrato coerente e adeguato per lo scopo dell'indagine laddove il modello puntiforme mostra con chiarezza la tessitura muraria del sistema fortificato intorno alla costruzione verticale nonché delle prime fasce della torre cilindrica " (Fig. 5).

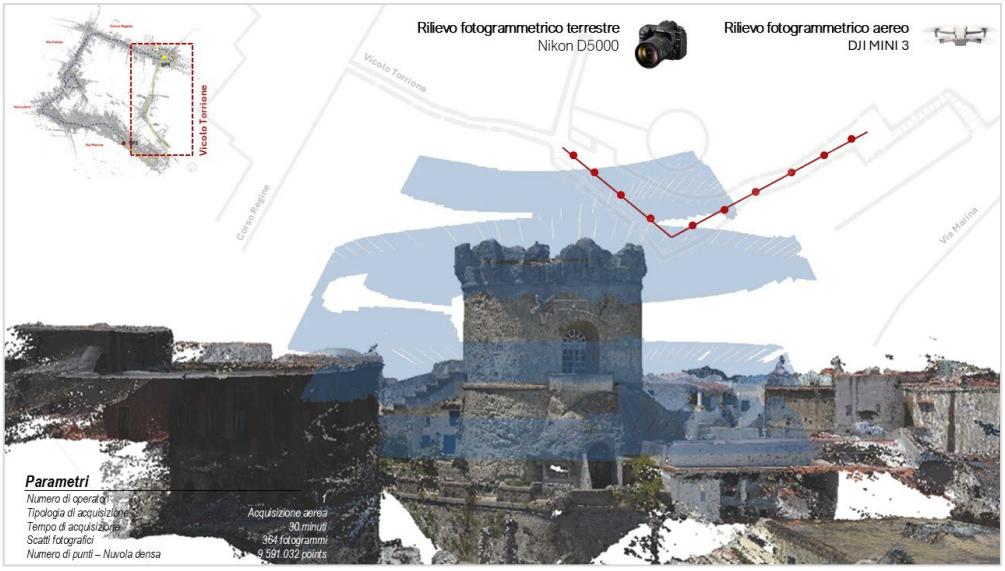


Fig. 6- Schematizzazione del processo di rilievo fotogrammetrico per il Torrione e relativi risultati (Elaborazione grafica a cura degli autori, 2024)

3.3 Rilievo *image-based* aereo e terrestre

In ragione della quota di ripresa delle informazioni nelle prime due fasi della digitalizzazione - quota terrestre -, alcuni dati inerenti alle parti sommitali delle architetture indagate risultano lacunose. Inoltre, gli aspetti cromatici e, in alcuni casi, di tessitura superficiale non sempre risultano opportunamente dettagliati pur essendo questi di particolare interesse, al fine di comprendere il decorso evolutivo del dedalo difensivo saraceno nel contesto del tessuto costruito di Forio d'Ischia. Con questo obiettivo, sono state integrate campagne di rilievo fotogrammetrico, sia aereo che terrestre.

Con riferimento alla acquisizione aerea, sono stati raccolti 364 fotogrammi con un SAPR multi-rotore quadricottero del tipo DJI mini3. Anche in questo caso, il rilievo si è evidentemente concentrato per colmare le lacune informative relative alle creste murarie nonché alla merlatura

di coronamento de "il Torrione". Pertanto, per ricoprire l'intero sviluppo verticale della fortificazione, è stata seguita una traiettoria ad elica intorno al cilindro rastremato della torre, con una tecnica di ripresa ad assi convergenti. Il volo è stato effettuato in modalità manuale, impostando l'acquisizione automatica degli scatti ogni secondo per assicurare una corretta percentuale di sovrapposizione (*sidelap* e *overlap*) in relazione alla velocità. La nuvola finale consta di poco più di 9,5 milioni di punti, consentendo il processamento ed esportazione di ortomosaici con un GSD di 5 mm (Fig. 6).

Similmente, sono stati catturati fotogrammi anche a quota terrestre, impiegando una camera Reflex Nikon D5000, con una lunghezza focale impostata a 24 mm. Più di 1.000 fotografie sono state scattate, con tecnica di ripresa ad assi paralleli, alternando presa inclinata e presa normale, con l'obiettivo specifico di rappresentare ad una scala di dettaglio maggiore (1:50) l'articolato sistema di portali che connota i vicoli mediali (nello specifico, via Nuova Marina, via Lustro e Vicolo Torrione).

4. La lettura dello spazio urbano

I dati raccolti, oltre a rappresentare un importante aggiornamento documentale, hanno messo in evidenza inedite informazioni utili per la valorizzazione del sito, custode di leggende e tecniche difensive tipiche della tradizione ischitana. Difatti, per la complessità degli elementi che convergono nella definizione dello spazio urbano si è ritenuto opportuno approfondire la relazione tra i rapporti spaziali, dimensionali e formali mediante la lettura critica dell'interpretazione del dato. In particolare, da un punto di vista grafico è stato necessario comparare l'asse viario di via Marina e di vicolo Torrione ove la Torre "il Torrione" è un elemento focale di richiamo percettivo primario in quanto segno verticale che denota, fin da subito, la sua funzione difensiva ma che assume anche una valenza differente nell'immagine visiva e percettiva di questa porzione urbana. Dal punto di vista geometrico-spaziale, la torre alta circa 28 m, ha una pianta circolare di circa 14 m di diametro. In alzato si compone di un basamento in tufo alto circa 7m e due livelli fuori terra. L'imponente torre è visibile da più parti del borgo generando un dinamico dialogo visivo con il contesto urbano. In particolare, nel caso di via Marina la torre si configura come *landmark* di un paesaggio urbano che prospetta sul mare, connotato da funzioni commerciali e turistiche. Ben diversa è la presenza architettonica del baluardo di guardia su vicolo Torrione, un asse viario lungo circa 170 m. In questo tratto, la torre è dapprima nascosta alla vista (il vicolo è stretto circa 1.70m) e il dilatarsi improvviso dello spazio urbano con andamento convesso, a destra di chi si muove da via Torrione e a sinistra di chi si muove da Vicolo Torrione, coglie di sorpresa l'osservatore. Alla visione frontale dal mare si sostituisce una visione prospettica che pone in risalto l'intera volumetria della fabbrica. Pertanto, sulla base di tali premesse è stato sviluppato il sistema di informativo che può essere impiegato sia per interpretare criticamente un territorio sia per supportare possibili strategie di rigenerazione e progettazione urbana e architettonica (Zerlenga et al. 2017).

5. Conclusioni

I processi di digitalizzazione rappresentano, oggi, un ragguardevole supporto per lo studio e l'analisi approfondita del patrimonio costruito.

La ricerca presentata sui vicoli saraceni di Forio d'Ischia mette in luce, infatti, come i modelli digitali ottenibili tramite l'impiego delle diverse tecniche geomatiche, costituiscano un prezioso sistema informativo: l'analisi dei dati estraibili dalle rappresentazioni tridimensionali rende possibile la strutturazione di processi conoscitivi articolati su più livelli di approfondimento.

Punto di partenza dello studio sul tracciato storico medievale ischitano è stata, come descritto, una lettura della relazione che lega le architetture fortificate con il costruito e questi con il vuoto urbano, sul piano della percezione e della qualità visiva dell'immagine della città. In tal senso, i modelli discreti acquisiti con le tecniche di rilievo integrato si pongono come fondamento per analisi spaziali che permettono di cogliere le relazioni di inter-visibilità che non sarebbero altrimenti possibili impiegando supporti diversi, ad esempio cartografici.

In aggiunta, la predisposizione di sistemi informativi tridimensionali – quali sono di fatto le nuvole di punti - consente di estrapolare dagli stessi una serie di informazioni aggiuntive rispetto al dato metrico e colorimetrico, sulla base delle quali è data l'occasione di approfondire temi collaterali ma che sono indispensabili per la formulazione di interventi progettuali.

L'integrazione, infatti, di rilievi *range* e *image-based* sostanzia la possibilità di dettagliare le risorse informative raccolte, fornendo importanti indicazioni su materiali impiegati e tecniche costruttive, anche di altri tempi. Tali dati sono evidentemente preziosi per la formulazione di progetti di recupero tanto della memoria storico-costruttiva e artigianale quanto della consistenza materico-fisica delle architetture storiche.

Proprio in questa direzione, la ricerca proseguirà nelle prossime fasi, con l'obiettivo di approfondire le peculiarità del tracciato storico saraceno dell'isola di Ischia e orientare le azioni di salvaguardia, tutela e valorizzazione di questo patrimonio, materiale e immateriale.

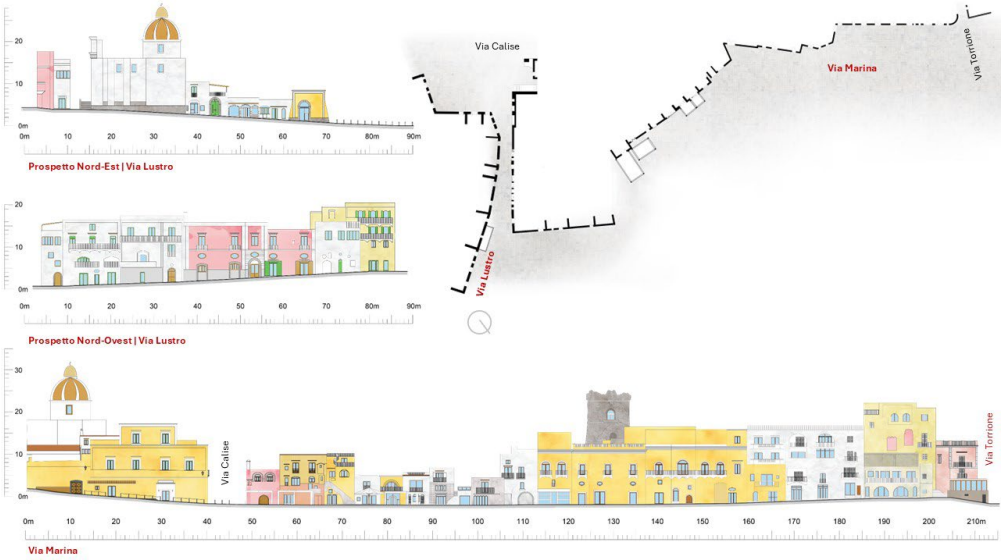


Fig. 7- I fronti urbani dei vicoli saraceni di Forio d'Ischia. In dettaglio, via Lustro e via Marina. (Elaborazione grafica a cura degli studenti del workshop AQABA, 2024).



Fig. 8- I fronti urbani dei vicoli saraceni di Forio d'Ischia. In dettaglio, vicolo Torrione. (Elaborazione grafica a cura degli studenti del workshop AQABA., 2024).

Notes

(1) Sebbene il presente contributo sia frutto di un lavoro condiviso, V. Cera è autrice dell'introduzione e dei paragrafi 3.2 e 3.3, M. Falcone è autrice dei paragrafi 2, 3.1 e 4, le conclusioni sono a cura di M. Campi.

(2) Hanno collaborato alla ricerca gli studenti Acampora Simone, Barile Laura, Carillo Francesco, Chierchia Virginia, Cicirelli Daniele, D'Ambra Valerio, Gallo Francesco, Monti Mikela, Ciervo Maria, Amura Carmela, Balzano Aurora, Del Vecchio Alessia e Amato Lorenza nell'ambito workshop *AQABA || Acquisitions Quickly for Architectural Base Analysis* – I vicoli saraceni di forio d'Ischia (docenti: prof. arch. M. Campi e prof. arch. A. Castagnaro; tutor: arch. V. Cera, arch. M. Falcone e arch. A. Terminio) i cui risultati sono stati presentati ad Ischia durante la manifestazione culturale Torri in Festa Torri in Luce - XIV edizione.

Gli autori desiderano ringraziare l'arch. Aldo Imer, direttore artistico della manifestazione per la disponibilità mostrata. Si ringrazia, inoltre, la società Dynatech per aver messo a disposizione della ricerca la strumentazione LiDAR della XGRIDS -LixelKity K1.

Bibliografia

Bini, M. & Bertocci, S. (2017). Il rilievo per il restauro dei tessuti storici, in contesti colpiti da eventi sismici. *DisegnareCon*, 10 (18), 0.1-0.4.

Campi M., Cera V., Falcone M. (2024b). Scenari innovativi nel rilievo e monitoraggio architettonico con LiDAR a stato solido e sistemi ADC/Innovative scenarios in architectural survey and monitoring using Solid State LiDAR and ADC systems. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (a cura di). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Represen- tation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 195-212.

Campi, M., Cera, V., Falcone, M. (2024a). Relations between In | Tangible in the insula of Monteoliveto in Naples. *World Heritage and Cities in Emergencies |Le Vie dei Mercanti 2024 XXII International Forum*, pp. 86.

Capano, F. (2017). Le torri di Forio tra rappresentazione e valorizzazione / The towers in Forio between representatione and enhancement. In: Aveta A., Marino B.G., Amore R. (a cura di) *La Baia di Napoli. Strategie integrate per la conservazione e la fruizione del paesaggio culturale. Interpretazione / Comunicazione e strategie di fruizione del paesaggio culturale*. Napoli, Artstudiopaparo, pp. 102-113.

Delizia, I. (1987). *Ischia. Identità negata*. Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane.

Roggero, M. & Diara, F. (2024). Multi-Sensor 3D Survey: Aerial and Terrestrial Data Fusion and 3D Modeling Applied to a Complex Historic Architecture at Risk. *Drones*, 8, 162.

Treccani, D., Adami, A., Brunelli, V. & Fregonese, L. (2024). Mobile mapping system for historic built heritage and GIS integration: a challenging case study. *Applied Geomatics*, 16, 293-312.

Zerlenga, O., Jacazzi, D. & Cirillo, V. (2017). Nuovi contesti urbani. Via Seggio ad Aversa fra autenticità e riuso. In: Capanna A., Mele G. (a cura di) *RPR Rilievo Progetto Riuso*. Santarcangelo di Romagna (RN): Maggioli, pp. 123-137.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20342

Il Fratello ritrovato. Ricostruzione virtuale di un forte ottocentesco genovese

Cristina Càndito[a], Alessandro Meloni[b]
[a] University of Genoa, Department Architecture and Design, Genoa, Italy, cristina.candito@unige.it, [b] University of Genoa, Department Architecture and Design, Genoa, Italy, alessandro.meloni@edu.unige.it

Abstract

The articulation and breadth of the system of walls protecting the city of Genoa developed over the centuries according to complex logics, influenced by the orography of the territory and determined by the constantly changing political dynamics, which also manifested themselves in the military sphere. The contribution aims to analyze a lost fortification capable of describing, thanks to its different phases, the process of mutation undergone over time. The building covered by the contribution is the Fort Fratello Maggiore, which, together with the nearby Fort Fratello Minore, was part of the northern deployment in defense of the city. Through the use and hybridization of tools such as panoramic photography and virtual modelling - the latter based on present evidence - the objective of bringing to light an almost totally lost and little-known building is pursued. The outcome of the research may lead to the reconstruction, at least virtually, of the fortified system located to the north of the city, enhancing a place of undisputed historical and landscape value.

Keywords: fortificazioni di Genova, ricostruzione virtuale, torri ottocentesche, fotografia panoramica.

1. Introduzione

Un'opera costituita da molteplici interventi viene ad assumere significati diversi anche quando interessata da trasformazioni puntuali e di limitate estensioni. Il valore del contesto è apprezzabile in particolare su quegli interventi dall'impatto a scala territoriale di significato paesaggistico, come la cinta muraria collinare genovese, prevalentemente realizzata tra i secoli XVII e XIX. Il presente contributo intende restituire alla cinta muraria genovese una sua porzione, l'ottocentesco forte Fratello Maggiore, almeno dal punto di vista virtuale, quale componente fondamentale di un sottosistema costituito da una coppia di elementi fortificati, denominati appunto Fratello Maggiore e Fratello Minore.

Si sono impiegate metodologie aggiornate della rappresentazione fondate su ricerche archivistiche e su strumenti digitali (ricostruzioni virtuali e fotomontaggi su fotografie panoramiche) per ritrovare una presenza mancante alla corona delle fortificazioni sui rilievi che circoscrivono il capoluogo ligure.

2. Il Fratello Maggiore nel contesto fortificato genovese

2.1 Gli sviluppi della cinta muraria genovese

Lo sviluppo delle fortificazioni nella città di Genova riflette le opportunità e le problematiche offerte da un territorio caratterizzato da un affaccio al mare e da un retrostante sistema di rilievi orografici. Le più antiche mura fortificate sono costituite a protezione del primo nucleo urbano, collocato su un rilievo affacciato sul mare e coincidente con una parte dell'attuale centro storico (1): si hanno così le prime tre cinte, di cui

BY-NC-SA

la terza, del XII secolo, prende il nome di Mura del Barbarossa per essere stata edificata a protezione dell'invasione effettuata da parte dell'imperatore Federico I (2). Non si può riportare qui la complessa storia evolutiva delle fortificazioni genovesi, nella quale si susseguono ampliamenti e ammodernamenti successivi. Si deve però citare la realizzazione della settima cinta o delle Mura Nuove (1630-1633) (Galliani, 1991) che apre ad una serie di fortificazioni a monte del territorio cittadino (Fig. 1). È la configurazione territoriale che suggerisce di intercettare eventuali attacchi provenienti dalla zona nord prima che vengano a contatto con le zone più sensibili della città. Peraltro, già nel periodo medievale si era avvertita l'esigenza di costruire, nella corona dei rilievi attorno alla città, alcuni semplici elementi fortificati collegati da palizzate. Tale sistema si consolida appunto nella cinta esterna concepita per proteggere una zona ben più estesa del centro abitato e che troverà un ampliamento e rafforzamento nei due secoli successivi (Fenoglio, 1991). È appunto in questo periodo che inizia ad essere interessata la cresta montuosa che separa le due valli della città di Genova, la Val Bisagno e la Val Polcevera: il Monte di San Michele (650 m. s.l.m.), posizionato a breve distanza dal grande sistema murario delle Mura Nuove Secentesche. Il rilievo in realtà si compone di due cime distinte che vengono accomunate da un singolo toponimo. Fin dalla metà del Settecento, infatti, le due sommità erano considerate un sistema unico ed ospitavano due fortificazioni dalle caratteristiche comuni: il Forte Maggiore e il Forte Minore. Grazie a queste presenze, il Monte San Michele è riconosciuto anche come il Monte dei Due Fratelli.

Lo scenario attuale non permette più di osservare il panorama completo delle due fortificazioni, poiché nel tempo si è attuata la completa distruzione dei volumi fuori terra del Fratello Maggiore. Le due costruzioni si disponevano lungo l'asse strategico delle fortificazioni rivolte verso il nord della città, tra Forte Sperone, più prossimo alle Mura cittadine, e Forte Diamante, ultimo baluardo di questa via fortificata verso nord. L'area venne per la prima volta militarizzata per far fronte all'assedio austriaco del 1747, dove probabilmente l'ingegnere Jacques De Sicre (1707-1755) fece costruire delle ridotte a protezione delle due cime (3). L'importanza strategica di quest'area risulta evidente in quanto il Monte Diamante, posizionato di fronte verso nord, apparteneva al territorio austriaco (*Genova e il parco urbano delle mura*, 1994, pp. 46-47). Nel 1780 gli ingegneri militari della Repubblica di Genova ipotizzarono la realizzazione di un'opera permanente, che non riuscirono, però, a condurre a termine a causa degli sviluppi politici successivi, culminati con la caduta definitiva della Repubblica. Nel XIX secolo, Monte San Michele divenne luogo di scontri che videro prevalere inizialmente l'esercito austriaco e, in seguito, quello francese (durante l'anno 1800), nel corso di battaglie note anche per la partecipazione di personaggi importanti della cultura italiana (4).

2.2. Il Fratello Maggiore

I lavori di potenziamento militare per la zona del Monte San Michele risalgono al periodo di dominio francese quando, tra il 1805 e il 1814, il Genio Militare si impegnò a edificare le due cime.



Fig. 1- Pieter Mortier, *Nouveau Théâtre d'Italie*, 1704. Visione storica della città di Genova. Il riquadro rosso indica approssimativamente la posizione del Monte San Michele.

Per quanto riguarda il Fratello Maggiore, le testimonianze rimandano ad una conformazione del tutto analoga alle fortificazioni tutt'ora esistenti, come Forte Puin e Fratello Minore, private del loro attuale sistema bastionato. I due esempi citati, insieme a Forte Diamante, costituiscono presenze attualmente persistenti che possono, dunque, costituire utili riferimenti per lo sviluppo della ricerca sulla natura originaria del Fratello Maggiore. Dalla documentazione raccolta, il Fratello Maggiore consisteva in una costruzione semplice: una torre a base quadrangolare di dimensioni 16,75 m. x 14,85 m., alta 10 m., a formare una struttura più tozza rispetto al Fratello Minore (Fig. 2). La torre si sviluppava su due piani, con muri a sezione continua per tutta l'altezza dell'edificio, con uno spessore 1,30 m. circa. Le facciate si caratterizzavano per la presenza di caditoie aggettanti su ogni lato (Finocchio, 1983: p. 147).

Una svolta determinante per lo sviluppo architettonico del forte avvenne a seguito del Congresso di Vienna del 1815, quando la Liguria fu annessa al Regno di Sardegna. L'insediamento dei Savoia in territorio genovese coincide con l'avvio di una strategia di potenziamento delle fortificazioni ideata dall'inglese William Bentinck.

L'operazione prevedeva una serie di interventi suddivisi in periodi soprannominati "epoche" (Finauri, 2007), dove il Forte Fratello Maggiore rientrava tra i primi e fondamentali edifici da implementare dal punto di vista bellico (5).

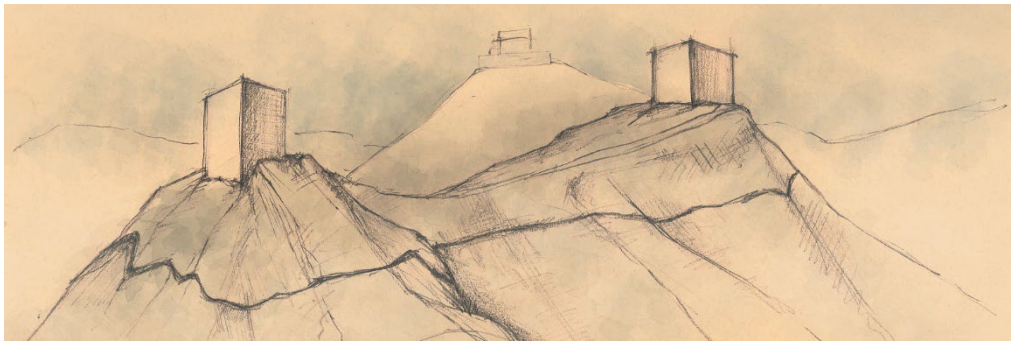


Fig. 2- Il Monte San Michele: le prime costruzioni francesi, a destra il Fratello Maggiore (Disegno di A. Meloni).

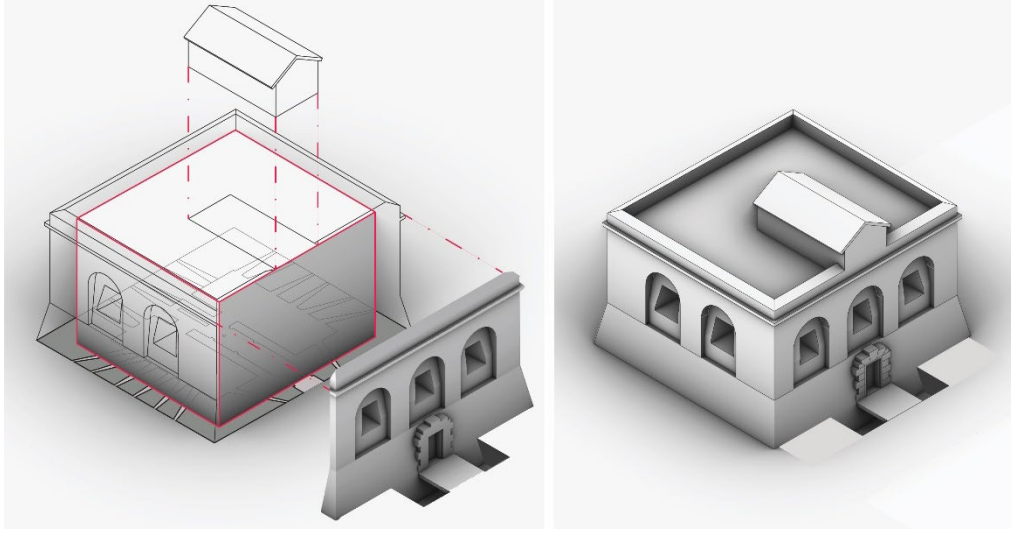


Fig. 3- Il Forte Fratello Maggiore: a sinistra, esploso assonometrico relativo all'intervento del Genio Sardo sulla preesistente torre francese (evidenziata in rosso); a destra, il Forte nella sua conformazione completa (elaborazione degli autori).

Questa operazione risultò fondamentale, in quanto gli edifici esistenti risultavano obsoleti rispetto agli avanzamenti tecnologici del tempo. Le torri venivano così rinforzate da bastioni e terrapieni modificandone totalmente la fisionomia, come accadde pure al Fratello Minore e ai vicini forti Puin e Diamante. Il processo additivo per il rinforzo strutturale dell'edificio risultò meno invasivo per il Fratello Maggiore, a cui non vennero aggiunte le strutture di protezione lungo l'area perimetrale. Alla torre quadrangolare francese vennero così rinforzate le mura tramite una forte scarpa, fino a costituire uno spessore massimo di 2,20 m. I prospetti dell'edificio si caratterizzano per un rinforzo murario segnato da aperture arcuate che incorniciano le finestre cannoniere e, al tempo stesso, nascondono le caditoie, senza lasciare traccia di quelle precedenti costruite dai francesi (Fig. 3). L'impiego di archi evidenzia un linguaggio compositivo molto simile al vicino forte Diamante, a rafforzare l'ipotesi dell'intervento dello stesso progettista. L'accesso all'edificio prevedeva un ponte levatoio per superare il fossato posizionato solamente in corrispondenza del prospetto principale. Gli spazi interni risultavano semplici nella concezione e molto simili tra loro nei due livelli, vista la presenza di due grandi stanze voltate a botte e separate da un vano distributivo centrale.

Al piano seminterrato, accessibile tramite una botola, era presente un'ulteriore stanza rivolta verso il fossato e una cisterna per la raccolta dell'acqua piovana. A differenziare i due piani sono le aperture: le feritoie in corrispondenza del livello terreno enfatizzano la presenza massiva della muratura che, invece, si riduce al primo piano in corrispondenza dei varchi necessari per ospitare le cannoniere (Fig. 4). La terrazza dell'ultimo piano, accessibile attraverso una casamatta, poteva ospitare due obici e presentava numerose caditoie lungo il perimetro.

Il forte terminò le sue funzioni militari alla fine dell'Ottocento, seguendo la stessa sorte del vicino Fratello Minore; tuttavia, a differenza di quest'ultimo, l'importanza strategica della vetta più alta del Monte San Michele condusse a numerose e drastiche modifiche del Fratello Maggiore. A partire dal 1930, infatti, il Forte venne distrutto fino a conservare un solo piano, con l'intenzione di realizzare una contraerea. Il progetto è poi abbandonato in quanto l'edificio venne considerato monumento storico della città (Finauri, 2007: p. 120). Nel 1944 l'esercito tedesco decise di abbatterlo definitivamente per realizzare le piazzole antiaeree visibili attualmente. I resti dell'originario Forte Maggiore corrispondono al piano seminterrato, attualmente inaccessibile.

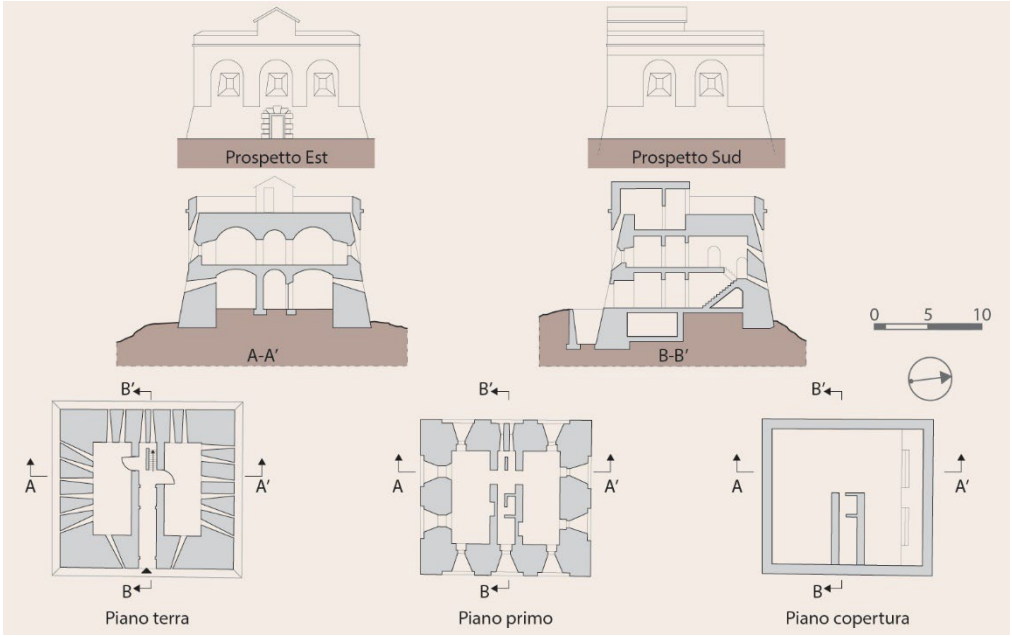


Fig. 4- Piante prospetti sezioni del Forte Maggiore (ridisegno degli autori da Finocchio, 1983).

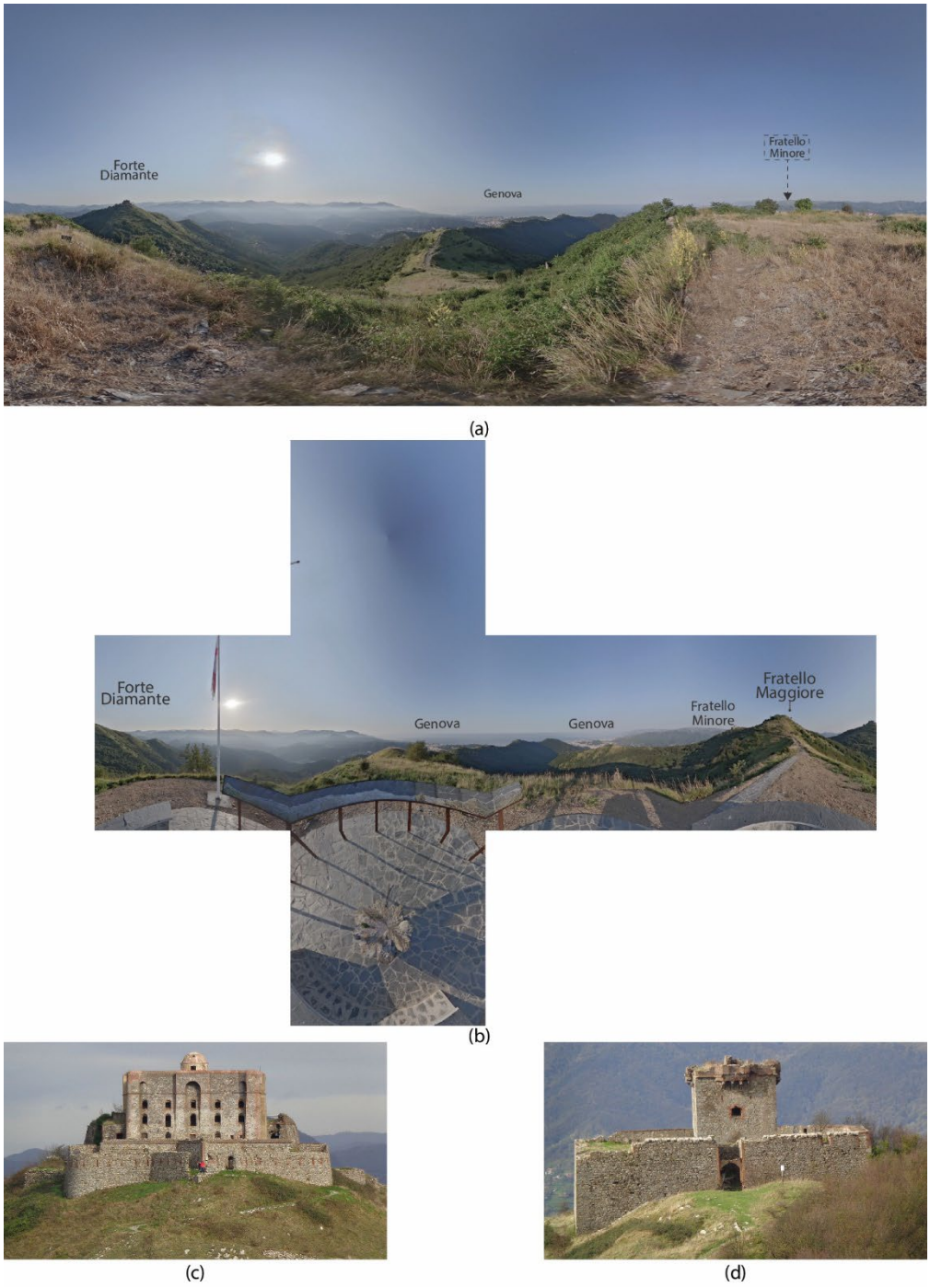


Fig. 5- Foto panoramiche della situazione attuale: a) Equirettangolare scattata dal luogo in cui sorgeva il Fratello Maggiore; b) Versione cubica del panorama rivolto verso: la città di Genova, le fortificazioni presenti (Forte Diamante, Fratello Minore) e la vetta dove sorgeva il Forte Fratello Maggiore (foto degli autori); c) Forte Diamante; d) Forte Fratello Minore (foto di Superchilum, Wikimedia Commons).

3. La ricostruzione virtuale del forte perduto

La ricerca si è sviluppata basandosi sulle testimonianze storiche e attraverso il confronto con il contesto circostante, con l'obiettivo di individuare strategie efficaci per portare alla luce un edificio perduto, quale elemento essenziale di un poco noto luogo ricco di storia. La strumentazione impiegata per perseguire questi intenti coinvolge la fotografia panoramica e il modello virtuale, combinandoli per sfruttare le opportunità di esplorazione dinamica che possono offrire. La riproduzione tridimensionale dell'oggetto architettonico in questione è ottenuta dalla documentazione storica di archivio (6). Si è considerata la letteratura in merito alla modellazione virtuale (Albisinni & De Carlo, 2011; Valenti, 2022) e al suo utilizzo nell'ambito della ricostruzione di architetture mai esistite o andate perdute (Spallone et al. 2022). Vengono approfondite, inoltre, le logiche applicative riguardanti le tecnologie più innovative nell'ambito della visualizzazione e della divulgazione (Giordano et al. 2024).

Le considerazioni critiche svolte sono fondate sull'osservazione e la comparazione con le fortificazioni limitrofe coeve al Fratello Maggiore, e in particolare con il già citato Forte Diamante. Le strutture arcuate in facciata sono ipotizzate con ghiere di mattoni regolari che, come evidenziato anche da Tiziano Mannoni (1991: p. 40), risultano tradizionalmente più frequenti nelle fortificazioni esterne alla cinta muraria del XVII secolo e spesso sono riconducibili al periodo Sabaudo. Parallelamente allo studio virtuale, si sono condotte campagne di rilievo corredate da riprese di fotografie panoramiche del luogo (Fig. 5). Com'è noto, l'impiego della fotografia sferica consente di ottenere modalità di visualizzazione immersive e dinamiche. Le potenzialità di questa tipologia di immagine sono differenti e riguardano svariati ambiti, dal rapporto tra percezione visiva e costruito (Candito & Meloni, 2022) agli aspetti divulgativi impiegati nell'ambito dei beni culturali (Meloni, 2022). Questo strumento si può estendere oltre la percezione del reale, e combinarsi con la modellazione virtuale.

Il procedimento che maggiormente viene impiegato in questa sede, infatti, riguarda la modalità di passaggio nella forma cubica dell'immagine sferica (Fig. 5b), per favorire l'ibridazione con il modello 3D. Nell'immagine fotografica, scomposta nelle sei facce del cubo, vengono inserite le immagini tratte dal modello virtuale, consentendo così di restituire la visione esplorabile a 360° per simulare ciò che poteva apparire nel corso della prima metà del XIX secolo (Fig. 6).

Il punto di vista scelto non solo consente di osservare contestualmente i tre forti principali, da sinistra Minore, Maggiore e Diamante, ma offre uno sguardo verso la costa e l'intero tessuto cittadino.

4. Considerazioni e applicazioni per la valorizzazione

Il materiale concepito nel corso della ricerca può essere utilizzato per veicolare le informazioni con l'impiego di sistemi di visualizzazione, per accedere ad immagini e notazioni storiche sul Forte Maggiore (tramite dispositivi personali e codici responsivi), in un'ottica di valorizzazione dell'intero tessuto delle fortificazioni genovesi.

Sviluppi futuri potrebbero contemplare l'impiego di strumenti in grado di visualizzare più nel dettaglio la struttura difensiva, anche attraverso l'interazione diretta con il modello virtuale, considerando anche le complesse fasi storiche che hanno interessato i due Fratelli dei forti genovesi.

Il risultato dell'ibridazione tra virtuale e reale consente di ottenere immagini immersive in grado di restituire, almeno visivamente, l'aspetto originario di questo luogo. Il Forte Maggiore si ricolloca sulla cima più alta del Monte San Michele ricostruendo, idealmente, quella linea difensiva interrotta che univa Forte Sperone con Forte Diamante. La ricerca può costituire la base per ulteriori sviluppi in una direzione di valorizzazione che, come materializzazione di una nota commedia classica (Plauto, I menecmi, III sec. a.C.; Plautus 1984), mira alla ricomposizione di una preziosa unità perduta.

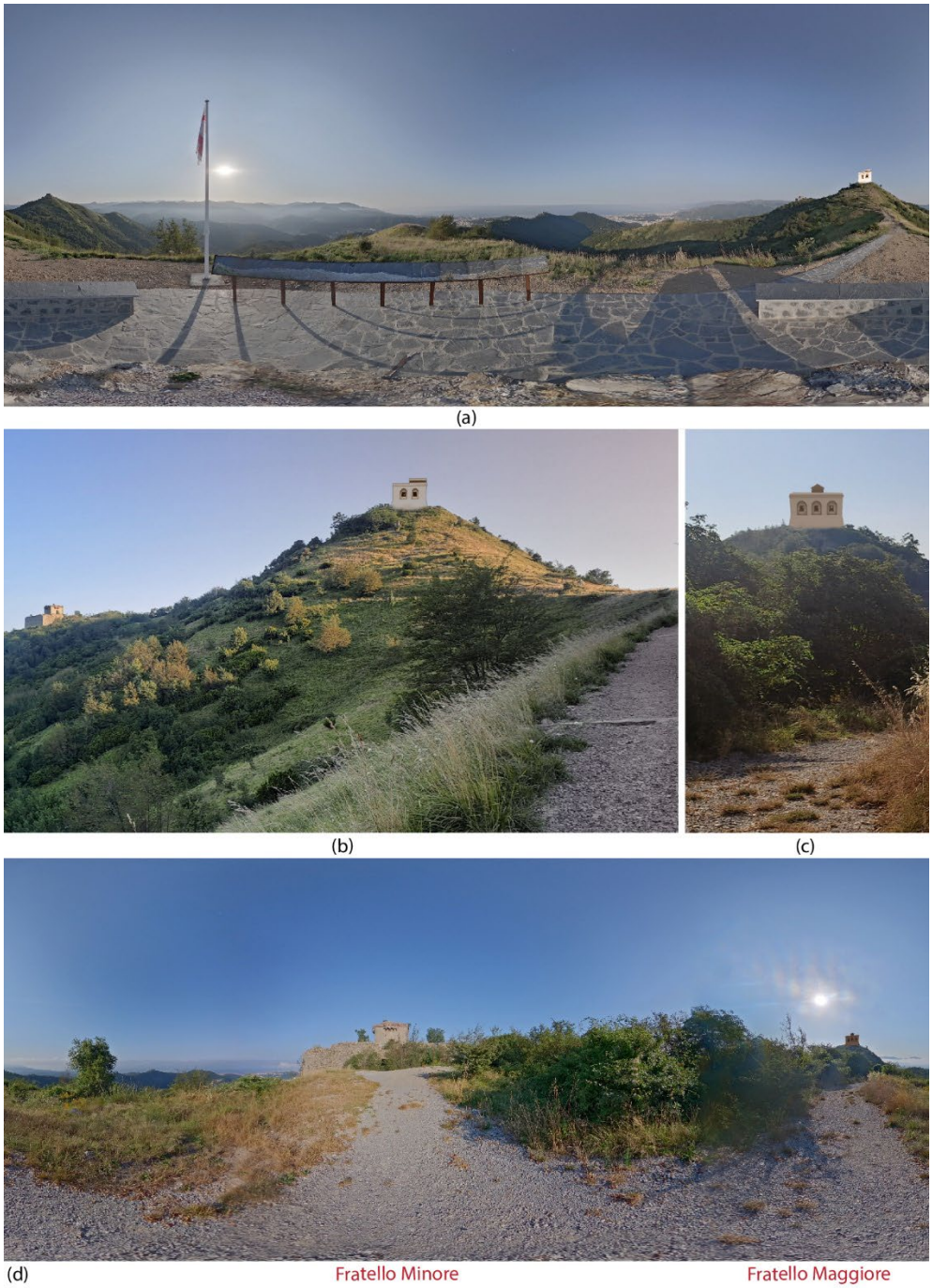


Fig. 6 - Tra reale e virtuale. Il Forte Fratello Maggiore nel contesto attuale: a) Equirettangolare della fig. 5b con inserimento del Fratello Maggiore; b) Vista dal sentiero di avvicinamento; c) vista dal Forte Fratello Minore; d) Fotografia equirettangolare di entrambi i fratelli (Elaborazione degli autori).

Notes

(1) Il nucleo originario coincide con la collina di Castello, attuale zona di Sarzano, che reca i resti preromani dell'ampio centro storico di Genova (P. Melli (ed.), *Archeologia in Liguria*, III. *Scavi e scoperte 1982-86*, Genova 1987, pp. 299-376).

(2) Per le mura di Barbarossa e le prime cinte, cfr. Galliani 1991.

(3) Nonostante la paternità non sia accertata, De Sicre era coinvolto nella maggior parte delle realizzazioni militari genovesi che in alternativa possono essere state compiute da altri ingegneri militari francesi (Finocchio, 1983: p. 146).

(4) È infatti durante queste battaglie che probabilmente venne ferito Ugo Foscolo (Delle Piane, 1979: p. 305; Finocchio, 1983: p. 145).

(5) Il forte Maggiore insieme ai forti Tenaglia, Belvedere, Crocetta, Sperone, Puin, Richelieu e Santa Tecla, sono considerati da William Bentinck di prima epoca, in quanto la loro costruzione risulta più importante. Appartengono alla seconda epoca i forti Minore, Diamante, Begato, Castellaccio e Quezzi (Finauri, 2007: p. 55).

(6) Uffici del Genio Militare di Genova (fonte tratta da Finocchio, 1983).

Ringraziamenti

Lo studio è stato condotto parzialmente con i fondi della ricerca P.R.A. 2024 (Progetti di ricerca dell'Università di Genova, dal titolo "Geometria e comunicazione accessibile degli spazi architettonici") coordinato da C. Càndito e con la partecipazione di A. Meloni. Nonostante il testo sia stato concepito in collaborazione tra gli autori, i paragrafi 2.2 e 3 sono stati scritti da Alessandro Meloni e i paragrafi 1, 2.1 e 4 da Cristina Càndito.

Bibliografia

Albisinni, P., De Carlo, L. (2011). (a cura di). *Architettura Disegno Modello*. Roma, Gangemi Editore.

Càndito, C. & Meloni, A. (2022) Development of a 3d Isovist Tool: the visibility of the architectural space of the University Palace in Genoa using panoramic photography. *SCIRES-IT. SCIentific RESearch and Information Technology*, Vol 12, n. 2, pp. 15-28.

Dellepiane, R. (1979). *Mura e Fortificazioni di Genova.* Genova: Nuova Editrice Genovese.

Fenoglio, F. (1991) La difesa di Genova nei secoli XVIII e XIX. In: *Forti di idee. Proposte per il recupero delle fortificazioni genovesi*, Farigliano, Milanostampa, pp. 21-34.

Finauri, S. (2007) *Forti di Genova: Storia, tecnica e architettura dei fortini difensivi*. Genova, Edizioni servizi editoriali.

Finocchio, R. (1983) *Fortificazioni di Genova: campali e permanenti. Volume II.* Genova, Valenti.

Galliani, G.V. (1991). *Forti di idee. Proposte per il recupero delle fortificazioni genovesi*. Atti del Convegno di studio di Genova, 1990, Farigliano, Milanostampa, pp. 51-63.

Genova. Il parco urbano delle mura: itinerari storico-naturalistici (1994) Genova, Sagep.

Giordano, A., Russo M., Spallone R. (2024). (a cura di). *Beyond Digital Representation. Digital Innovations in Architecture, Engineering and Construction.* Cham, Springer.

Mannoni, T. (1991). Le opere pubbliche nell'ultimo periodo della repubblica di Genova e nel periodo sabaudo. In: *Forti di idee: proposte per il recupero delle fortificazioni di Genova*, Farigliano, pp. 35-42.

Meloni, A. (2022). Un Virtual Tour accessibile per il Museo d'Arte Orientale Edoardo Chiossone. In: Càndito, C., Meloni, A. (a cura di). *Il Disegno per l'Accessibilità e l'Inclusione*. Atti del I convegno DAI. Genova 2-3 dicembre 2022, Alghero, Publica, pp. 107-123.

Plautus, T. M. (con un contributo di Questa, C., & Scàndola, M.). (1984). *I Menecmi. Tito Maccio Plauto*, Milano, Biblioteca universale Rizzoli.

Spallone, R., Teolato, C., Natta, F., Palma, V. (2022). Ricostruzione virtuale, VR e AR per la visualizzazione dell'aula provvisoria del I Parlamento italiano. In: *DIALOGHI visioni e visualità. un disegno per testimoniare, comunicare, sperimentare*. Atti del 43° Convegno internazionale dei Docenti delle discipline della Rappresentazione, Genova, 15-17 settembre 2022, Milano, Franco Angeli, pp. 2680-2697.

Valenti, G. M. (2022). *Di segno e modello. Esplorazioni sulla forma libera fra disegno analogico e digitale*, Milano, Franco Angeli.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20343

Rilievo 3D e Ricostruzione Digitale della Fortezza di Bergamo: la tenaglia di Sant'Agostino e la cannoniera di San Michele

Alessio Cardaci[a], Pietro Azzola[b], Antonella Versaci[c]
[a-b] Università degli studi di Bergamo, Bergamo, Italia, [c] Università degli Studi di Enna "Kore", Enna, Italia, [a] alessio.cardaci@unibg.it, [b] pietro.azzola@unibg.it, [c] antonella.versaci@unikore.it

Abstract

The Fortress of Bergamo is an imposing architectural construction dating back to the 16th century characterized by a well-preserved city wall and a linear development of over 5 kilometers; in 2017 it was registered in the UNESCO World Heritage Site as a world heritage site. As part of the studies aimed at its conservation and valorization, a pilot project was launched on the gunboat of San Michele, an underground environment on the sides of the bastion and designated for "flanked cannonade" for the defense of the gate of Sant'Agostino on the street for Venice.
The essay aims to illustrate the knowledge project resulting from the historical investigation, the metric-material and diagnostic survey, the graphic processing and the virtual restoration of the models and textures underlying the 3D rendering of the factory. A focus on new technologies aimed at communicating and enjoying cultural heritage resulting from an initial study of documentary sources, followed by precise mapping conducted on digital models, faithful copies of reality thanks to 3D laser scanner technology and HDR photogrammetry. The work allowed us to take an immersive journey in space and time right into the underground walls of the Walls at the end of the sixteenth century, in a virtual tour among bombers and men-at-arms grappling with cannons, fire buttresses, pikes and halberds.

Keywords: drawing, valorisation, preservation, UNESCO World Heritage Site.

1. Introduzione

Il saggio è incentrato sul tema della conoscenza, della documentazione e della valorizzazione della Fortezza di Bergamo; la roccaforte, nota soprattutto per le Mura Veneziane, è un sistema complesso di architetture militari e di spazi - ipogei e di superficie - realizzati secondo uno strategico disegno della Serenissima per la difesa e il controllo dei suoi possedimenti in Terraferma.

L'imponente struttura, conservatasi nei secoli nonostante sia cessata la sua originale funzione, è un luogo fisico che testimonia la storia della città dalla fine dell'epoca medievale ai nostri giorni. Una storia promossa e divulgata per volontà dell'amministrazione cittadina con la creazione di due musei dedicati che raccontano il secolo d'oro della Repubblica di Venezia. Un nuovo modo di descrivere il passato all'interno di una cornice in grado di coniugare l'architettura antica alla modernità di una narrazione innovativa e originale permessa dalla tecnologia.

Il primo, il "Museo del Cinquecento" inaugurato nel 2012 all'interno del Palazzo del Podestà, propone un percorso dedicato alla Bergamo rinascimentale attraverso animazioni grafiche e mappe interattive che restituiscono la vita culturale, politica ed economica della città (fig. 1a). Il secondo, "Le Mura di Bergamo: il Museo", inaugurato nel settembre del 2024 presso la porta di Sant'Agostino, illustra le vicende cardine dell'edificazione della fortezza, restituendo l'esempio bergamasco all'interno del più ampio contesto dei forti 'alla moderna'. Entrambi gli

BY-NC-SA

allestimenti hanno una doppia anima: da un lato quella più tradizionale con l'esposizione di dipinti, strappi d'affresco, armi e armature, trattati, carte geografiche, disegni e manoscritti; dall'altro l'anima più moderna e tecnologica con postazioni digitali, videoproiezioni, ricostruzioni 3D e grandi sale immersive dedicate alla storia del cantiere che ha modificato il volto e l'essenza della città sul colle (Fig. 1).

Un programma ambizioso avviatosi in occasione della preparazione del dossier necessario alla candidatura UNESCO; un impegno che ha visto l'attiva collaborazione dell'Università degli Studi di Bergamo, in particolare dello staff del laboratorio S.A.B.E. (*Survey &. Analysis of Built Environment*), nonché di studiosi di altri atenei italiani. Negli ultimi anni un nuovo intendimento del monumento è stato possibile grazie alla rilettura delle fonti archivistiche e alle recenti indagini metrico-materiche e dello stato di conservazione dell'intero perimetro dei fronti della cinta muraria, del baluardo di Valverde, della porta e del bastione di San Lorenzo, della c.d. 'polveriera superiore' di San Marco (in verità correttamente da appellare come 'Torresino da Polvere' del forte di San Marco), della cannoniera di San Michele e, non in ultimo, della 'tenaglia' di Sant'Agostino (Cardaci & Versaci, 2023); faranno seguito nuove ricerche riguardanti il baluardo e la cannoniera di San Giovanni e la porta di Sant'Alessandro.

Tasselli di un grande puzzle che hanno dato vita al progetto di conoscenza e valorizzazione del sito "PanoramaMura"; un viaggio in dieci tappe (intese come aree espositive di un unico grande museo) della poderosa fortezza che torna ad essere protagonista come luogo di scoperta, di visita, di conoscenza e di emozione. Una serie di interventi che realizzano l'idea dell'architetto restauratore Sandro Angelini che, conscio dell'importanza della salvaguardia dell'intero organismo (fatto, quindi, anche di piccoli episodi singolarmente poco significativi ma di grande valore per la corretta comprensione di un sistema univoco), presentò negli anni Ottanta del secolo scorso una proposta di museo diffuso all'interno del suo piano di risanamento conservativo per Città Alta, purtroppo non realizzata (Scarrocchia 2022). Un insieme di spazi espositivi allestiti, sia *en plein air* sia all'interno delle antiche strutture, connettendo una rete di percorsi snodati sopra le mura, ai piedi dei baluardi, all'interno delle cannoniere e utilizzato le 'sorterie'.



Fig. 1- Le sale immersive delle "Mura di Bergamo: il Museo" e del "Museo del Cinquecento".

Le Mura Veneziane di Bergamo, inserite nella lista del Patrimonio Mondiale dell'UNESCO il 9 luglio 2017, stanno per celebrare il decennale del prestigioso riconoscimento. L'appuntamento del 2027 vede sin d'ora coinvolte le istituzioni cittadine nella pianificazione congiunta di una serie di eventi (istallazioni, conferenze, attività educative, artistiche e culturali, …) per rivalutare la ricchezza storica, culturale e architettonica del sistema difensivo. Un'occasione importante in cui saranno resi fruibili i luoghi ancora inaccessibili e sarà completato il modello complessivo atto a restituire l'immagine della fortezza alla fine del Cinquecento.

2. La tenaglia di Sant'Agostino e la cannoniera di San Michele

La comprensione di un bene monumentale, oltre alla visita fisica *in situ*, è possibile se la fabbrica è raccontata e narrata nei suoi antichi fasti e nella sua evoluzione storico-costruttiva; è quindi necessario che sia svelata – attraverso la disciplina del Disegno nella sua espressione più avanzata e tecnologica (rilievo 3D, ricostruzioni tridimensionali fotorealistiche, animazioni e visite immersive *virtual reality*) – la dimensione invisibile e nascosta alla percezione diretta. Il

progetto della tenaglia di Sant'Agostino (inteso non solo come recinto difensivo ma quale insieme organico di varie fabbriche: dall'ex-convento, alla chiesa, alla porta, alle cannoniere e all'insieme infrastrutturale di accesso) influenzò fortemente il disegno delle possenti mura (Fig. 2). Il complesso religioso e le sue pertinenze, diversamente da altri importanti edifici di culto della città, non vennero demoliti ma annessi e racchiusi (sia per la forte influenza dei Padri Agostiniani, sia grazie al pagamento di una consistente somma di denaro) all'interno di un nuovo tracciato della fortificazione. La variante ebbe, come conseguenza, un allargamento della cinta verso sud-est che richiese la costruzione di altri due 'artigli difensivi' verso la pianura (oltre al bastione di Sant'Agostino, quelli attigui di San Michele e 'del pallone'), nonché la realizzazione di una maestosa ed imponente porta sulla via per Venezia (Colmuto Zanella 1988). Quest'ultima, nel suo aspetto, venne arricchita con la costruzione in asse di una fontana, anch'essa tripartita come il varco nelle mura, e aggraziata nell'aspetto dal raffinato contrasto cromatico tra la pietra scura di Sarnico – della struttura in alzato – e il marmo bianco di Zandobbio – delle nicchie e delle rientranze. Nel corso dei secoli la tenaglia ha modificato il suo aspetto nativo a seguito delle numerose trasformazioni urbane e del riuso delle architetture che rendono, oggi, difficile l'intendimento dell'aspetto originale del XVI secolo (Fig. 3).

Il laboratorio S.A.B.E. ha iniziato, nel corso del 2022, la ricostruzione digitale di modelli immersivi atti a condurre il visitatore in un viaggio nello spazio e nel tempo che, attraverso il confronto con l'antico, permetta di comprendere l'oggi e meglio apprezzare le testimonianze materiali ancora superstiti. La sperimentazione è stata condotta sulla cannoniera di San Michele, la 'postazione da fuoco' per la difesa della porta da sud-ovest.

Il progetto ha voluto ampliare l'intendimento, attraverso la documentazione digitale, di questi luoghi densi di cultura e di storia. Il baluardo di San Michele è stato scelto quale caso significativo per spiegare e divulgare il complesso apparato di difesa della fortezza, realizzato con una sinergica rete di artiglierie, sia ipogee che di superficie. È stata indagata e comunicata la morfologia degli spazi, la matericità delle superfici e la fisicità dei volumi; è stata scandagliata la vita all'interno delle mura



Fig. 2- La tenaglia di Sant'Agostino (elaborazione a acura di S.A.B.E.).

con un focus sulle armi e all'artiglieria cinquecentesca. Il progetto si è posto l'obbiettivo di restituire 'visioni' del forte in un preciso momento storico, il XVI secolo, sia per poter esporre immagini di una realtà poco nota ai più, sia al fine di disporre di materiali importanti per l'artefatto digitale. Il risultato è stato perseguito attraverso specifiche azioni: il rilievo geometrico-materico del baluardo e dei suoi sotterranei (Fig. 4), la modellazione *3D* delle antiche architetture e la narrazione per mezzo di un cortometraggio.

Il progetto è stato supportato dai risultati delle ultime ricerche scientifico-documentarie che hanno guidato le fasi di ricostruzione affinché i prodotti realizzati non fossero una fantasiosa invenzione ma una restituzione coerente del passato, fondata sulla digitalizzazione e sul restauro virtuale dell'esistente per discernere tra l'originale e la superfetazione. Il *Video-Rendering* non è una semplice ricostruzione virtuale, ma uno studio innovativo nel campo della rappresentazione del patrimonio; le tessiture murarie, gli arredi e le stesse armi che i visitatori hanno modo di osservare sono infatti scansioni 3D di parti del bastione e di pezzi della collezione permanente del museo. Il modello virtuale e la realtà sono stati legati da un binomio



Fig. 3- La porta Sant'Agostino in 3D (elaborazione e restituzione grafica di S.A.B.E.).

indissolubile che ha reso il progetto un caso studio di particolare interesse.

3. La costruzione dello spazio virtuale

La creazione dell'artefatto digitale è iniziata con il *3D Modeling & Texturing* a cui ha fatto seguito la narrazione visuale attraverso il *Video-Rendering*. Un workflow che ha impiegato differenti tecniche e diversi software al fine di integrare i modelli fotogrammetrici dello spazio ipogeo della polveriera con gli armamenti, le figure dei soldati e gli oggetti ormai scomparsi. La modellazione ha richiesto un approccio multi-scalare e tre differenti tecniche ricostruttive: il *3D Image-Based Modeling*, il *Direct Geometric Modeling* e il *Procedural Modeling* (Zeman, 2014).

La ricostruzione *3D Image-Based Modeling* si è basata sull'utilizzo congiunto di tecniche fotogrammetriche, sia con sensori passivi che con sensori attivi, per realizzare copie digitali delle architetture esistenti e degli oggetti oggi esposti nei musei cittadini. La *Direct Geometric Modeling* ha consentito, invece, la creazione di manufatti ed utensili *ex-novo* da immagini di archivio e descrizioni contenute negli antichi manuali; tutto questo a partire da primitive 3D o elementi estratti con processi di estrusione e di rivoluzione di figure piane. Il *Procedural Modeling*, in ultimo, ha permesso di realizzare le figure umane grazie a generatori parametrici *soft-body* semi-automatici in grado di controllare la corporatura e le pose dei personaggi (Figg. 4-8).

I modelli poligonali sono stati quindi migliorati con tecniche *3D Sculpture*; la scultura digitale consente la modifica puntuale della mesh utilizzando dei pennelli, variabili in dimensione e funzione, che interagendo con la superficie realizzano protrusioni, avvallamenti, scalfitture e incisioni (come se si stesse lavorando su un pezzo di argilla). Questo ha permesso di velocizzare le modifiche ma, di contro, ha aumentato il numero dei triangoli; è stato quindi necessario diminuine la complessità del modello campionandolo e affidando alle mappe di *bump* il compito di preservare e garantire la riproduzione dei dettagli e delle asperità. La ri-proiezione *bump mapping* ha consentito, infatti, di rappresentare le irregolarità delle superfici senza alterare la geometria del modello (Cardaci & Versaci, 2013).

Oggetti e uomini sono stati quindi posizionati all'interno dello spazio della polveriera al fine di essere presentati in un unico contesto scenografico e con la stessa illuminazione. La scena è un'installazione dinamica che muta nel tempo perché si modificano le inquadrature, le luci e, in più, la percezione spaziale è influenzata dall'aberrazione delle ottiche e dal movimento delle camere. Essa ha 'preso vita' con il *Video-Rendering*, inteso come il processo che dona un effetto fotorealistico a persone ed oggetti mostrandoli lentamente nel tempo e da differenti



Fig. 4- Il rilievo della tenaglia di Sant'Agostino con la porta e la cannoniera (elaborazione e restituzione grafica di S.A.B.E.).



Fig. 5- Il rilievo degli armamenti (foto a cura di S.A.B.E.).

punti di vista. Il tradizionale *shading* – ovvero la variazione omogenea di colore e luminosità delle singole facce in relazione alla luce incidente, all'angolo di osservazione e alla riflessione in ragione delle caratteristiche dei materiali) – è stato migliorato con il *texture mapping*, ovvero la sovrapposizione di immagini *raster* (ricavate dai modelli fotogrammetrici) sulla geometria poligonale del modello. La narrazione è stata affidata non a singole immagini ma a un cortometraggio al fine di sfruttare la relazione tra le componenti visive, uditive e temporali caratteristiche di una rappresentazione 4D. È stato scelto di descrivere la cannoniera e i suoi personaggi con la tecnica del *plan-séquence* – ossia una storia visuale attraverso una sola ripresa senza soluzione di continuità – perché ritenuta più adatta a riprodurre la 'realtà', senza le influenze tipiche del montaggio cinematografico che condizionano la visione dello spettatore suscitando un'emotività voluta dal regista (Bazin, 1999). Il film è una sequenza di immagini correlate che 'rendono' l'azione della scena e lo spazio è svelato poco per volta attraverso il movimento della camera, collocata ad 'altezza uomo', che accelera e rallenta in ragione del ritmo del brano musicale che la accompagna. La traiettoria è stata impostata su *keyframe* strategici



Fig. 6- Il rilievo degli armamenti (elaborazione e restituzione grafica di S.A.B.E.).

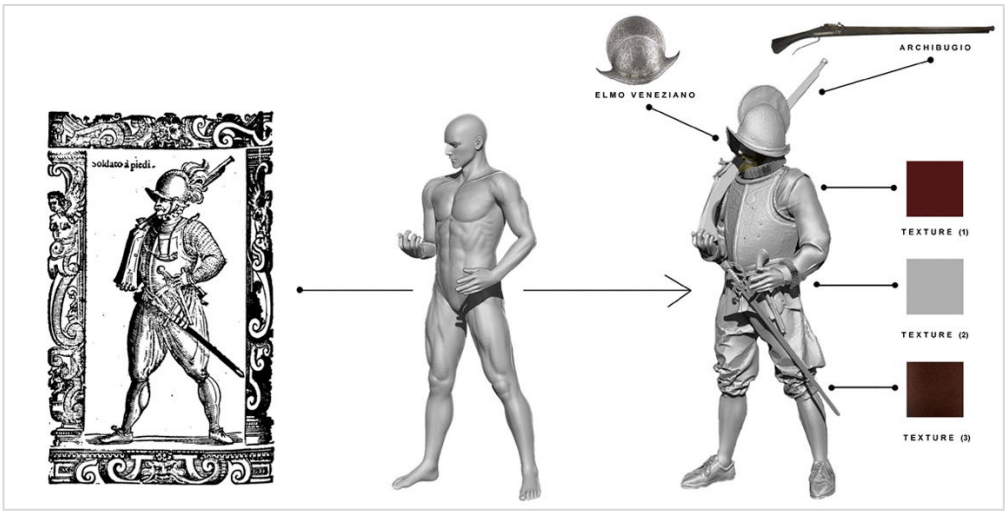


Fig. 7- La modellazione dei soldati dalle studio delle fonti archivistiche (elaborazione grafica di S.A.B.E.)

e rappresentativi della scena (fig. 9); sono state scelti le inquadrature in modo da enfatizzare i particolati delle architetture e le pose dei personaggi. In post-produzione sono stati impiegato particolari filtri per correggere errori di modellazione o aggiungere effetti di luce (la polvere dopo lo scoppio del cannone o la fiamma delle torse) particolarmente difficili da restituire direttamente in 3D. L'esecuzione meccanica di passaggi tecnici non assicura automaticamente ricostruzione digitali coerenti e corrette. L'uso adeguato della tecnologia è un presupposto fondamentale affinché la narrazione *Video-Rendering* sia chiara e facilmente interpretabile ma, focalizzarsi esclusivamente sugli aspetti tecnici dello strumento rischia di limitarne le potenzialità espressive e le capacità analitiche dell'autore. I recenti motori grafici – ad esempio EpicGames Unreal Engine – offrono oggi straordinarie potenzialità fotorealistiche ma le immagini prodotte si collocano sul confine tra illusione e realtà; queste ultime, pur presentando un alto valore di realismo, non sono comunque fotografie (quindi catture coerenti dell'esistente) ma forme di pittura digitale e, quindi, pongono all'osservatore il dubbio di trovarsi di fronte a una figurazione che non costituisca una verità assoluta ma una artefatta testimonianza della realtà; come la pittura tradizionale un *render* è sottoposto al giudizio dello spettatore che può



Fig. 8- Il rendering e lo studio delle pose dei soldati (elaborazione grafica di S.A.B.E.).

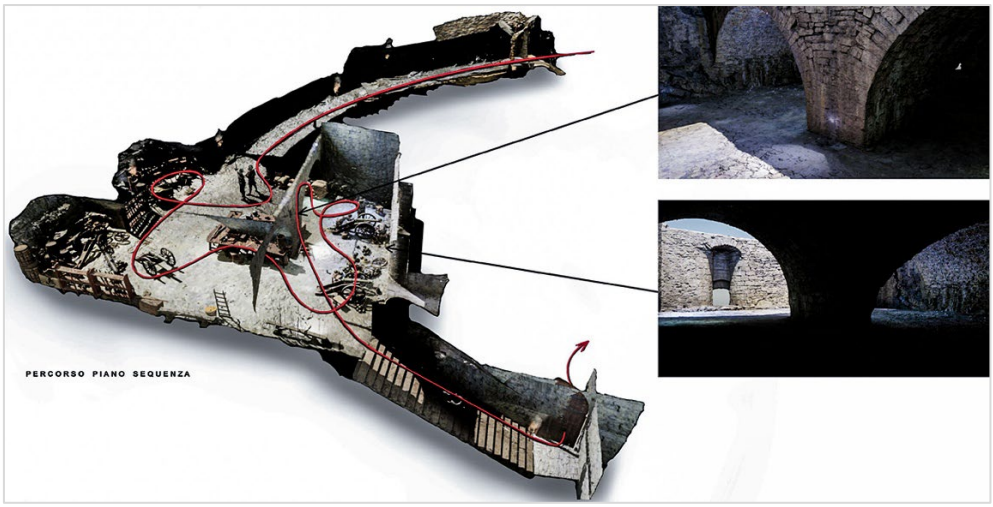


Fig. 9- La costruzione scenografica e il movimento della camera per il *plan-séquence* (elaborazione grafica di S.A.B.E.).

interpretarlo come un disegno d'invenzione. Questo perché, nonostante i soggetti rappresentati si configurino come verosimili, essi sono tutt'altro che naturali e interpretati "nel modo in cui in cui si elabora la figurazione di un ricordo" (Vidler, 2009, p.84).

La finalità della ricostruzione virtuale della cannoniera di San Michele non è stata quindi la ricerca di un fotorealismo estremo ma una narrazione per immagini in gradi di 'vedere' il presente e 'immaginare' il passato, dove (Fig. 10) "le figure, i paesaggi e gli oggetti richiamino la visione naturale [riconducendo] tuttavia ad una scelta fra tante" (Falcinelli, 2020, p.157), non per forza la più corretta ma la più convincente.

4. Conclusioni

Il progetto, ancora in itinere, ha come obbiettivo finale la realizzazione di un sistema di AR che permetterà al visitatore di 'vedere' nello stesso istante l'ipogeo sia come appare oggi che nel passato. Questo anche al fine di riconoscere l'originalità di molti elementi architettonici e



Fig. 10- Un'immagine estratta del Video-Rendering (elaborazione grafica di S.A.B.E.).

costruttivi che si sono conservati nei secoli e meritano di essere 'visti' con particolare attenzione e rispetto per comprenderne l'antica funzione.

Notes

Lo studio è stato condotto nell'ambito del progetto di P.E. "Le Mura si fanno museo: la tenaglia di Sant'Agostino luogo nevralgico della Fortezza di Bergamo" promosso dal Dipartimento di Ingegneria e Scienze Applicate (DISA) dell'Università degli Studi di Bergamo con la collaborazione del Museo delle Storie di Bergamo. Si ringrazia la direttrice, la dott.ssa Roberta Frigeni, e il suo staff per il prezioso aiuto. Gli autori ringraziano il Segretariato UNESCO del Comune di Bergamo nelle figure del dott. Claudio Cecchinelli e della dott.ssa Laura Ciccarelli.

Bibliografia

Bazin, A. (1999) *Cosa è il cinema* (trad. A. Aprà). Milano, Bompiani.

Cardaci, A. & Versaci, A. (2013) Image-based 3D modeling vs laser scanning for the analysis of medieval architecture: the case of St. Croce church in Bergamo. In: *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. retrieved from http://hdl.handle.net/10446/32021

Cardaci, A. &Versaci, A. (2023) La Fortezza di Bergamo: un patrimonio militare da rileggere e conservare The Fortress of Bergamo: a military heritage to be re-read and preserved. In: *Città e Guerra: difese, distruzioni, permanenze delle memorie e dell'immagine urbana*. Napoli, Edizione FedOA-Federico II University Press, pp. 27-36.

Colmuto Zanella, G. (1988) Le mura. In: *Progetto: il colle di Bergamo* (a cura di L. Pagani). Bergamo, Pierluigi Lubrina Editore, pp. 61-70

Falcinelli, R. (2020) *Figure: come funzionano le immagini dal Rinascimento a Instagram*. Torino, Einaudi.

Scarrocchia, S. (2022) *Sandro Angelini: architetto in Bergamo e conservatore internazionale nel secondo Novecento*. Milano, Mimesis.

Vidler, A. (2009) *La deformazione dello spazio: arte, architettura e disagio nella cultura moderna* (Trad. M. Laera). Milano, Postmedia.

Zeman, N. B. (2014) *Essential Skills for 3D Modeling, Rendering, and Animation*. New York, Taylor & Francis CRC Press.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20344

The defensive system of the fortified citadel of Berat

Raffaella Casalino[a], Valeria Cerroni[b], Mauro Mastrapasqua[c], Adalberto Occhinegro[d], Blerta Qosja[e]

[a-b-c-d-e] Politecnico di Bari, Bari, Italy, [a]casalino_raffaella@libero.it, [b] valecerroni97@gmail.com, [c]mauromastrapasqua99@gmail.com, [d] alberto.occhinegro@gmail.com, [e] blertaqosja97@gmail.com

Abstract

UNESCO site since 2008, for its architectural features typical of the Ottoman period and as an example of peaceful coexistence between different cultures and religions, the city of Berat is divided into three main historic districts: Kala built in the walls of the old fortress, Mangalem along the hill and towards the river, Gorica beyond the Osum river nestled in the mountains.

The survey campaign, included in a research which is part of a collaboration between the Department of Architecture, Construction and Design (ArCoD), the Research Unit of the Aldo Moro University of Bari and the Institute of Albanological Studies of Tirana is recognized by the Ministry of Foreign Affairs and International Cooperation (MAECI) as one of the working steps regarding the study of the fortified citadel. Thanks to a mixed survey, with a prevalence of both terrestrial and aerial photogrammetry with drones, it has been possible to accurately scan the entire defensive system of the city avoiding problems such as the inaccessibility of some location, due to very steep terrain, and the large presence of vegetation.

The digital models generated and represented at different scales, were fundamental to describe the overall state of conservation, made it possible to create a digital twin of the fortress and will be a point of reference for changes and analyzes of the site over time.

In reference to the digital reconstruction, it was possible to carry out a study on the defensive and war functioning of the city and it was a way to hypothetically reconstruct the military structure during the different periods in relation to the evolution and changes in armaments throughout history.

Keywords: Photogrammetry, Military architecture, 3D Survey, Virtual reconstructions.

1. Introduzione

Il presente studio ha lo scopo di documentare i risultati ottenuti dalla campagna di rilievo della cittadella fortificata di Berat, città albanese dichiarata nel 2008 Patrimonio dell'Umanità dall'UNESCO come "raro esempio di città ottomana ben conservata". L'attività, riconosciuta dal Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale (MAECI), è inserita in una ricerca svolta dal Dipartimento di Architettura, Costruzione e Design (ArCoD), in collaborazione con l'Unità di Ricerca dell'Università Aldo Moro di Bari e l'Istituto di Studi Albanologici di Tirana. È stata condotta una campagna di rilievo misto sull'intera cortina muraria della cittadella fortificata di Berat con l'ausilio di fotogrammetria sia terrestre sia aerea con droni al fine di ottenere dei modelli digitali dell'intero sistema difensivo come base di ricerca, documentazione e restituzione grafica.

2. Rilievo celerimetrico

Alla base del lavoro svolto vi è il rilievo celerimetrico che ha determinato una corretta misurazione dei punti con l'ausilio di una stazione totale (modello Nikon C-100), una palina per le altezze più elevate ed un prisma riflettente. La celerimensura è caratterizzata dalla velocità di esecuzione del rilievo e per tale motivo

BY-NC-SA

gli operatori che hanno eseguito le operazioni di misura si sono divisi con compiti ben definiti: un tacheometrista, colui che ha avuto il compito di effettuare le misure con la stazione totale; uno scrivano, con il compito di trascrivere i dati; due portastadia, con il compito di posizionare la palina ed il prisma sul punto interessato; ed infine un fotografo.



Fig. 1- Stazione totale modello Nikon C-100.



Fig. 2- Poligonale con restituzione delle stazioni battute.

Si è scelto un punto di partenza (stazione A) dal quale iniziare e si sono individuati dei punti da misurare. Sono stati presi dai 3 ai 5 punti d'aggancio tra una stazione e la sua successiva al fine di garantire una maggior accuratezza nella misurazione. Laddove la zona si presentava più articolata sono stati battuti più punti.

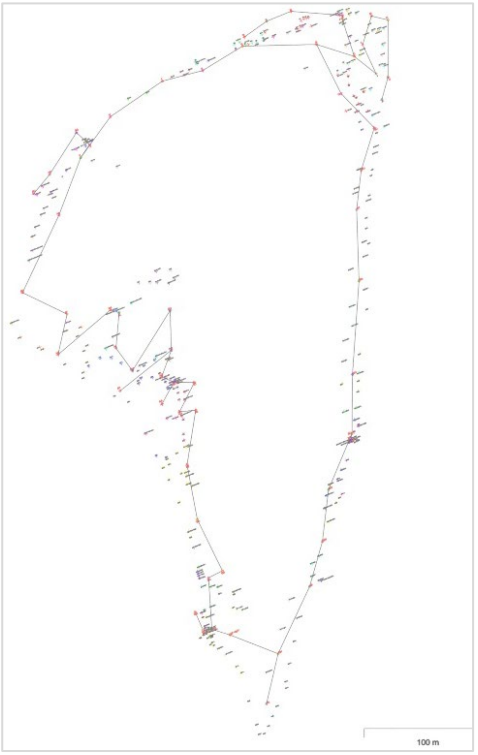


Fig. 3- Poligonale con restituzione di tutti i punti battuti.

Trattandosi di un'area molto vasta da rilevare si è effettuata una triangolazione attraverso l'individuazione dei punti da misurare al fine di ottenere una poligonale chiusa lungo tutta l'area di Kala. Le stazioni agganciate sono state 71 con un totale di 694 punti battuti. Lo step successivo è stato quello di restituire i punti battuti con l'aggiunta del dato altimetrico (z). Questo passaggio ha permesso una prima verifica dell'attività di misurazione con l'accumulo di un errore di 0.25 m sull'intera superficie rilevata. Come si può evincere da Fig.2 e Fig.3, la restituzione dei punti rilevati, con il collegamento delle stazioni mediante la poligonale, permette di riconoscere una forma preliminare della cittadella.

3. Fotogrammetria

Sul campo ci si è avvalsi dell'ausilio di adeguata strumentazione quale droni e macchine fotografiche. All'interno delle tabelle che

seguono (Tab.1-2) sono elencate le caratteristiche tecniche delle fotocamere reflex utilizzate durante il rilievo.

ILCE-6300 (Sony)	D3100 (Nikon)
6000x3376 px	4608x3072 px
23.3x15.5 mm	23.1x15.4 mm
f/2.8	f/4
1/160 sec	1/200 sec
ISO 200	ISO 200
F.D. 16-50 mm	F.D. 18-55 mm

Tab. 1- specifiche tecniche delle reflex utilizzate

MAVIC PRO 2	DJI MINI 2
1" CMOS, 20 MP	1/2.3" CMOS, 12 MP
Campo visivo 77° formato 35 mm	Campo visivo 83° formato 24 mm
GPS+GLONASS	GPS+GLONASS+ Galileo
Verticale ±0.5 m Orizzontale ±1.5 m	Verticale ±0.5 m Orizzontale ±1.5 m

Tab. 2- specifiche tecniche dei droni utilizzati.

L'operazione di rilievo di tutta la cortina muraria della cittadella è avvenuta mediante fotogrammetria sia terrestre sia aerea. Ciò ha permesso di ottenere informazioni metriche come la forma, la dimensione e la posizione degli elementi architettonici.

Lo scopo è stato quello di acquisire e successivamente restituire, a diverse scale, le nuvole di punti e le immagini dei singoli tratti di cortina muraria, ma anche l'intero assetto territoriale della cittadella fortificata Kala.

3.1. Rilievo territoriale

Al fine di produrre un'immagine complessiva topografica dell'intera cittadella di Berat si è effettuata fotogrammetria puramente aerea.

La prima operazione è stata la pianificazione dei singoli voli dei droni in continuità con l'operazione preliminare di rilievo celerimetrico. Le fotografie di rilievo sono state esclusivamente nadirali, ovvero scattate con la fotocamera inclinata di 90° rispetto all'orizzonte. Come visibile da Fig.4 data la grandezza del sito sono stati effettuati un totale di 6 voli con un'altezza media di volo di 90.6 m circa e 1735 foto totali.

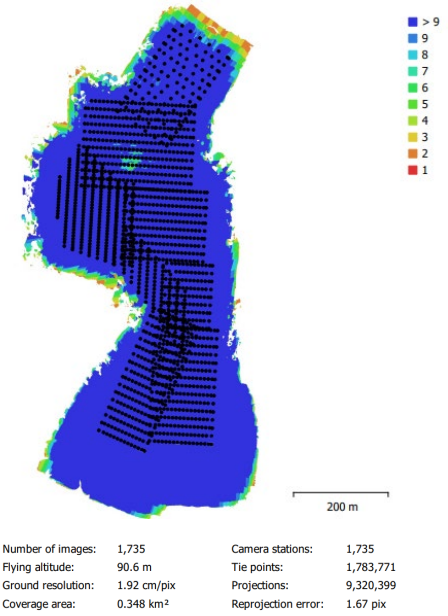


Fig. 4- Topografico con foto scattate dal drone.

Attraverso appositi software fotogrammetrici si è restituito l'intero modello 3D del topografico della cittadella orientata secondo le coordinate di alcuni dei punti battuti con la stazione totale del rilievo celerimetrico (marker) facilmente individuabili dalle foto nadirali.

Segue l'immagine del modello dell'elevato dal quale si evince l'altezza del modello 3D (Fig.5) affiancato dalla tabella dei marker utilizzati per l'orientamento di quest'ultimo (Tab.3).

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total (m)	Image (pix)
punto 1	0.00845179	-0.00834783	-2.89788e-05	0.0118794	4.732 (12)
punto 10	-0.00898773	-0.0702578	-0.00402757	0.0709447	0.836 (32)
punto 9	0.00645622	-0.0117343	-0.0121665	0.0180942	1.085 (33)
punto 7	-0.0116423	-0.0336556	0.045281	0.0576074	1.165 (19)
punto 8	-0.0110635	-0.00362715	-0.0294794	0.0316953	0.797 (45)
punto 12	-0.0248885	0.0118227	-0.0262995	0.0380904	1.131 (122)
punto 6	0.00382255	-0.00193576	0.0192916	0.0197617	1.519 (44)
punto 5	-0.0111242	-0.012814	0.01487	0.0225624	0.594 (57)
punto 11	-0.00103453	-0.0455336	0.0103968	0.0467169	1.028 (25)
Total	**0.0115984**	**0.0310384**	**0.0223027**	**0.0399414**	**1.330**

Tab. 3- Elenco coordinate di marker.

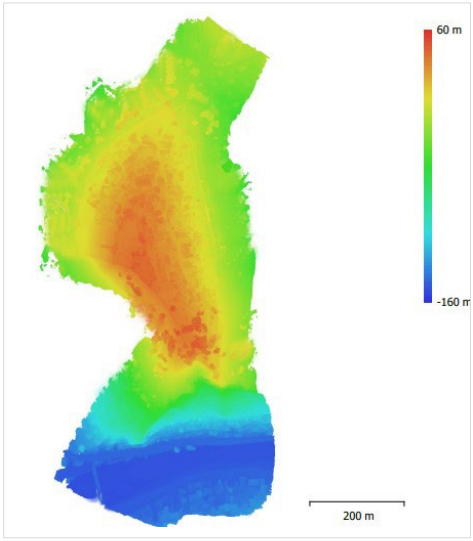


Fig. 5- Topografico con elevato.


Fig. 6- Ortofoto del topografico della cittadella fortificata.

3.2. Rilievo architettonico

Per ottenere un rilievo architettonico delle porzioni murarie, di dettaglio maggiore, si è ricorsi alla fotogrammetria terrestre ed aerea con ausilio di droni. Inizialmente si è divisa in tratti l'intera cortina muraria con uno specifico nome per ogni torre del sistema di fortificazioni (es. kulla1-torre1) per facilitare la lettura e l'organizzazione dell'attività di rilievo e dell'acquisizione dei dati.

Trattandosi di prospetti, è stato opportuno mantenersi ortogonali al piano seguendo un andamento ad "S" lungo il prospetto interessato e proseguendo con questa metodologia per tutti i singoli tratti. Riguardo l'acquisizione di foto aeree con l'ausilio di droni si sono scattate foto nadirali, con fotocamera inclinata a 90° rispetto l'orizzonte, foto con camera inclinata a 45° e foto frontali al prospetto.

Al fine di garantire un adeguato modello 3D dei singoli tratti la fotogrammetria aerea è stata integrata con fotogrammetria terrestre. In questo modo attacchi a terra, insenature e spazi interni come portali e torri accessibili sono stati rilevati ed integrati nei modelli evitando mancanze di dati.


Fig. 7- Sezioni della torre d'ingresso della cittadella.

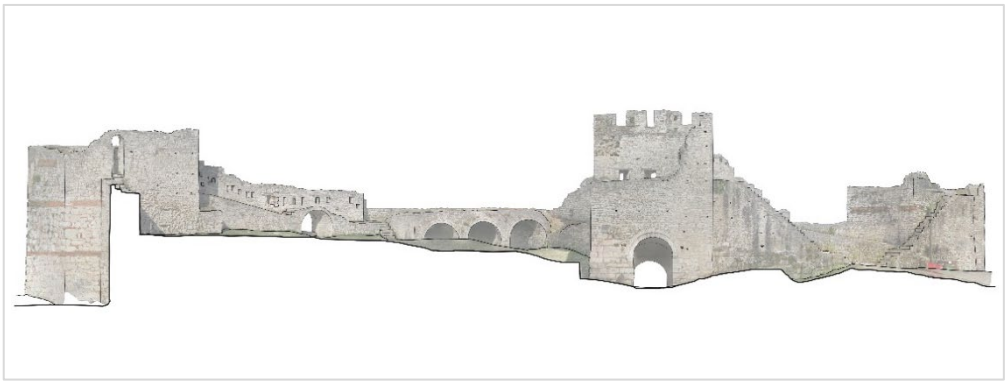


Fig. 8- Ortofoto con restituzione dell'ingresso di Kala.

4. Restituzione grafica

Il risultato delle diverse restituzioni dei singoli tratti, attraverso la fotogrammetria, sono le ortofoto o ortoimmagini ad alta risoluzione.

Da quest'ultime si è riusciti a estrapolare le curve di livello della cittadella, l'andamento del suolo e del fabbricato, tutte le planimetrie, sezioni e prospetti dei tratti rilevati.

Fondamentale specificare come si sono ottenuti, in base al rilievo effettuato, dei risultati differenti: dal rilievo territoriale si è estrapolato l'andamento del suolo ed i rapporti fra le parti, mentre, per il rilievo architettonico, si sono ottenuti dei dati che hanno permesso di svolgere un attento studio sul bene.

Mediante l'utilizzo di software specifici è stato possibile, perciò, ricavare fotopiani con un processo di ortorettifica di immagini andando a eliminare i fattori di distorsione.

Attraverso quest'ultime si è stati in grado di garantire una precisa restituzione grafica di tutto il sistema di fortificazioni della cittadella fortificata.

5. Conclusioni

La campagna d'indagine proposta illustra il rilievo e la rappresentazione di una città albanese dichiarata Patrimonio dell'Umanità dall'UNESCO per la sua storia ed architettura. All'inizio della ricerca non vi era alcun tipo di dato sul quale poter sostenere un lavoro di restituzione, per cui con il rilievo misto svolto è stato possibile raccogliere sufficiente documentazione utilizzata come base di ricerca, analisi e restituzione del sito interessato. Il tema presentato ha comportato l'esplorazione delle potenzialità analitiche del rilievo digitale ottenuto attraverso rilievo celerimetrico e fotogrammetria e ha avviato la produzione di modelli 3D che hanno costituito l'aspetto comunicativo del sito. Tale ricerca ha definito una base funzionale per supportare una successiva fase d'indagine e analisi attraverso l'esito di una digitalizzazione integrale del bene.

Contributo degli autori

Il presente paper è parte di un lavoro di Tesi di Laurea collettiva Magistrale in Architettura. Pertanto, tutti gli autori devono essere considerati principali.



Fig. 9- Processo di restituzione grafica**.**

Bibliografia

Bace, A. (1971) *Qyteti i fortifikuar i Beratit. Monumentet* 2, pp. 43-63.

Bace, A., Meksi, A. & Riza, E. (2011) *Berati, historia dhe arkitektura* (botomi II), Tiranë, 8 Nëntori.

Balsa-Barreiro, J. & Fritsch, D. (2018) *Generation of visually aesthetic and detailed 3D models of historical citties by using laser scanning and digital photogrammetry. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage,* 8, 57-64.

Bertocci S., Bini M. (2012) *Manuale di rilievo architettonico e urbano*. Torino, CittàStudi.

Castagnolo, V., De Cadilhac, R., Perfido, P. & Rossi, G. (2016) Il Rilievo, il Restauro e la Storia per la conoscenza e la tutela dell'architettura fortificata. In: Castagnolo, V., De Cadilhac, R., Perfido P. & Rossi, G. (ed.) *Giornate di studio sull'Architettura fortificata. Rilievo e Restauro*. Proceedings of Giornate di studio sull'Architettura fortificata. Rilievo e Restauro, 7/9 aprile 2016, Bari, pp. 17-20.

Cento, G. (1992) *Rilievo edilizio architettonico*, Vitali e Ghianda.

De Luca, L. (2011) *La fotomodellazione architettonica. Rilievo, modellazione, rappresentazione di edifici a partire da fotografie,* Flaccovio Dario.

Docci, M. (2001) *Strumenti didattici per il rilievo. Corso di strumenti e metodi per il rilevamento dell'architettura*, Gangemi Editore.

Karaiskay, G. (1981) *5000 vjet fortifikime në Shqipëri*, Tiranë, 8 Nëntori.

Lici, M. (2016) *The Impressive Antique fortifications along Osum River Valley*. In: Online International Interdisciplinary Research Journal, Vol. VI.

Republic of Albania (2008) *Nomination file to the UNESCO world heritahe list*, Tiranë.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20345

The defensive system of Montecatini Val di Cecina. Digital integrated relief for knowledge and enhancement

Roberto Castiglia[a], Lorenzo Ceccarelli [b]
[a] University of Pisa, Pisa, Italy, roberto.benedetto.castiglia@unipi.it, [b] University of Pisa, Pisa, Italy, lorenzo.ceccarelli1@phd.unipi.it

Abstract

On the occasion of the Fortmed 2024 held in Tirana was presented, by the same authors, a first contribution on the ancient village of Montecatini Val di Cecina, still dominated by the imposing tower of the Belforti (from now on Tower) one of the most powerful families of the Volterra's territory in sec. XIII. Important are the transformations that have affected the territory surrounding the village, first with the plant of a copper mine now transformed into a museum and more recently, with the exploitation of wind energy. The intent of the article already presented was to document, albeit through the initial acquisitions arising from archival, bibliographical and iconographic surveys, the results of the initial phase of research whose main objectives are knowledge and diachronic interpretation of the current urban conditions. The identification and diachronic interpretation of the residual traces of the ancient defensive system is testified, in addition to the Tower, also by the presence of circular towers, coeval or after the construction of the same Tower (1340). This paper documents, as indicated in the final part of the article Fortmed 2024, the expected developments of the research undertaken and which also include a more careful and thorough analysis of the Tower. The further steps of the research move in the first place from the indispensable acquisitions resulting from the integrated instrumental survey operations, performed with 3D laser scanning and drone photogrammetry. Beyond the operational issues related to major operations, the contribution aims to explain how the 3D restitution of the village of Montecatini Val di Cecina, although useful for the main objectives assumed on the basis of the research, is not only a necessary tool to undertake operations of protection and enhancement but also to activate innovative modes of communication all aimed at extending the dissemination of historical knowledge of the village, to be understood as a necessary and desirable cultural and tourist resource, to the wider catchment area.

Keywords: fortified structure, history, survey, Volterra.

1. Introduzione

Il patrimonio architettonico e paesaggistico della Toscana vanta la presenza di un gran numero di borghi fortificati, collocati soprattutto nei territori più interni della regione ed accomunati spesso da un forte legame con la natura e il contesto nel quale sono situate. La comprensione di questo complesso rapporto combinata con indagini di tipo storico-archivistico e tecniche di rilievo digitale integrato risultano fondamentali per la ricostruzione dell'assetto storiografico. Oggi la mappatura grafica del patrimonio culturale viene ottenuta principalmente mediante sistemi aerei o terrestri di fotogrammetria SfM (*Structure From Motion*) e/o scanner laser 3D. L'integrazione dei due metodi è quanto mai necessaria per la realizzazione di un modello tridimensionale complesso come quello di un

BY-NC-SA

borgo storico (Navarro & Piqueras, 2024). In tale quadro, nel presente articolo è documentata la metodologia adottata e una sintesi dei risultati del rilievo 3D del borgo di Montecatini Val di Cecina, antico centro del volterrano collocato su una delle ultime propaggini verso il Mare Tirreno, delle Colline Pisane (Fig. 1).

Tale contributo, inedito per questa parte di territorio della Val di Cecina, apre il campo a molteplici sviluppi della ricerca alla scala territoriale, urbana e architettonica, sincronica e diacronica.



Fig. 1- Borgo di Montecatini Val di Cecina (foto degli autori, 2024).

2. Inquadramento storico

Il borgo di Montecatini, che assume per un certo tempo anche quella di Monte Leone, sembra nominato per la prima volta nelle confinazioni dei beni confermati nel possesso della pieve di S. Eleuterio di Gabbreto, in un decreto vescovile del 1096 (Bocci et al. 2003).

Nel 1109, Gualando detto Malcone della Gherardesca dona al vescovo di Volterra la metà di alcuni "castelli", tra cui Montecatini.

Al vocabolo castello non corrisponde nessuna conferma proveniente dalle fonti archivistiche, circa la presenza di un cassero, di una torre né tantomeno di una cinta muraria. Cò nonostante, pur non conoscendo né i personaggi coinvolti né il riferimento temporale, viene ipotizzato di far risalire l'incastellamento al sec. XII per iniziativa, forse congiunta, dei vescovi volterrani e dei Gualandi o dei soli presuli (Ceccarelli Lemut, Bertini & Rosticci, 2000).

Nel corso del secolo XIV si afferma a Montecatini la casata guelfa dei Belforti, tra le più ricche e influenti famiglie della città di Volterra, emersa fin dai primi del secolo XIII. La famiglia dei Belforti, in virtù dei proficui rapporti finanziari con il vescovato, sale a grande potenza quando Ranieri ascende alla cattedra vescovale di Volterra (1301-1320).

Per i privilegi laici ed ecclesiastici i Belforti ottengono la titolarità dei castelli di Montecatini Val di Cecina, Berignone e la titolarità di diritti su numerosi altri insediamenti del contado, tra cui Caselle e Serrazzano (Tripodi, 2011).

I Belforti, prima con Ottaviano e in seguito con il di lui figlio Paolo, poi giustiziato a seguito di una rivolta popolare appoggiata da Firenze, sono signori di Volterra dal 1340 al 1361.

La famiglia Belforti, bandita dal volterrano nel 1365, si disperde. Ai Belforti si deve la realizzazione del nuovo assetto e potenziamento della fortificazione di cui oggi rimangono evidenti tracce nella torre e nelle quattro torricelle (Fig. 2). Della cinta muraria non rimangono invece tracce, rimosse per trarne materiale da costruzione o inglobate nelle costruzioni.

Sappiamo che la torre, edificata probabilmente in corrispondenza del precedente cassero, è in corso di costruzione nel 1340. L'unica porta superstite, si trova nei pressi della chiesa di San Biagio, di cui le fonti scritte non offrono notizie fino al 1339. Come riportato in una epigrafe ancora esistente, la consacrazione della chiesa risale al 1361.

Pochi anni prima, nel 1355, i Belforti costruiscono nel castello anche un palazzo residenziale, oggi stravolto nella sua configurazione originaria con aggiunte incongrue. Sappiamo che nel 1355, la torre, il cassero e il palazzo sono esclusi dalla concessione in affitto della quasi totalità dei beni immobili posti da Filippo Belforti, vescovo di Volterra dal 1348 al 1358. Una ricostruzione del castello di Montecatini è stata ipotizzata da C. Inghirami (Melosi, 2007).

Una volta venuta meno la signoria dei Belforti a Volterra dopo l'uccisione di Paolo, d'indole tirranica, la casata si distacca progressivamente da Volterra seguendo le sorti della città fino all'assorbimento nel dominio fiorentino per mano di Federico da Montefeltro nel 1472. Le vicende di Montecatini tra i secoli XV e XVIII, non offrono significative argomentazioni anche perché le fonti scritte sono andate disperse.

Da segnalare, tra il secolo XV e il 1630, la coltivazione del rame, probabilmente in atto anche in epoca etrusca (Trovato, 2023).

Il secolo XIX si apre con la scoperta di consistenti affioramenti di rame nella zona prossima al castello, detta di Caporciano.

Nel 1826, con la nuova apertura della miniera cuprifera di Montecatini, industria nota in tutta Europa e che vede l'estrazione del rame anche a profondità elevatissime contando oltre dodici livelli di gallerie, corrisponde uno sviluppo sociale, economico urbano e edilizio.

3. Metodologia

La conoscenza morfometrica del borgo di Montecatini Val di Cecina si è avvalsa di un rilievo integrato che unisce tecniche di rilevamento terrestri e aree, consentendo di ottenere un elevato grado di dettaglio e precisione anche in aree in cui sarebbe impossibile operare mediante un rilievo diretto. Considerata l'esigenza di una documentazione aggiornata sullo stato di conservazione del bene e sull'evoluzione temporale delle sue porzioni murarie, si è ritenuto opportuno ricorrere a tecnologie di rilievo adatte sia a scala architettonica che urbana (Bonafiglia, 2017; Marino et al. 2021). Il lavoro quindi, si è svolto secondo due fasi principali: (i) rilievo fotogrammetrico da drone; (ii) rilievo laser scanner terrestre; (iii) il workflow completo è stato schematizzato secondo l'immagine rappresentata in Fig. 3.

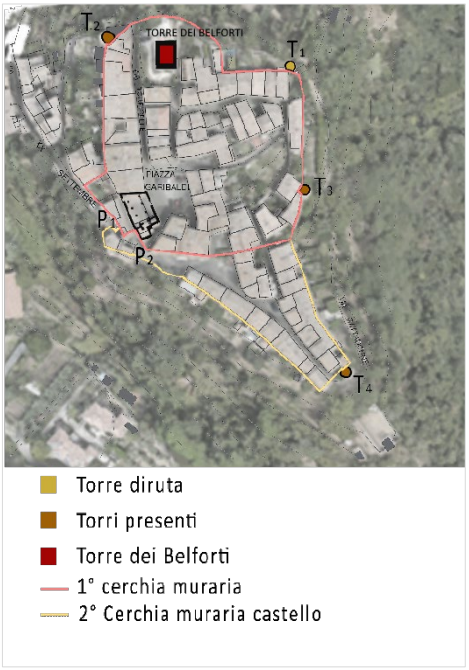


Fig. 2- Pianta Borgo di Montecatini Val di Cecina con evidenziate torre, torricelle e ipotesi di cerchia muraria (elaborazione degli autori, 2024).



Fig. 3- Workflow relativo alla metodologia del rilievo integrato (elaborazione degli autori, 2024).

3.1. Fotogrammetria SfM

La necessità di procedere con un rilievo fotogrammetrico aereo con drone nasce dalle caratteristiche geo-morfologiche del sito, ma anche dall'esigenza di avere una visione d'insieme del borgo.

La tecnica fotogrammetrica, che si basa sugli algoritmi SfM (*Structure from Motion*), ha permesso tramite il software *Reality Capture* di importare al suo interno le immagini digitali effettuate durante il volo, allinearle e generare così una nuvola di punti, che tramite successive elaborazioni è stata trasformata in una mesh texturizzata tridimensionale.

Nel caso specifico è stato adoperato un drone DJY Mini Pro 3, munito di obiettivo fotografico integrato, con lunghezza focale pari a 24 millimetri e un'altezza delle scansioni variabile tra 8 e 42 metri da terra.

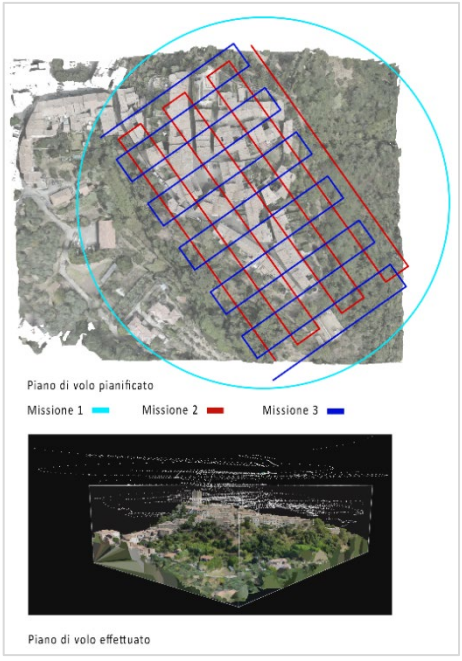


Fig. 4- Piano di volo del drone (elaborazione degli autori, 2024).

L'acquisizione fotografica effettuata dall'UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) è stata preceduta da una pianificazione del piano di volo che ha seguito un percorso a maglia incrociata 10x10m e uno orbitale che mantenesse una sovrapposizione degli scatti del 75%, effettuati ogni 2 s con stop di volo, come visibile in Fig. 4. Prima di procedere con il volo, sono stati posizionati sul territorio i targets RAD (*Ringed automatically detected*), che vengono rilevati automaticamente e consentono di abbinare più facilmente i punti.

Sono stati effettuati undici voli sul sito, uno con inclinazione della camera zenitale, a 45° e 35°. Infine, la restituzione ed elaborazione delle scansioni è avvenuta mediante il software *Reality Capture*, che esegue l'elaborazione fotogrammetrica di immagini digitali e genera un modello tridimensionale, che è stato utilizzato come strumento di ricerca (Fig. 5).

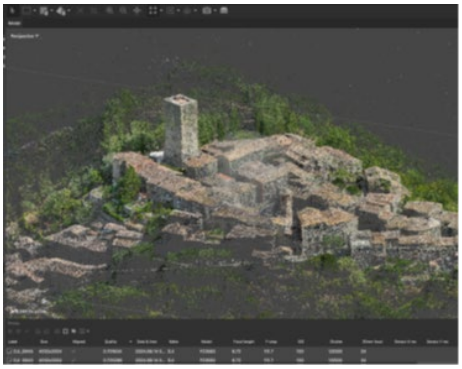


Fig. 5- Nuvola di punti del borgo da drone (elaborazione degli autori, 2024).

3.2. Rilievo laser scanner

Questa fase di rilievo, eseguita mediante laser scanner Faro Focus Cam 2, con una risoluzione a 165 megapixel per colore, ha consentito di rilevare le strade interne e le corti più difficilmente rilevabili tramite fotogrammetria aerea, fornendo maggiori informazioni di dettaglio sulle caratteristiche architettoniche.

La fase di acquisizione dati, effettuata in 2 giorni a settembre 2024 ha consentito di ottenere 331 scansioni. Ogni scansione è stata effettuata con una qualità di 1x e una durata di 4:20 minuti, la risoluzione di ogni scansione è stata pari a 6 millimetri, misurata su un piano a 10 metri dall'emettitore, con 500.000 punti di scansione per secondo.

Anche in questo caso, in fase di campagna, sono stati utilizzati i cosiddetti targets a scacchiera su piani differenti, che hanno facilitato la rototraslazione in fase di restituzione delle scansioni.



Fig. 6- Nuvola di punti Montecatini Val di Cecina (elaborazione degli autori, 2024).

L'elaborazione della nuvola di punti è avvenuta mediante il software RecapPro, versione 2025, che elabora e gestisce i dati scansionati (Fig. 6).

3.2. Rilievo integrato

L'integrazione tra i prodotti delle due metodologie ha consentito di ottenere un modello quanto più dettagliato possibile, unendo la visione d'insieme ottenuta grazie alla fotogrammetria digitale aerea e i dettagli forniti, invece, dal rilievo laser scanning. Grazie all'utilizzo del software Cloud Compare v2.13 siamo stati in grado di allineare ed unire la *mesh* derivante da drone con la nuvola di punti del laser scanner, permettendo così di ottenere un modello tridimensionale completo (Fig. 7). L'uso di questo software ha permesso di ottenere così le orto-proiezioni del modello (piante, sezioni e prospetti).



Fig. 7- Risultato rilievo integrato (elaborazione degli autori, 2024).

4. Studio tipologico e analisi dello stato di fatto

In un processo volto alla documentazione e interpretazione del patrimonio, il quadro conoscitivo ottenuto con i risultati del rilievo evidenziati nelle Figure 6-8, risultano fondamentali per attivare tutta una serie di futuri interventi di conservazione, valorizzazione e fruizione.

Nei limiti di questo contributo, sul piano dell'interpretazione, viene di seguito proposto uno studio tipologico con riferimento alla Torre

Belforti (Fig. 9). Gli elaborati estratti dalla campagna di rilievo sono serviti da base per indagare i costrutti geometrici che hanno sotteso alla realizzazione della Torre attraverso un'analisi dimensionale, volta a confermare quanto rivelato dalla ricerca storica. Alcune aperture non risultano in asse tra loro, questo dovuto probabilmente alla ricostruzione degli anni successivi alla Seconda Guerra Mondiale.

Gli spessori murari variano di poco tra i diversi livelli del corpo di fabbrica e l'unico spessore maggiorato risulta il piano terreno.

Grazie alla geometria accurata, è stato possibile anche condurre un'analisi proporzionale, basata sul confronto del braccio fiorentino, volterrano e ghibellino.

La scelta di confrontare i precedenti bracci indicati avviene in seguito ad un'indagine storica sulla Torre dei Belforti, svolta da Castiglia e Ceccarelli (Castiglia & Ceccarelli, 2024) che, pur non avendo individuato una datazione accurata della torre, hanno individuato fonti che ipotizzano la costruzione intorno al 1340, comunque successiva all'impiego delle 3 differenti canne nel territorio volterrano.

La canna, scolpita sul fianco destro della porta di S. Francesco a Volterra, costruita secondo Enrico Fiumi (Fiumi, 1947) tra il 1260 e 1266, ricade proprio nel periodo ghibellino, per cui può essere detta ghibellina.

La Canna volterrana secondo il sacerdote e studioso Anton Filippo Giachi (Giachi, 1786) è sia quella scolpita sulla facciata del Palazzo dei Priori, che quella sul fianco della porta di S. Francesco a Volterra. Da uno studio condotto da Caciagli (Caciagli, 1979) quella sul Palazzo dei Priori, definita Guelfa, misura 2,528mt, quella sulla porta di S. Francesco definita ghibellina misura invece 2,3588 m.

Se quest'ultima è stata costruita sicuramente insieme alla porta, in quanto gli estremi della canna sono serrati da pietre poste a piè d'opera, lo stesso non si può dire per la canna incisa sulla facciata del Palazzo dei Priori, non presentando termini certi di definizione, interessando solo parzialmente la pietra iniziale e finale.

Nella nostra analisi non si evince in maniera precisa l'utilizzo di una canna piuttosto di un altro, ma la canna volterrana guelfa del palazzo dei Priori è quella che rappresenta al meglio le proporzioni della torre, soprattutto nello spessore murario del primo livello, di 3 braccia pari a 1,9 m e la larghezza di 14 braccia e ⅛, pari a 8,93 m e la lunghezza di 17 braccia e ⅞, pari a 11,32 m. L'altezza della torre misura invece 49 braccia e ⅙ dal piano di calpestio, pari a 31,09 m, non considerando le fondazioni in quanto al momento non rilevate.

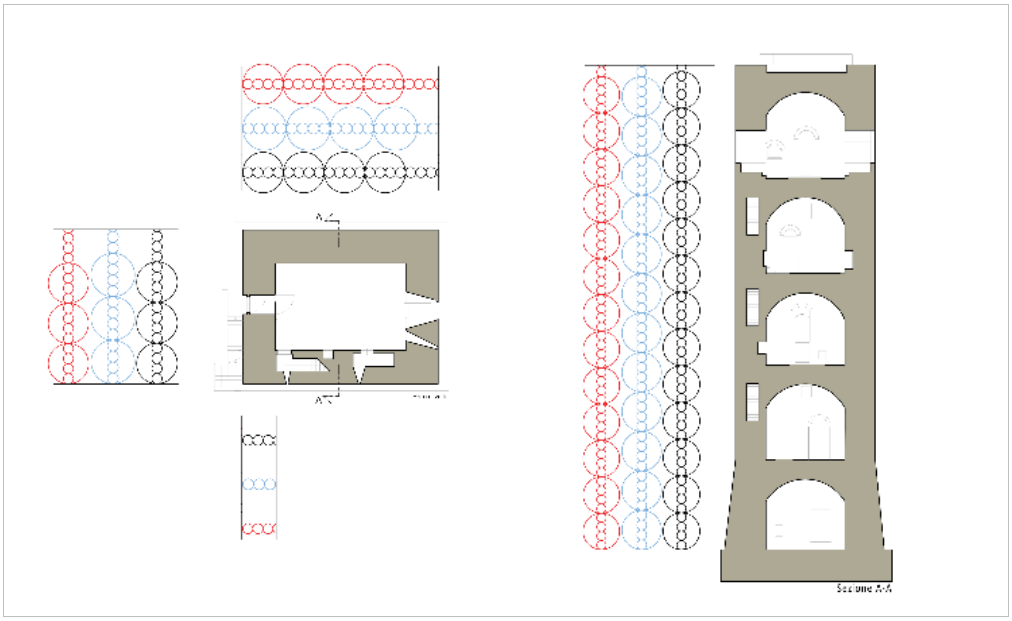
Lo scostamento massimo risultato da questa analisi varia da 3 mm a 3 cm come meglio riportato nella tabella 1.

Braccio	Spessore murario	Altezza	Larghezza	Lunghezza	Tolleranza
Volterrano	3 braccia + 4 mm	49 braccia e ⅙ + 1 cm	14 braccia e ⅛ + 3 mm	17 braccia e ⅞ + 2 cm	tra 3 mm e 2 cm
Ghibellino	3 braccia e ⅙ + 3 cm	52 braccia 3 ⅔ + 3 cm	15 braccia e ⅛ + 1 cm	19 braccia e ⅙ + 1,5 cm	tra 1 cm e 3 cm
Fiorentino	3 braccia e ¼ + 3 mm	53 braccia e ¼ + 1 cm	15 braccie ¼ + 3 cm	19 bracci e ⅛ + 1 cm	tra 3 mm e 3 cm

Tab. 1 - Tabella riassuntiva dell'analisi dimensionale (a cura degli autori, 2024).



Fig. 8- Sezioni (elaborazione degli autori, 2024).


Fig. 9- Analisi dimensionale di pianta e sezione della Torre Belforti (elaborazione degli autori).

5. Conclusioni

Con il lavoro svolto sul centro storico di Montecatini Val di Cecina è stato perseguito l'obiettivo di costruire un nuovo quadro conoscitivo della configurazione morfologica e funzionale, foriero di molteplici e diversi livelli di analisi, approfondimenti e caratterizzazioni tematiche.

Il modello 3D di Montecatini (Fig. 7), ottenuto con specifiche metodologie derivanti dalla particolare conformazione, rappresenta il risultato più evidente in grado di attuare il primo

passo per la conoscenza, comunicazione e valorizzazione del patrimonio culturale attraverso gli strumenti digitali, come modelli tridimensionali, esperienze di realtà aumentata o virtuale, o esperienze analogiche che promuovano percorsi culturali con pannelli e modelli tattili forniti di QR Code per approfondimenti audio-video. Sulla base dei risultati ottenuti dall'analisi dimensionale risulta che il braccio più corrispondente alle dimensioni della torre, considerando comunque una tolleranza tra i 3 mm e i 2 cm, risulta quello volterrano.

La metodologia adottata, fondata sul rilievo fotogrammetrico da drone e laser scanner terrestre ormai consolidata (Bonafiglia, 2017; Marino et al. 2021) combinata con l'osservazione diretta del bene e l'interpretazione delle fonti documentarie già raccolte in (Castiglia & Ceccarelli 2024) è risultata fondamentale per arricchire ulteriormente gli strumenti di conoscenza per meglio comprendere la storia e le trasformazioni del contesto indagato.

Da questo punto di vista, con analoghe metodologie, la ricerca può proseguire nei confronti dei legami spaziali e funzionali del centro storico con il più recente assetto del contesto urbano e in particolare rispetto alle infrastrutture della miniera cuprifera di Caporciano.

Contributo degli autori

La ricerca presenta i risultati del lavoro congiunto degli autori. L.C e R.C. hanno scritto il paragrafo introduttivo, R.C. ha editato il paragrafo di inquadramento storico, L.C. ha editato i paragrafi 3 e 4, infine L.C. e R.C. sono responsabili del paragrafo conclusivo. Gli autori hanno letto e approvato il manoscritto finale.

Ringraziamenti

Si ringraziano il dott. Ivan Lo Vecchio e il tecnico Alessio Manfredini per l'aiuto prestato nella campagna di rilievo e nell'elaborazione del materiale qui pubblicato.

Bibliografia

Bocci, M., Falorni A., Lepri, N. & Palesati, A. (2003). *Montecatini Val di Cecina. Arte e storia.* Pomarance, Associazione Turistica Pro Pomarance.

Bonafiglia, A. (2017). *Il disegno della Civitas e il rilievo morfometrico dei borghi antichi e abbandonati.*

Caciagli, C. (1979). *Considerazioni sul Braccio volterrano*. Volterra, Rassegna Volterrana.

Castiglia, R. & Ceccarelli, L. (2024). La torre Belforti e il Sistema difensivo di Montecatini Val di Cecina. In: Islami, V. (a cura di) *Defensive Architecture of the Mediterranean XV to XVIII Centuries*. *Vol. XVI: Proceedings of the International Conference on Fortifications of the Mediterranean Coast FORTMED 2024. Tirana, 18, 19 and 20 April 2024,* edUPV, pp. 193-198.

Ceccarelli Lemut, M.L., Bertini, G. & Rosticci, F. (2000). *Montecatini Val di Cecina*. Pisa, Edizioni ETS.

Fiumi, E. (1947). *Ricerche storiche sulle mura di Volterra.* Volterra, Rassegna Volterrana.

Giachi, A.F. (1786). *Saggio di ricerche storiche sopra lo stato antico e moderno di Volterra*. Volterra, Rassegna Volterrana.

Marino, B. G., Catuogno, R. & Marena, R. (2021). Restoration, representation, project: a dialogue-like approach for the Compsa palimpsest. In: Lerma, J. L. & Cabrelles, M. (a cura di) *Digital Twins for Advanced Cultural Heritage Semantic Digitization. Atti del Convegno ARQUEOLÓGICA 2.0 - 9th International Congress & 3rd GEORES - GEOmatics and pREServation, 26-28 aprile 2021*, Valencia, Università Politecnica di Valencia, pp. 399-407.

Melosi, A. (2007). *Quando c'erano io c'ero*. Montecatini Val di Cecina, Comune di Montecatini Val di Cecina

Metodologie di rilievo integrato per i contesti urbani complessi. [Tesi di Dottorato]. Napoli, Università degli Studi di Napoli Federico II.

Rodríguez-Navarro, P. & Gil-Piquerasa, T. (2024). Estándares y métodos para optimizar la digitalización 3Dde las fortificaciones. In. Islami, V. (a cura di) *Defensive Architecture of the Mediterranean XV to XVIII Centuries*. *Vol. XVII: Proceedings of the International Conference on Fortifications of the Mediterranean Coast FORTMED 2024. Tirana, 18, 19 and 20 April 2024,* edUPV, pp. 555-562.

Tripodi, C. (2011). *La famiglia Belforti dalla Signoria di Volterra all'esperienza del declino*. Volterra, Rassegna Volterrana, pp.185-207.

Trovato, S. (2023). *Inventario della miniera di Montecatini Val di Cecina*. Pontedera, Bandecchi & Vivaldi.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20346

Reconstrucción de la muralla virreinal de Lima: Análisis histórico, urbano y tecnológico mediante fotogrametría y GIS

Diego Javier Celis-Estrada[a], Pablo Rodriguez-Navarro[b], Teresa Gil-Piqueras[c]

[a] Universidad Privada del Norte, Grupo de Investigación GIADIPS, Lima, Perú, diego.celis@upn.edu.pe, [b] Universitat Politècnica de València, Centro de Investigación en Arquitectura, Patrimonio y Gestión para el Desarrollo Sostenible, Valencia, España, tgil@ega.upv.es, [c] Universitat Politècnica de València, Centro de Investigación en Arquitectura, Patrimonio y Gestión para el Desarrollo Sostenible, Valencia, España, rodriguez@upv.es

Abstract

Lima, the capital of the viceroyalty of Peru, was founded in the Rímac river valley, taking advantage of the pre-existing infrastructure of roads and aqueducts. Its strategic location near the South Pacific, initially considered safe from rival european powers of the Spanish Empire, became threatened by coastal attacks, prompting the construction of a wall in the 17th century. This fortification symbolized the city's defense and defined its urban growth.

This research aims to identify the original viceregal layout hidden among the streets and blocks of modern-day Lima, as well as to project the path of the viceregal wall onto the contemporary city. The goal is to recognize remnants of the wall, explaining its construction logic and the military architectural materials of european defensive design adapted to the South American Pacific context.

To achieve this, photogrammetry will be used for urban surveys, along with a geographic information system (GIS) for the georeferencing of cartographic information and historical plans. This will enable the precise establishment and validation of the existence of old layouts, uncovering the history and memory of the city, discovering hidden structures and designs, and facilitating their restoration. Additionally, it will support archaeological efforts to recover the history of viceregal Lima's architecture and urban planning.

Keywords: georeferencing, military architecture, viceroyal urbanism, digital archeology.

1. Introduction

Lima, fundada en 1535 en el valle del río Rímac, aprovechó la infraestructura prehispánica de caminos y acueductos para convertirse en un eje político y comercial clave del Virreinato del Perú.

Las amenazas de ataques costeros llevaron a construir una muralla en el siglo XVII, que protegió la ciudad y delimitó su crecimiento urbano. Hoy, los vestigios de caminos, acueductos y la muralla, ocultos entre las calles modernas, son esenciales para entender la evolución histórica y arquitectónica de Lima.

1.1. Objetivo

Esta investigación busca reconstruir el trazado de la muralla y otros elementos históricos de Lima mediante análisis histórico y herramientas tecnológicas avanzadas como fotogrametría y GIS. Sus objetivos son:

- identificar el trazado original de caminos, acueductos y la muralla, proyectarlo sobre la Lima actual

- Validar la georreferenciación del trazado a través del uso de planimetría histórica, cartografía

BY-NC-SA

y fotogrametría, integrando la información en un sistema de información geográfica (GIS).

Este enfoque interdisciplinario combina precisión tecnológica y rigor histórico, promoviendo la conservación y valorización del patrimonio cultural de Lima.

2. Ubicación

El centro histórico de Lima, fundado como la Ciudad de los Reyes en 1535 por Francisco Pizarro, es el núcleo más antiguo de la capital peruana. Ubicado en la costa central del país, en el valle del río Rímac, cerca del océano Pacífico y del estratégico puerto del Callao. Se encuentra aproximadamente a 12°02'36" de latitud sur y 77°01'42" de longitud oeste, a una altitud promedio de 154 metros sobre el nivel del mar. fue un eje político, comercial y administrativo del Virreinato del Perú.

El centro histórico de Lima, declarado Patrimonio de la Humanidad en 1988, se organiza en torno a la Plaza Mayor, núcleo fundacional y centro político, religioso y social virreinal, con edificios emblemáticos como la Catedral, el Palacio de Gobierno y el Palacio Municipal.

3. Fundación de la Ciudad de los Reyes, Lima

Tras la fundación de la ciudad de Jauja en 1533, la primera capital española en tierras andinas, diversos problemas como el clima frío, la escasez de madera, las dificultades de tránsito, la mala calidad de la tierra para cultivos y la crianza de animales llevaron a reconsiderar su ubicación. Esto motivó una expedición en busca de un lugar más favorable, preferentemente en los llanos costeros y cercano al mar (Sifuentes, 2022, I).

En este contexto, Pizarro recibió información del cacique de Jauja sobre un valle sumamente hermoso y espacioso, situado más allá de Pachacámac. Interesado por esta descripción, envió a sus hombres a explorar el lugar y recopilar detalles sobre las características del valle del Rímac (Maúrtua, 1906, I).

El 13 de enero de 1535, se anunció en Pachacámac que, tras explorar las tierras del curaca Taulichusco "el Viejo", en el valle de Lima, se había identificado un lugar ideal para fundar la nueva ciudad. La región destacaba por sus abundantes recursos naturales, tierras fértiles, agua, madera, un clima favorable y una ubicación estratégica cercana al mar y al puerto del Callao, lo que motivó la decisión de trasladar la capital a este sitio (Sifuentes, 2022, I).

Finalmente, el lunes 18 de enero de 1535, Francisco Pizarro fundó la Ciudad de los Reyes en el pueblo de Lima, en honor a la Epifanía. Posteriormente, se trasladaron autoridades, vecinos y bienes desde la antigua capital, consolidando la nueva sede (Concejo Provincial de Lima, 1935, I).

El trazado de Lima, influenciado por principios urbanísticos renacentistas españoles y regulado por ordenanzas de la Corona, fue diseñado por Francisco Pizarro en una cuadrícula ortogonal de 117 manzanas cuadradas, cada una subdividida en cuatro solares. Las manzanas medían 450 pies de lado y las calles 40 pies de ancho, organizadas en un esquema de 13 por 9, paralelo al río Rímac.

Aunque la Plaza Mayor solía ubicarse en el centro, Pizarro la situó en el extremo norte de la cuadrícula por razones estratégicas relacionadas con el control de los canales prehispánicos (Sifuentes, 2022, I).

Existen dos versiones sobre la fundación de Lima. Por un lado, Pedro Cieza de León sostiene que, al momento de su fundación, no existían edificaciones previas en el lugar (Cieza de Lerón, 1922). Por otro lado, Bernabé Cobo afirma que en el área ya existía un poblado indígena antes de la llegada de los españoles (Cobo, 1935). Cabe destacar, sin embargo, que este territorio, previamente ocupado por culturas prehispánicas como los Ychma, contaba con caminos, canales y una infraestructura que facilitó la fundación y posterior consolidación de la ciudad.

4. Canales prehispánicos

La integración de canales de irrigación prehispánicos en la configuración inicial de Lima refleja el diálogo entre el pasado indígena y el orden colonial, definiendo el trazado urbano y sustentando las dinámicas sociales y económicas de la nueva ciudad (González, 2020).

4.1. El legado hidráulico prehispánico

El río Rímac, llamado "río hablador" en la época prehispánica, fue clave en un sistema hidráulico que, mediante una red de canales de las culturas Lima, Ychma e inca, convirtió el árido valle en un entorno productivo (Razón y Saber, 2021)

Los canales, diseñados con conocimiento de la topografía e hidrología, aprovechaban las pendientes naturales y empleaban derivaciones y represas para una irrigación eficiente y estacional. Además de su función agrícola, eran esenciales para la organización territorial, conectando asentamientos y huacas como Mateo Salado, Pucllana y San Marcos, con un significado práctico, ritual y cultural vinculado a las deidades locales (Chacaltana & Cogorno, 2017).

4.2. Continuidad y adaptación en el periodo virreinal

Con la fundación de Lima en 1535, la red de canales prehispánicos fue parcialmente integrada en el diseño urbano. Estas infraestructuras no solo aseguraron el suministro de agua para la ciudad, sino que también ayudaron a estructurar la nueva ciudad, delimitando barrios y parcelas.

Esta reutilización demostró el reconocimiento de los españoles de la eficiencia y la importancia de estas obras hidráulicas, adaptándolas a las necesidades de la nueva población virreinal (González, 2020).

El proceso de modernización y expansión de Lima en los siglos XIX y XX llevaron a la desaparición de gran parte de su red hidráulica, debido a la urbanización descontrolada y la falta de valoración y documentación de este patrimonio. (Lizarzaburu, 2020).

5. Caminos prehispanicos

La región donde se fundó Lima estaba interconectada por el Qhapaq Ñan, una red de caminos prehispánicos de más de 30,000 kilómetros que unía el Imperio Inca desde Colombia hasta Chile. En el valle del Rímac, estos caminos estructuraban el territorio y conectaban asentamientos, centros ceremoniales y productivos, reflejando la organización social y cosmovisión andina (Historias por partes, 2024).

Tras la fundación de la Ciudad de los Reyes, los españoles reutilizaron caminos prehispánicos, integrándolos al trazado de Lima y conectándolos con rutas comerciales. Estas vías mantuvieron su importancia en la comunicación con regiones vecinas durante el periodo virreinal, mostrando la continuidad entre las dinámicas territoriales precolombinas y la organización urbana colonial (Guzmán, 2014).

5.1. El sistema vial prehispánico en el valle del Rímac

Los caminos prehispánicos del valle del Rímac cumplían funciones estratégicas, económicas y rituales, conectando el valle costero con otras regiones importantes. Además de facilitar el transporte, tenían un profundo significado simbólico vinculado a la cosmovisión andina. (Arqueología del Perú, 2024).

En la cultura andina, los caminos conectaban comunidades con apus y huacas como Mateo Salado, San Marcos y Pucllana, vinculándose a canales de irrigación que integraban áreas agrícolas, productivas y ceremoniales, reflejando una planificación territorial eficiente.

5.2. Reapropiación de los caminos en el periodo virreinal

Con la llegada de los españoles, los caminos prehispánicos fueron adaptados para conectar Lima con el exterior y organizar su espacio interno, adquiriendo nuevas funciones estratégicas durante el virreinato (Guzmán, 2014). La vía Lima-Callao, utilizada por las culturas Lima e Ychma, se convirtió en un eje clave para el comercio marítimo colonial, transportando plata, textiles y alimentos, consolidando al Callao como enlace con Europa y Asia (Guzmán, 2014).

La ruta hacia la sierra, que seguía el río Rímac, facilitó el traslado de bienes de las tierras altas a la costa, especialmente plata y textiles, reforzando a Lima como centro comercial y político estratégico, conectado con regiones como Jauja y el Cusco (Guibovich, 2019). Además, la ruta costera Lima-Trujillo impulsó el comercio de productos agrícolas y metales, mientras que la conexión con Pachacámac integró a Lima con mercados del sur, manteniendo su relevancia como corredor económico y social (Arqueología del Perú, 2024).

Con el crecimiento urbano y los cambios en el uso del suelo, muchos de los caminos prehispánicos fueron cubiertos o desaparecieron. Sin embargo, su influencia aún persiste en el trazado de varias calles y avenidas de la Lima contemporánea.

Estos caminos no son solo vestigios del pasado, sino también un recurso para entender la organización territorial y el desarrollo urbano temprano de la ciudad (Montoro, 2024).

6. La muralla de Lima

La construcción de las murallas de Lima surgió como respuesta a las amenazas de piratas, corsarios y revueltas locales, dada su importancia estratégica y económica en el Virreinato del Perú. Aunque se plantearon varios proyectos de fortificación, muchos quedaron solo en planos y documentos.

6.1. Construcción de la muralla de Lima

Aunque la Corona ordenó evaluar la construcción de una muralla en Lima en 1580, el proyecto no se tomó en serio hasta el siglo XVII. (Lohman, 1964).En 1673, la Audiencia de Lima aprobó el plan de Juan Ramón Coninck, quien destacó la urgencia de la obra y presentó un diseño detallado con estrategias de financiamiento. (Lohman, 1964).

Entre las propuestas discutidas, Coninck rechazó construir ciudadelas en los márgenes del Rímac por su protección parcial. Los planos enviados a Madrid fueron archivados hasta que nuevas amenazas piratas reactivaron su necesidad. (Lohman, 1964).

En 1680, debido a la importancia económica de Lima, la Corona envió al ingeniero Luis Venegas Osorio para evaluar su defensa, quien recomendó fortificar la ciudad. Sin embargo, el virrey Melchor Liñán rechazó la propuesta por considerarla costosa e innecesaria. La Junta de Guerra dejó la decisión al próximo virrey, Melchor de Navarra y Rocafull, para emitir un informe definitivo. (Lohman, 1964).

Melchor de Navarra y Rocafull asumió el cargo de virrey del Perú el 2 de noviembre de 1681, iniciando así una nueva etapa en el debate sobre la defensa de Lima (Lohman, 1964).

El 26 de noviembre de 1682, el virrey Melchor de Navarra remitió el plano de Coninck al Consejo de Indias con una memoria justificativa. En 1683, el saqueo de Veracruz aceleró la construcción, que comenzó en junio de 1684 sin aprobación formal. Para 1685, el cerco estaba casi terminado, aunque con modificaciones sugeridas por el Duque de Bournonville, como el ajuste en las dimensiones de baluartes, parapetos y caminos de ronda para reforzar la defensa (Lohman, 1964).

Coninck defendió su diseño ante las críticas del Consejo, argumentando que seguía estándares establecidos por reconocidos tratadistas. En 1685, la Corona aprobó el proyecto y financió la obra con impuestos y donaciones, completando más de 13,000 varas de muralla.

Pese a los daños causados por el ataque del pirata Edward Davis en 1686 y un terremoto en 1687, la reconstrucción permitió finalizar la muralla ese mismo año (Lohman, 1964).

6.2. Caracteristicas de la muralla de Lima

El circuito amurallado de Lima fue diseñado inicialmente con cinco accesos principales, proyectados para su construcción en 1687. Estas portadas, además de cumplir funciones defensivas, conectaban la ciudad con sus principales rutas y barrios.

Las primeras portadas fueron (Sifuentes, 2004):

- Portada del Callao: Esta portada conectaba la ciudad de Lima con el puerto del Callao, desempeñando un papel crucial en el comercio y la comunicación. En 1797, durante el virreinato de O'Higgins, se construyó una nueva portada y una calzada diseñada por el coronel de ingenieros Luis Rico. De estilo neoclásico, esta estructura contaba con tres entradas y conducía a una espaciosa alameda al salir de la capital.
- Portada de Guadalupe (Mata Mandinga)
- Portada de Cocharcas (de Pisco)
- Portada de Barbones (del Cercado)
- Portada de Maravillas (Santa Clara): En 1808, se inauguró una nueva portada en este lugar, coincidiendo con la apertura del cementerio general de Lima. Su diseño, de estilo neoclásico, fue atribuido al arquitecto Matías Maestro.

Con el tiempo, las necesidades de la ciudad llevaron a la habilitación de nuevos accesos en diferentes puntos del perímetro amurallado, ampliando la conectividad de Lima (Fuentes, 1867):

- Portada de Santa Catalina
- Portada de San Jacinto.
- Portada de Juan Simón (Camacho)
- Portada de Martinete
- Portadas de Monserrate: existían dos entradas hacia el barrio de Monserrate (Fuentes, 1867).

6.3. Demolición de la muralla de Lima

A inicios del siglo XIX, la muralla de Lima perdió relevancia estratégica debido a avances militares. Con el tiempo, se convirtió en un obstáculo para la expansión urbana, deteriorándose por falta de

mantenimiento. El 2 de diciembre de 1869, el presidente José Balta decretó su demolición para modernizar la ciudad y enfrentar el crecimiento demográfico y económico (Sifuentes, 2004).

Henry Meiggs, ingeniero y empresario, ejecutó la tarea sin honorarios directos, obteniendo terrenos colindantes a bajo costo. La demolición permitió integrar esos terrenos al desarrollo urbano, aumentando su valor con nuevas avenidas y reflejando el deseo de modernizar Lima al estilo de reformas europeas como las de París.

7. Metodología

La investigación se dividió en las siguientes etapas:

7.1. Revisión de documentación histórica

Se realizó una selección, revisión y análisis de la documentación histórica de diferentes épocas, relacionada con el desarrollo de la ciudad de Lima y su infraestructura.

- Planta de la muy ilustre ciudad de los Reyes, corte del Reino del Perú (1674): Delineado por Bernardo Clemente, es el plano más antiguo que abarca la totalidad de Lima antes de la construcción de su muralla.



Fig. 1- Planta de la muy ilustre ciudad de los Reyes, corte del Reino del Perú (Bernardo Clemente, 1674).

- Plan de la ville de Lima capitale du Pérou située par 12°6'28" de lat. australe à 2 lieues du Port de Callao (1713):

  Delineado por Amédée-François Frézier, este plano describe la disposición de la ciudad, incluyendo el trazado de la muralla, sus baluartes, portadas y caminos.

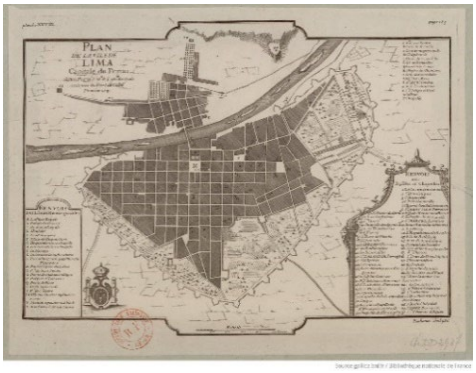


Fig. 2- Plan de la ville de Lima capitale du Pérou située par 12°6'28" de lat. australe à 2 lieues du Port de Callao (Amédée-François Frézier, 1713).

- *Piano scenografico della città dei Re, o sia di Lima, capitale del regno di Perù, tal quale era prima che fosse distrutta dall'ultimo terremoto* (1745): Delineado por Giovanni Tommaso Masi, este plano detalla las manzanas y los principales edificios, como iglesias, la catedral y el palacio del virrey. Además, muestra el trazado de los canales y la disposición de la muralla con sus baluartes, portadas y caminos exteriores.

- Plano de la ciudad de Lima en 1821 (1821): Reconstruido por José Barbagelata, este plano, dibujado con mayor precisión, muestra el desarrollo de la ciudad y el trazado de la muralla en el siglo XIX.

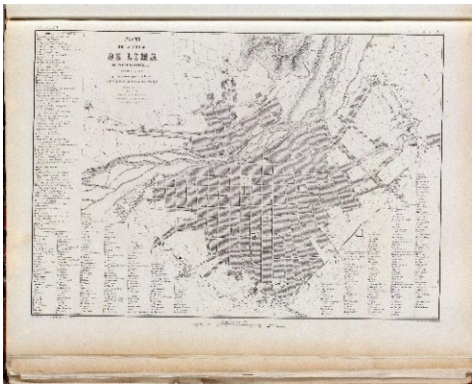


Fig. 3- Plano de la ciudad de Lima (Antonio María Dupard, 1859).

- Plano de la ciudad de Lima (1859): Levantado por Antonio María Dupard, este

documento representa con mayor exactitud el desarrollo urbano de la ciudad, incluyendo calles, edificios públicos y el trazado de la muralla en el siglo XIX.

- Plano de Lima: Trabajos de canalización y saneamiento ejecutados siendo Alcalde Federico Elguera (1904): Dibujado por Julio E. Ribeyro, este plano detalla los canales antiguos y la red de acequias existentes en la ciudad de Lima.

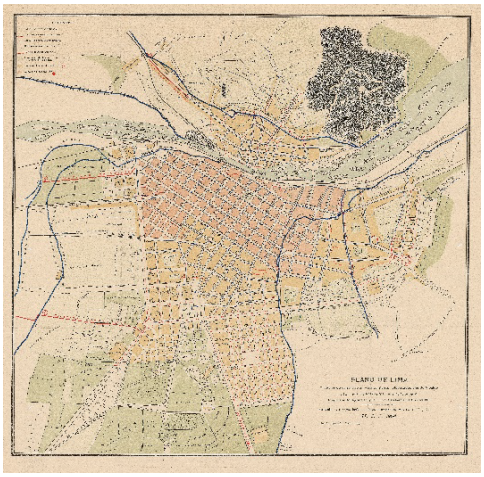


Fig. 4- Plano de Lima: Trabajos de canalización y saneamiento (Julio E. Ribeyro, 1904).

7.2. Registro fotográfico aéreo del centro histórico de Lima

El registro fotográfico del centro histórico de Lima se llevó a cabo utilizando un dron, cubriendo toda su amplia extensión y permitiendo capturar imágenes detalladas y completas del área urbana. Para este levantamiento fotogramétrico se empleó un dron DJI Mavic 2 Pro, equipado con una cámara Hasselblad L1D-20c de 20 megapíxeles (resolución de 5472 x 3648 píxeles) y un objetivo de 28 mm equivalente en formato de 35 mm.El vuelo se planificó con el software PIX4Dcapture, configurando una misión a 150 metros de altitud sobre el nivel del suelo.

Se utilizó un patrón de vuelo en cuadrícula con un ángulo de cámara de 90 grados y un solapamiento del 80% entre las imágenes. Este método permitió obtener un GSD (Ground Sample Distance) de 3.74 cm/píxel, garantizando la precisión necesaria para generar un ortomosaico de alta calidad.

7.3. Procesamiento fotogramétrico

El procesamiento de los datos obtenidos se realizó con el software PIX4Dmapper, utilizando técnicas avanzadas como Structure from Motion (SfM) para reconstruir escenas en 3D a partir de múltiples perspectivas, Multi-view Stereo (MVS) para capturar geometrías tridimensionales desde diferentes ángulos, y Bundle Block Adjustment (BBA) para ajustar la posición y orientación de las imágenes, mejorando la precisión de la reconstrucción (Pix4D, s.f.).

El software permitió generar ortomosaicos y un Modelo Digital de Superficie (MDS) del centro histórico de Lima, asegurando una escala uniforme y un balance de colores óptimo.

El proyecto incluyó el uso de 5587 fotografías aéreas georreferenciadas en el sistema de coordenadas WGS 84/UTM zona 18L, cubriendo un área de 10.255 km².

Las imágenes calibradas tuvieron una mediana de 5062 coincidencias por fotografía. Los resultados, exportados en formato TIFF con un GSD de 3.74 cm/píxel, garantizan una representación de alta resolución de la ciudad.

7.4. Dibujo planimétrico

Para el análisis cartográfico se utilizó el software ArcMap 10.8, una herramienta de Sistemas de Información Geográfica (SIG) desarrollada por ESRI (Business Wire, 2018).

Este programa facilitó la georreferenciación y el análisis topográfico, así como la producción de cartografía precisa (Environmental Systems Research Institute, s.f.). Con ArcMap se analizaron la ortofoto y el Modelo Digital de Superficie generados previamente, permitiendo identificar la ubicación del centro histórico de Lim en su contexto geográfico y topográfico.

8. Interpretación de los resultados

El uso de fotogrametría y GIS permitió reconstruir con precisión el trazado de la muralla virreinal de Lima, evidenciando su influencia en la configuración urbana y la continuidad histórica en el tejido de la ciudad. Este análisis también identificó vestigios de la muralla y canales prehispánicos, destacando su valor patrimonial para el urbanismo actual.

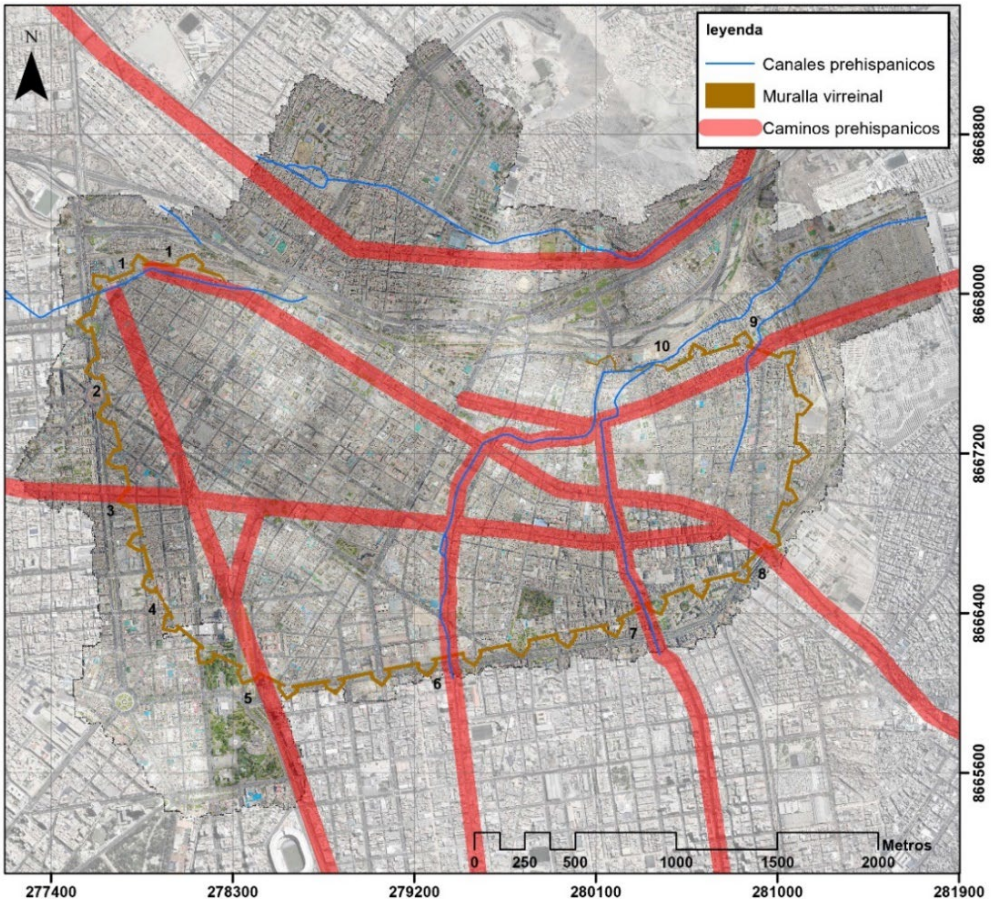


Fig. 5- Planimetría del centro histórico de Lima. Portadas: 1) de Monserrate; 2) del Callao; 3) de San Jacinto; 4) de Juan Simón (Camacho); 5) de Guadalupe (Mata Mandinga); 6) de Santa Catalina; 7) de Cocharcas (de Pisco); 8) de Barbones (del Cercado); 9) de Maravillas (Santa Clara); 10) de Martinete. (elaboración gráfica de los autores, 2024).

Las tecnologías modernas, como ortomosaicos y GIS, han facilitado la identificación de estructuras ocultas y su impacto histórico, complementando los métodos tradicionales de análisis. La reutilización de canales prehispánicos en el diseño colonial resalta la interacción cultural y la continuidad territorial entre el periodo prehispánico y el virreinal.

10. Discución y Conclusiones

Lima se fundó sobre una base prehispánica de caminos, canales y asentamientos que fueron integrados al diseño colonial para funciones estratégicas, comerciales y defensivas. Sin embargo, desde los siglos XIX y XX, la modernización ha causado la progresiva desaparición de estos elementos, incluida la muralla virreinal del siglo XVII, que delimitó el crecimiento urbano y organizó el espacio de la ciudad. Sus vestigios actuales ofrecen una oportunidad para reinterpretar y valorar el desarrollo histórico de Lima.

El uso de tecnologías avanzadas como fotogrametría y GIS, combinado con métodos históricos, ha demostrado ser efectivo en la identificación, validación y reconstrucción del patrimonio urbano. Herramientas como estas han facilitado intervenciones arqueológicas y la preservación del legado cultural. Planos históricos de Clemente (1674), Frézier (1713) y

Masi (1745) han sido claves para comprender la evolución urbana de Lima y orientar su conservación.

La investigación destaca la importancia de documentar y proteger los elementos prehispánicos y virreinales, integrando estrategias de conservación en el desarrollo urbano contemporáneo. Este enfoque interdisciplinario, que combina historia, tecnología y urbanismo, puede replicarse en otras ciudades patrimoniales.

Referencias

Arqueología del Perú (2024) *Arqueología del Perú,* available at: https://arqueologiadelperu.com/pachacamac-un-espacio-sagrado-milenario/?utm_source=chatgpt.com (Accessed: 03 November 2024).

Business Wire (2018) *Esri Named on Forbes Best Midsize Employers List*. Available at: https://web.archive.org/web/20180612142136/https://finance.yahoo.com/news/esri-named-forbes-best-midsize-135100557.html (Accessed: 27 October 2023).

Chacaltana, S. & Cogorno, G. (2017) *Arqueología hidráulica prehispánica del valle bajo del Rímac (Lima, Perú): estudio de un sistema de riego costeño.* Lima Pontificia Universidad Católica del Perú.

Cieza de León, P. (1922) *La Crónica del Perú.* Madrid: Calpe.

Cobo, B. (1935) *Monografías históricas sobre la ciudad de Lima. Historia de la fundación de Lima*. Tomos I y II. Lima, Concejo Provincial de Lima, Librería e imprenta Gil.

Consejo Provincial de Lima (1935) *Libros de Cabildos de Lima.* Libro I. Lima, Torres Aguirre – San Marti y CIA. S.A.

Environmental Systems Research Institute, Inc. (s.f.) *What is GIS?* Available at: https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview (Accessed: 9 September 2024).

Fuentes, M. (1867) *Lima. Apuntes Históricos, estadísticos, Administrativos, Comerciales y de Costumbres*. Paris, Librería Firmin Didot.

González, D. (2020) Modelo hidráulico virreinal utilizado en el centro histórico de Lima para abastecimiento de agua. *Devenir*, 14, 91-108.

Guibovich, P. (2019) Bernardo Nieuwland Venero. El camino inca de Lima. El tramo del Qhapaq Ñan Xauxa-Pachacamac. El cordón umbilical de Lima. *Bulletin de l'Institut français d'études andines,* 48, 405-409.

Guzmán, C. (2014) *Inca Cities,* available at: https://incacities.blogspot.com/2014/12/camino-inca-qhapaq-nan-en-lima.html?utm_source=chatgpt.com (Accessed: 03 November 2024)

Historias por partes (2024) *Historias por partes,* available at: https://historiasporpartes.com/qhapaq-nan/?utm_source=chatgpt.com (Accessed: 03 November 2024).

Lizarzaburu, J. (2016) *Lima Milenaria*, available at: https://limamilenaria.blogspot.com/2016/03/canales-de-irrigacion-de-los-valles-de.html?utm_source=chatgpt.com (Accessed: 03 November 2024)

Lizarzaburu, J. (2020) The Surco canal, an ancient irrigation canal in Lima, Peru, and a citizens' campaign for its protection. *Water History*, 12, 229-310.

Maúrtua, V. (1906) *Anales de la historia del Perú.* Tomo I. Madrid, Imprenta de Gabriel L. y del Horno.

Montoro, R. (2024) *Infobae*, available at: https://www.infobae.com/peru/2024/02/21/caminos-del-inca-los-trazados-prehispanicos-eternos-avenidas-principales-de-lima-fueron-construidas-sobre-rutas-ancestrales/?utm_source=chatgpt.com (Accessed: 03 November 2024).

Pix4D. (s.f.) *The Leading Photogrammetry Software for Professional Drone Mapping*. Available at: https://www.pix4d.com/es/producto/pix4dmapper-fotogrametria-software/ (Accessed: 20 March 2024).

Razón y Saber (2021) *Razón y Saber,* available at: https://www.razonysaber.com/Arqueologia/Canales-de-riego-prehispanicos-que-convirtieron-a-Lima-en-un-valle/?utm_source=chatgpt.com (Accessed: 03 November 2024).

Sifuentes, Luis (2004) *Las Murallas de Lima en el proceso histórico del Perú. Ensayo acerca de la evolución urbana de la ciudad de Lima entre los siglos XVII y XIX*. Tomo I. Lima, Concytec.

Sifuentes, Luis (2022) *Lima: El Legado Prehispánico y la Presencia Española.* Lima, Universidad Ricardo Palma.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20347

Strategie di valorizzazione del patrimonio culturale "minore". Analisi, rilievo e riconfigurazione digitale dell'Abbazia di San Nicola di Casola in Otranto, ponte tra Oriente e Occidente

Gerardo Maria Cennamo[a], Francesca Tarantino[b]
[a -b] Università Telematica Internazionale, UNINETTUNO, Roma, Italia, [a] g.cennamo@uninettunouniversity.net, [b] f.tarantino1@students.uninettunouniversity.net

Abstract

This contribution inserts in the scope of the historical heritage research activities which we may consider as minor i.e., according to a non-reductive meaning, less studied and known. It is part of a wider research financed by the European Union- Next Generation EU, CUP J53D23013280001 in PRIN2022JPNKZ4 - SPLASCH │ Smart PLatform and Applications for Southern Cultural Heritage scope, finalized to the research of a wide sampling of assets among which get interest also the wide typological area of the rural architecture. This thematic has been proposed by the study case relative to the activity of analysis and digital reconstruction of the Saint Nicola's Abbay of Casole, in Otranto, today appreciable only in some surviving wall portions. The structure has been modified over the centuries. There are 5 principal stages which can be traceable, from the XI to the XVII century. From a historical architectonic point of view, the Saint Nicola's Abbey of Casole is one of the most important italo-greek cenobitic centre of Apulia, built in the medieval era. The Abbey is considered a very important example of roman-gotic architecture of the Otranto Land seat of a scriptorium and a prestigious library. Of fondamental importance is his geografic position, in the easter point of Italy, that has allowed artistic, cultural and religious changes between east and west. Through a careful survey of the surviving layouts, supplemented by the analysis, superimposition and critical reading of the morpho-architectural data acquired, also supported by the comparison of the few documentable sources available, it was possible to reconstruct the architectural layout according to the main historical stratifications and restore, in its last known configuration, the abbey's identity value to the city of Otranto.

Keywords: Apulia, bizantine architecture, heritage, surveying to valorisation.

1. Introduzione

Oltre alla densa produzione scientifica che gli studiosi di ogni epoca hanno contribuito a restituire all'intera collettività attraverso il voluminoso patrimonio di conoscenza sui beni culturali, ancora oggi ampie conurbazioni del paese rivelano la presenza di un patrimonio meno noto ma non per questo marginale il cui studio metodico, pur di rilevante interesse, negli anni ha evidentemente ceduto il passo alle più ampie esigenze, in termini di coinvolgimento pubblico e investimento di ricerca, provenienti dai nostri principali beni internazionalmente conosciuti e studiati. In questa prospettiva il paesaggio rurale offre spunti di grande interesse; tra questi emergono le importanti testimonianze architettoniche definibili, in termini sintetici, col termine di masseria e comprendenti una vasta campionatura di organizzazioni architettoniche nelle quali confluiscono e coesistono molte delle funzioni tipiche di un'organizzazione sociale complessa, sebbene su scala ridotta. Esse rappresentano, anche, una straordinaria testimonianza delle memorie provenienti dalle diverse stratificazioni delle epoche, segni del divenire e, successivamente, della permanenza stabile dei nuclei sociali.

(cc) BY-NC-SA

Il discrimine tra le organizzazioni funzionali primarie, quelle tipiche della masseria o quelle di un insediamento complesso o addirittura urbano sta, concettualmente, nelle dimensioni.

La rete di sollecitazioni, di dinamismi endogeni ed esogeni che costituisce nutrimento primigenio per l'evoluzione di un insediamento in nucleo urbano e poi in città si è formato, spesso, nel corso di condizioni di instabilità durante le quali proprio le tensioni sociali promuovono dibattito e cambiamento; tuttavia, il risultato di tali contrapposizioni si può palesare ed espandere proficuamente solo con il permanere di condizioni di stabilità sociale. L'instaurarsi di condizioni impreviste e imprevedibili crea, invece, una sorta di corrente inversa nella direzione evolutiva riportando, sebbene per un tempo limitato, le priorità del nucleo insediativo a quelle fondative della sicurezza, dell'intimità, del raccoglimento esteriore ed interiore. Questa è la fase di vicinanza, di sovrapposizione concettuale tra l'organismo architettonico della masseria e l'organismo socio-territoriale della città. Nel momento di instabilità flussi, sollecitazioni e priorità allineano le loro direzioni verso pochi obiettivi focali: sostentamento, sicurezza, spiritualità.

In altre parole, le priorità si codificano e si omogeneizzano rivolgendosi a quelle funzioni direttamente corrispondenti ai punti focali fondamentali: il nucleo produttivo, la struttura difensiva, i luoghi della spiritualità.

Di queste tre fondamentali funzioni, basilari alla vita sociale, quella produttiva trova nell'organizzazione architettonica della masseria un decalogo di tecniche, tecnologie, ingegni e macchine da lavoro straordinario. L'ampia tipologia di soluzioni ideative e costruttive, talvolta di alta tecnologia, compone un abaco di soluzioni ingegneristiche rivolte alle attività di produzione, come già nel 1936 evidenziarono Giuseppe Pagano e Guarniero Daniel in uno scritto su Casabella: "*Un immenso dizionario della logica costruttiva dell'uomo, creatore di forme astratte e di fantasie plastiche spiegabili con evidenti legami col suolo, col clima con l'economia, con la tecnica, ci è aperto davanti agli occhi. L'analisi di questo grande serbatoio di energie edilizie, che è sempre sussistito come un sottofondo astilistico, può riserbarci la gioia di scoprire motivi di onestà, di chiarezza, di logica, di salute edilizia là dove una volta si vedeva solo arcadia e folclore... Finche era il contadino che si murava la propria dimora o finche il fattore soprintendeva alla progettazione delle nuove cascine, l'architettura rurale procedette assumendo quasi il valore di una manifestazione del subcosciente...*". (Gravagnuolo, 1994).

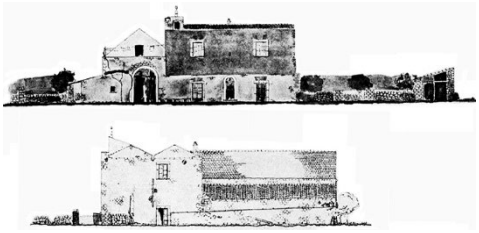


Fig. 1- A. Volschiak, casa rurale in Campania, rilievo tratto dal Corso di rilievo dei monumenti prof. S. Greco. ~~La~~ Facoltà di Architettura di Napoli, A.A.V.V. 1959. (~~Tratto da~~ CENNAMO, 2006, p. 53).

2. Evoluzione delle masserie nel Meridione d'Italia

Nel Meridione d'Italia tra il VI e il VIII secolo lo sviluppo dell'economia agricola determinò la comparsa, sul territorio rurale, di presidi abitativi affidati per lo più ai cosiddetti "massari", i quali dovevano sorvegliare da vicino i lavori dei contadini. L'etimo deriva da "massa" termine indicativo dei vasti complessi fondiari di proprietà di Signori o della Chiesa. Nel sud-est della Puglia, il Salento, queste strutture architettoniche si sono differenziate e specificate in sub-tipologie con caratteri riconoscibili, costituendo un elemento fondamentale caratterizzante il paesaggio rurale di questa regione. Tra i vari tipi, le masserie fortificate sono ben rappresentate nell'area orientale, codificate da elementi architettonici replicabili: murazioni che includevano torri di avvistamento, che permetteva ai proprietari di proteggere i contadini, i lavoratori e i prodotti agricoli. Erano delle grandi aziende agricole, abitate anche dai proprietari terrieri oltre ad ospitare alloggi per i contadini, stalle e locali per la lavorazione dei prodotti. Ne consegue che le masserie pugliesi sono state fino alla metà del XX secolo, un esempio unico di comunità sociale, dove i signori, i contadini e le loro rispettive famiglie con gli animali, vivevano insieme ma ciascuno nel proprio spazio.

La tipologia di masseria fortificata si ritrova anche in altre aree geografiche: "*Le costruzioni*

rurali costituiscono un importante patrimonio identitaria della cultura agricola che…si è espresso inevitabilmente anche come presidio dei territori; le necessità difensive… hanno gradatamente innescato l'evoluzione di strategie di fortificazione delle architetture che, codificate in una casistica molto eterogenea, hanno generato episodi che spaziano da tipologie maggiormente individuabili e riconducibili a caratteri di replicabilità (come ad esempio per le cosiddette masserie fortificate diffuse nel Salento tarantino o quelle del Ager campanus nelle province casertana e napoletana) ad altri con caratteri fortemente univoci". (Zerlenga & Cennamo, 2018)

I caratteri architettonici sviluppatesi nell'area salentina presentano sovente murazioni di cinta a difesa dell'intera proprietà. Strutture spesso affiancate da torri di avvistamento per la difesa da attacchi esterni, mentre l'ingresso principale era controllato da un grande portone che permetteva l'accesso al cortile interno anche alle carrozze e ai carriaggi da trasporto. I piani alti di queste strutture erano abitati dai padroni con le loro famiglie, mentre nei piani bassi vivevano i contadini e i loro nuclei familiari. Le mura spesse dell'edificio garantivano la protezione dai venti e dalle incursioni, mantenendo inoltre la temperatura interna fresca durante l'estate. Queste antiche dimore storiche presentano poche aperture e finestre rivolte verso l'esterno, spesso sormontate da "caditoie". Gran parte di queste strutture sono composte da un corpo centrale che include l'abitazione del proprietario, circondata da ambienti utilizzati per varie attività e cappelle private destinate alle pratiche religiose e alla preghiera.

La masseria, quindi, veniva organizzata intorno a una corte interna che fungeva da cuore pulsante della vita agricola. Nel cortile era presenta anche un forno per il pane, un pozzo e delle cisterne per la raccolta di acqua piovana; si svolgevano attività quotidiane come la trebbiatura del grano e la lavorazione dei prodotti agricoli, permettendo la completa indipendenza da paesi e villaggi. All'interno di questi grandi cortili, molte masserie presentavano inoltre alcuni frantoi ipogei, frantoi scavati nella roccia all'interno dei quali veniva lavorata l'oliva per la produzione di olio, uno dei prodotti più pregiati del Salento. I materiali con cui veniva realizzata l'intera struttura erano pietre locali come il tufo o la pietra leccese, noti per la loro lavorabilità e resistenza. Per la copertura dei vari vani si utilizzavano le volte a botte o a stella, dando un carattere distintivo all'architettura salentina, conferendo un'ottima solidità alla struttura ma garantendo al tempo stesso un isolamento termico naturale. All'interno di queste strutture erano presenti inoltre le abbazie, rappresentando un patrimonio artistico e storico di inestimabile valore e testimoniando il passaggio di molte influenze culturali e religiose.

In generale le tipologie più ricorrenti di abbazie erano: abbazie di origine bizantina con pianta a basilica, con tre navate divise da pilastri e absidi semicircolari; abbazie romaniche con una struttura più complessa con portali scolpiti e decorati; abbazie gotiche caratterizzate da un'eleganza lineare decorate all'interno con maestosi affreschi e abbazie barocche presentando un uso abbondante di stucchi e marmi. A partire dal XVII secolo, molte masserie iniziarono ad evolversi in veri e propri palazzi rurali, dette *masserie-palazzo*, molto più lussuose e rifinite rispetto a quelle originarie. Molte di esse negli ultimi tempi sono state ristrutturate e restaurate, conservando i tratti architettonici originali, ed usate come strutture ricettive per fini culturali o turistici.

2.1 Funzioni tipologiche delle masserie

Attualmente queste strutture sono presenti su tutto il territorio pugliese, immersi nella tipica campagna salentina ricoperta di uliveti secolari, terra rossa e muretti a secco. Nel corso dei secoli, queste strutture hanno vissuto vicende politiche ed economiche che hanno radicalmente cambiato il loro destino. La prima forma di masseria risale al periodo romano ed era una villa rustica su appezzamenti di terreni ottenuti dalla suddivisione dell'agro romano, per premiare i soldati che conquistavano la Magna Grecia.

In epoca feudale si ebbe successivamente una visione più "moderna" della masseria, intesa come comunità monastica che metteva in prativa un'economia circolare interna e indipendente.

I complessi masserizi più importanti della Provincia di Lecce si articolano verso la zona nord e sudorientale di Lecce, nell'area circostante di Otranto, Galatina, Nardò e lungo il versante costiero tra Gallipoli e Leuca. Il territorio compreso tra Lecce, Squinzano, Casalabate e San Cataldo è punteggiato da masserie appartenenti un tempo a proprietà feudali, subendo per diversi

secoli sanguinosi scontri da parte dei turchi deteriorando la loro tipologia strutturale. Nei pressi di Casalabate ritroviamo ad esempio la Masseria Rauccio inserita dal WWF nell'area di protezione della foresta di Rauccio; la Masseria Melcarne, una torre risalente al '700 e la Masseria Santa Maria di Cerrate ora diventata Museo delle Tradizioni Popolari.



Fig. 1- Abbazia Santa Maria di Cerrate (fonte: www.portoselvaggioresort.it).

Il territorio compreso tra Lecce, San Cataldo e Roca Vecchia è caratterizzato da masserie fortificate poste lungo antichi assi viari con al centro il Castello di Acaya. Nei dintorni sono presenti, inoltre, alcune cittadelle fortificate come la Masseria Zundrano, la Masseria Carrozzina, la Masseria Specchia Mezzana e la Masseria Reca.

Il litorale otrantino possedeva numerosi approdi nel porto, che consentivano il passaggio verso la Terra Santa a molti pellegrini, collegando l'Oriente con l'Occidente. A soli 2,5km a sud da Otranto, infatti, era presente un'antica masseria oltre che uno dei centri di cultura più importanti d'Italia, un cenobio basiliano nel quale i monaci eruditi praticavano riti religiosi e di meditazione.

La Masseria "*Santu Nicola*" rappresentava l'unico posto in tutta l'Italia meridionale, in cui rifiorì la cultura greca, centro intellettuale importante per aver consolidato nel territorio salentino un patrimonio scientifico, letterario e artistico. È circondata da un recinto quadrangolare di 10.840 mq, delimitata da muretti a secco e conci di calcestruzzo.

Gli edifici che compongono il grande complesso masserizio presentano caratteristiche strutturali diverse risalenti tra il XVI e il XX secolo. Dai fogli catastali, si deduce che la copertura iniziale dei vari ambienti della masseria non rispecchia quella dei primi anni del XX secolo, questo perché nel corso degli anni alcuni ambienti vennero abbandonati e ricoperti dalla fitta vegetazione o deteriorati dagli agenti atmosferici.



Fig. 2- Masseria Santu Nicola (fonte: www.sentierinelparco.it).

3. Caso studio: L'Abbazia San Nicola di Casole

Parte della documentazione di ricerca sul caso studio qui presentato sono tratte dalla tesi di laurea sviluppata nel 2023 dalla coautrice (1). Questo antico monastero venne costruito sopra un edificio realizzato al tempo di Leone III l'Isaurico.

La sua prima notizia certa è stata data da Antonio De Ferrariis (1444-1516), il quale sostenne di aver visitato il monastero prima dell'arrivo dei Turchi. Veniva usato inizialmente dai monaci per nascondersi dagli attacchi persiani, successivamente distrutto nel 969 e restaurato anni dopo nel 1099 dall'abate Giuseppe per volere di Boemondo e dedicato al Santo Nicola. Al suo interno nacque la più antica biblioteca del mondo occidentale affiancata dalla prima casa dello studente di tutta l'Europa occidentale. Un suo carattere distintivo era l'altezza, la cui struttura poteva essere guardata dal mare così come dall'entroterra dai casali vicini. Il 27 luglio del 1480 i Turchi salparono nei pressi dei Laghi Alimini, a circa sei chilometri dalla città salentina, assediarono la città di Otranto portandola alla distruzione totale e distruggendo quasi totalmente il complesso abbaziale (Chiriatti, 2017). Nel 1804 la chiesa venne descritta come pericolante e priva dell'arredo sacro essenziale, classificandosi come "chiesa rurale". Di tutti i volumi custoditi nella prestigiosa biblioteca, solo un codice si salvò dalle rovine durante l'assedio, Il Codice Torinese C III 17 con scrittura bicolore rossa e nera, finito di trascrivere nel 1173 dal terzo egumeno dell'abbazia. Il manuale contiene varie annotazioni dell'amministrazione del convento, regole monastiche e preghiere divise in 29 capitoli. Ad oggi, di tutta la meravigliosa opera storica, rimane il silenzio e le sue rovine come

cenni di arcate, resti di una parete in muratura e fasci di colonne.



Fig. 3 - Resti dell'Abbazia San Nicola di Casole, vista lato sud-ovest (fonte: www.regionesalento.eu).

3.1 Le principali stratificazioni

Prima dell'attacco turco, il complesso abbaziale ha subìto successive modifiche e cambi di funzione dei vari ambienti. Secondo alcuni recenti studi, si sono ipotizzate ben cinque fasi costruttive risalenti dal XI al XVII secolo d.C.



Fig. 4- Resti dell'Abbazia San Nicola di Casole Archivio fotografico Giuseppe Palumbo (1880-1959).

Durante la fase I, si è intuito che l'abbazia sia stata edificata nell'XI secolo nonostante nessuna fonte storica ha potuto documentare con esattezza l'anno di costruzione.

In questa prima fase l'abbazia aveva molti caratteri architettonici di tipo gotico e questo fa pensare all'eccellente preparazione dei progettisti nella realizzazione di tale opera. La chiesa era costituita da una navata unica di impianto rettangolare lunga 18 m e larga 8 m, con un'altezza di 10,5 m. Le spinte provenienti delle volte a crociera si indirizzavano sui costoloni che dividevano la struttura e si incrociavano diagonalmente spostando le tensioni sui pilastri. A est era presente un'abside semicircolare con volta a catino e centrale all'unica navata, come raffigurato nell'ipotesi costruttiva in Fig. 5.

Attualmente l'abside non è più visibile a causa di un crollo degli elementi strutturali, ma è menzionata in alcune fonti d'archivio che documentano oltre la sua esistenza, anche la somiglianza con altre absidi di chiese di quel periodo come la Chiesa di San Pietro (Otranto), la Chiesa Santa Caterina d'Alessandria (Galatina) e la Chiesa Santa Maria di Cerrate (Lecce).

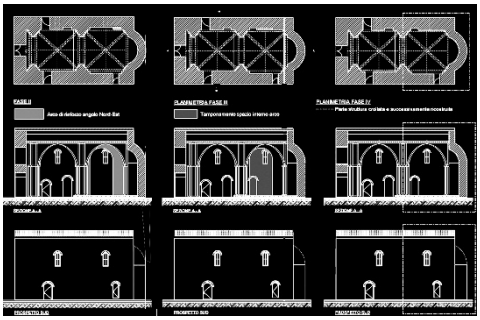


Fig. 5- Trasformazioni intermedie: fase 1-2-3 (elaborazione grafica degli autori, 2024).

Dall'ipotesi costruttiva emergono elementi di grande interesse compositivo e architettonico, come i pilastri polilobati.

Ognuno dei fronti era servito da un accesso diretto, due lungo i lati più lunghi della chiesa ed uno centrale sul lato ovest.

La luce esterna penetrava attraverso quattro monofore a doppio strombo poste lungo il lato nord e sud al centro delle arcate, a metà tra i pilastri a fascio, e dal rosone posto a ovest, questo per permettere di far entrare la luce del sole fino al tramonto.

All'interno del cortile masserizio, è stato ritrovato un frammento di un lapideo curvo in pietra calcarenite, che probabilmente apparteneva al rosone posto sul portone principale. In questa fase la chiesa aveva all'interno numerosi affreschi che decoravano le pareti di tutta la struttura.

Nella fase II, ebbe particolare attenzione la seconda campata.

Lungo il lato nord venne realizzato un arco a tutto sesto probabilmente di supporto al cantonale nord-est e all'arco ogivale perimetrale (come riportato in Fig. 5, prima successione in linea verticale a sinistra) chiudendo il passaggio adiacente all'abside semicircolare, per dare maggior resistenza e stabilità al perimetro murario.

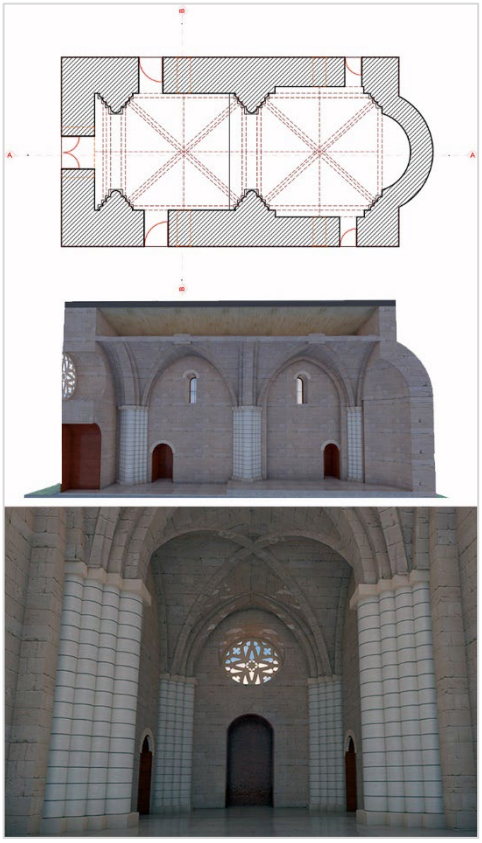


Fig. 6- Riconfigurazione digitale, ipotesi alla fase 1: pianta, sezione longitudinale; vista interna del fronte ovest (elaborazione grafica degli autori, 2024).

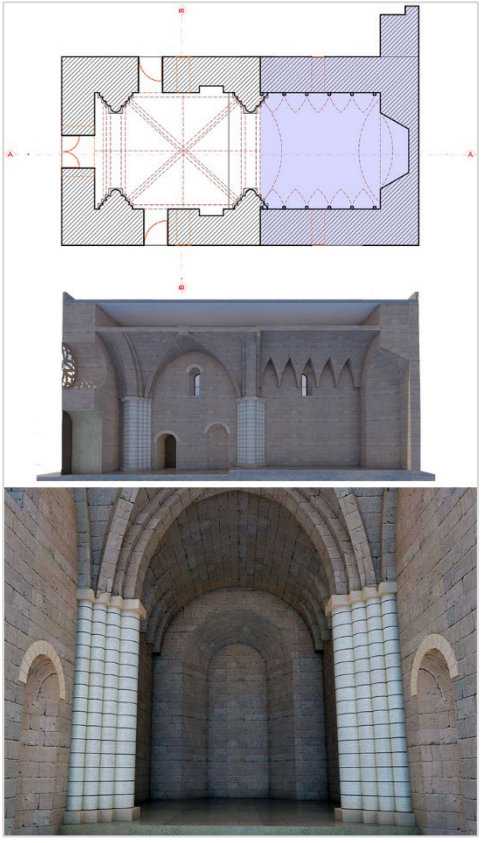


Fig. 7- Riconfigurazione digitale, ipotesi alla fase 5: pianta, sezione longitudinale; vista interna del fronte est (elaborazione grafica degli autori, 2024).

Con questo tipo di intervento si è diminuita la luce proveniente dall'esterno, ma ciò ha consentito di risolvere i problemi statici che presentava la struttura nella seconda campata.

Nella fase III si è previsto la chiusura dello spazio interno al grande arco a tutto sesto progettato nella fase precedente, ed è stato rivestito con elementi lapidei il muro di fondo (come riportato in Fig. 5, seconda successione in linea verticale centrale). È stata inoltre realizzata una nicchia sul lato nord nella seconda campata adiacente al pilastro.

Durante la fase IV, l'abbazia venne notevolmente danneggiata dall'attacco turco, specialmente nella seconda campata. La chiesa rimase così fino al 1527, fino a quando Papa Clemente VII decise di ricostruire una nuova abside, visibile in pianta e in sezione (Fig. 7), oltre a potenziare le strutture difensive della città di Otranto.

A confermare tale restauro fu Antonio de Capua nel 1538, ritornando a celebrare la Santa Messa nell'antica abbazia. Tra il 1527 e il 1538 venne collocata la fase V, anni nei quali vennero eseguiti diversi interventi al fine di rendere la struttura molto più resistente e solida.

Vennero inoltre ricostruiti i muri perimetrali della seconda campata posti a nord e sud sfruttando le preesistenti mura. Venne costruita una nuova volte a botte lunettata e non a crociera come nelle precedenti fasi, e venne modificato l'assetto originario della copertura. Al posto dell'abside semicircolare, venne progettata un'abside a base semiesagonale sormontata da una volta conoidica con imposte orizzontali visibile da un punto di vista interno lungo il lato est, come rappresentato

in Fig. 6. In questa fase venne inoltre murata l'apertura della porta posta sul lato nord-est per aumentare la resistenza lungo il perimetro, realizzando invece una nicchia nel lato sud. Questa fase fu descritta anche da Cosimo de Giorgi in una sua antica descrizione. Come ulteriori lavori, nell'angolo sud-est venne edificato un nuovo blocco con conci lapidei e rivestita da pietre di varie dimensioni la facciata est. A partire dal XVII secolo l'abbazia iniziò il suo declino testimoniato anche da Vincenzo Maria Movelli in un verbale della Visita Pastorale del 1804. Il suo definitivo crollo avvenne intorno al XX secolo, peggiorando il suo stato giorno dopo giorno. Non sono molte le fonti storiche di riferimento. Il documento più antico è custodito nel Grande Archivio di Stato di Napoli e risale al 1274; tutti gli altri manoscritti sono, evidentemente, andati persi con l'arrivo dei Turchi. Di interesse per il caso studio è stata anche l'opera del 1665 "*Platea di Casole*" di Carlo Pasanisi che contiene un inventario fondiario nel quale sono enumerate le proprietà distribuite in tutta la provincia di Terra d'Otranto.

4. Conclusioni

La ricerca indirizzata alla conoscenza del patrimonio culturale meno noto rappresenta un ambito molto soddisfacente sia per i risultati scientifici che sociali.

Gli strumenti della rappresentazione, anche in questo caso, definiscono il metodo insostituibile per l'acquisizione e la lettera critica del patrimonio storico.

La costruzione del modello tridimensionale correttamente integrato dalle altre fonti di conoscenza e la sua disseminazione attraverso sistemi e piattaforme di pubblica fruizione, fornisce la possibilità di valorizzare siti minori in chiave sostenibile e contemporanea restituendo, allo stesso tempo, la memoria identitaria alle comunità.

Il caso studio illustrato rappresenta un esempio calzante in tale ottica: l'attività speculativa di rilievo integrato e sovrapposizione critica dei dati morfo-architettonici col supporto dell'indagine storica ha consentito la ricostruzione dell'evoluzione architettonica dell'Abbazia di San Nicola di Casole e, con essa, dei contesti circostanti.

Note

(1) Tarantino, F. (2023). Un ponte fra Oriente e Occidente: l'Abbazia di San Nicola di Casole. Tesi di Laurea, UNINETTUNO University, Roma

Bibliografia

Bosco, A. (2019) I Presidi Del Territorio nell'Italia Meridionale. Il grafo territoriale delle masserie fortificate nel Salento. *Sustainable Mediterranean Construction*, pp. 71-74 .

Cennamo, M. (2006) *Le Masserie Circumvesuviane. Tradizione e innovazione nell'Architettura rurale*. Napoli, F.lli Fiorentino.

Chiriatti, C. (2017) Lo scriptorium di San Nicola di Casole e il suo typikon: un'analisi storico-letteraria. *Hortus Artium Medievalium*, vol. 23, pp. 428-438.

De Ferrariis, A. (1867). *De situ Yapigiae*. Lecce, Edizione di Lecce.

Diceglie, A. (2024) I sistemi di difesa degli antichi borghi peninsulari pugliesi. In: Gjergji, I., Denada, V.(ed.) *Defensive Architecture of the Mediterranean,* Proceedings of FORTMED - Modern Age Fortification of the Mediterranean Coast, Tirana, pp. 29-35.

Gravagnuolo, B. (1994) *Architettura rurale e casali in Campania.* Napoli, Clean.

L'abbazia di S.Maria di Cerrate tra storia e leggende (2023) disponibile su: https://www.salentiamo.com/blog/1172-l-abbazia-di-santa-maria-di-cerrate-tra-storia-e-leggende_(consultato in data 06/10/2023)

La storia delle masserie salentine: quello che c'è da sapere (2014-2020) disponibile su: https://www.titanya.it/territorio/la-storia-delle-masserie-salentine-quello-che-ce-da-sapere/ (consultato in data 16/09/2024)

Lavermicocca, N. (2012). *Puglia, bizantina, storia e cultura di una regione mediterranea (876-1071)*. Lecce, Capone Editore.

Le masserie, antico patrimonio salentino (2020) disponibile su: https://www.salentopercaso.it/cultura-e-tradizioni/le-masserie-antico-patrimonio-salentino/ (consultato in data 25/09/2024)

Muscatello, G. (2022). *L'Abbazia medievale di San Nicola di Casole, la chiesa il complesso e il contesto topografico*. Monteroni di Lecce, Edizione Esperidi.

Parlangeli, O. (1951). Il Monastero di S. Nicola di Casole centro di cultura bizantina in Terra d'Otranto. *Bollettino della Badia Greca di Grottaferrata*, Grottaferrata, pp. 41-52.

Perfido, P. & Castagnolo, V. (2018) La Puglia e la minaccia dal mare: torri, castelli e masserie fortificate. Rilievo e rappresentazione visuale delle difese della linea di costa adriatica. In: Marotta A., Spallone R. (ed.) *Defensive Architecture of the Mediterranean.* Proceedings of FORTMED - Modern Age Fortification of the Mediterranean Coast, Torino, pp. 791-7988.

Rossi, G.; Castagnolo, V.; De Cadilhac, R. & Perfido, P. (2016). Il Rilievo, il Restauro e la Storia per la conoscenza e la tutela dell'architettura fortificata. In: Rossi, G. et al (ed.) *Architettura fortificata. Rilievo e Restauro*. Bari, Aesei Edizioni, pp. 17-20.

Tarantino, F. (2023) *Un ponte fra Oriente e Occidente: L'Abbazia di San Nicola di Casole*. Roma, Uninettuno University.

Zerlenga, O. & Cennamo, G. (2018) Strategie difensive nelle architetture rurali: il caso di Torre Ranieri A Napoli. In: Marotta A., Spallone R. (ed.) *Defensive Architecture of the Mediterranean.* Proceedings of FORTMED - Modern Age Fortification of the Mediterranean Coast, Torino, pp. 503-51.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20348

Traces of the fortification past from poor ruins: the extreme case of Torre Flavia

Alexia Charalambous[a], Giorgio Verdiani[b], Andrea Pasquali[c]
[a-b-c] Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Architettura, Firenze, Italia, [a]alexia.charalambous@unifi.it, [b] giorgio.verdiani@unifi.it, [c]andrea.pasquali@unifi.it

Abstract

The robust network of towers along the Mediterranean coast has seen very various destinies, from well-preserved to reused, to damaged, to partially or destroyed. The case of Torre Flavia, along the coast of Lazio, Italy, stands between those reduced to ruins. Torre Flavia is a medieval coastal defence structure. It was restored and fortified by Cardinal Flavio Orsini in the XVIth century. The Allied bombing in 1943 severely damaged the tower, destroying the upper floors. Today, cannon openings resembling windows remain visible. In addition, this tower's specific position clearly shows how natural events may consume the original robust building into poor remains. This tower may be seen as a symbol of the long run of human events and the evolution of warfare, with this building standing for a long time on the seaside until the new weapons of the aerial war strongly damaged it. In the present proposal, a virtual reconstruction from the ruins will be attempted starting from the digital survey of the remains, from the analysis of the available sources, and interpolating reference models. In this way, a possible original aspect of this unlucky tower will be produced to support a better knowledge of this architecture.

Keywords: decay, digital reconstruction, Lazio, Ladispoli.

1. Introduction

When Torre Flavia was erected, it was built atop the remains of a Roman maritime villa (Enei, 2006), the tower and the surrounding area is well-documented by historical representations and in photographs since the early XXth century (Paliotta, 2006). The logic of reuse applied for the tower is a classic from this kind of intervention. In this specific case the regular remains left by the villa appeared a perfect basement to raise up a tower on the sea. The villa's structure consisted of long rectangular rooms, aligned Northeast-Southwest, measuring over 15 metres in length, and preserved up to a height of one metre and a half on the southern side of the tower. Brick and reticulated limestone, which are common materials for Roman villas along the shore, were used to build the walls. Later, coastal erosion ruined the villa (Tortora, 2020). Understanding *Torre Flavia*'s architectural layers and the larger coastal defensive system to which it belongs (Turco & Isgrò, 2018) depends on a preliminary understanding of the relationship between materials, decay, evolution of the landscape. Since the first century AD, the Lazio coastline, which is dotted with important communities and natural features (Gallico & Turco, 2018), has been essential for marine defense. To protect important Roman settlements like *Ostia, Lavinium*, and *Astura*, defensive construction started (De Rossi, 1971). Watchtowers were erected on rocky promontories or close to fortified communities such as *Castrum Neptuni*, *Castrum Pratica*, and *Castrum Fusani* during the IXth century as a result of increased fortification efforts spurred by the danger of piratesque incursions first and then of Saracen invasions. Later, in the modern restructuring of the coastal fortifications, these defensive efforts were

BY-NC-SA

integrated into the larger coastal defence network organized by the Papal States during the XVIth century, particularly under Pope Pius V, who issued the *Constitutio de aedificandis turribus in oris maritimis* (1567), aimed at strengthening coastal fortifications.



Fig. 1- Evolution of the coast around Torre Flavia, 2002-2024 (Google Earth).

Torre Flavia was rebuilt during this period, entering as a part of this strategic system.
By 1603, the tower was not yet armed with cannons. However, by 1631, it was well-armed with a metal falconet, mortars, muskets, and other weapons. By the 1800s, the tower had two 12-gauge guns and three rifles with bayonets.
It had *peperino* slab flooring, intact parapets, and a signalling furnace (Gruppo Archeologico del Territorio Cerite e Comune di Ladispoli, 2010).

Being near marshes and the *Vaccina* River made Torre Flavia a prime location for coastal surveillance. It could easily control shipping and protect the nearby settlements from this vantage point. However, it was a component of a larger system rather than a single tower standing alone.



Fig. 2- Postcard published in 1970, matching the tower in the thirties and in that year (Source: https://www.prolocoladispoliaps.it/torre-flavia/).

Other Roman locations along the shore, such as villas close to *Fosso Turbino* and the well-known route *Aurelia*, one of the main Roman thoroughfares, were connected to the tower. These sites probably used simple signals like smoke or fire to warn each other of danger. In this way, Torre Flavia was much more than just a lonely outpost; it was a key part of a defensive system that helped the Papal States secure the coastline.



Fig. 3- View of the tower in its present conditions.

2. A series of unlucky events

The main danger to Torre Flavia's preservation has been the substantial erosion it has experienced over time (Di Bella et al. 2020). This phenomenon was probably yet ongoing at the time of the Roman Villa, thus the strategic interest in keeping such a crucial location pushed the military choices to create the fortification ignoring the adverse environment conditions. The sea has gradually eroded the reminder of villa underneath the tower, which was visible in the early 1900s. The majority of the villa has vanished, leaving only the bottom portion standing today. The erosion action has mined the

basement of the tower (Tartara, 2020), thus it is clear that the gradual process of decay had a dramatic acceleration when the tower was bombed during World War II. In the long list of fortifications experiencing the evolution of weapons, the tower was destroyed by an air attack that caused the fall of the central parts of the vaults, opening the core of the building and leaving the tower to its four massive corners.



Fig. 4- View of the tower from the distance in its present state.

In the urgency of post-war reconstructions, the tower was then neglected, with the four angles arriving in recent years in a reasonable condition, but kept as picturesque separated fragments, maybe imagining that the integrity of the structure was secondary in the overall presentation of the remains. So wrong, the alteration of the basement operated a gradual twist on each part, and in the turn of few years the four corners bent on the other, creating a weird composition of massive fragments, one bearing on the other. Recent restoration efforts have concentrated on stabilizing the tower and halting additional harm from coastal erosion and rising seas to help protect it. Given the ongoing encroachment of urban development on the site, these initiatives appear essential for preserving what remains. The transformation of the environment is extremely evident (Fig. 1), from an original condition that made it realistic to realize a Roman Villa in front of the sea, the gradual erosion left ruins for erecting the tower, then the ongoing natural transformation of the coast brough the tower to be flooded and appearing like rising on the sea (Tortora, 2020). After the destruction caused by the war (Fig. 2) the restoration tentative brought to reintegrating the soil around the tower, recreating a scenario probably similar to the time of the tower's foundation. In the present, the indication to the tower describe just a poor set of ruins, isolated by a miserable fence to keep away people from the risk of possible falling fragments (Figg. 3, 4).

3. Digital Survey

As Torre Flavia continues to be affected by coastal erosion, modern digital technologies have become a lifeline for preserving documentation of what remains. Photogrammetry can describe with an expeditious and efficient method the dramatic state of the remains, creating detailed bases for 3D modelling to develop proper reconstruction integrating the variety of graphic and photographic witnesses left from the past (Russo & Remondino, 2012).



Fig. 5- Survey operation, ground level shooting.

So it was decided to develop an autonomous intervention of digital survey and reconstruction for this architecture in its precarious state of balance between abandon and failed tentative preservation. In the specific case study the photogrammetry was operated completely from the ground using two Fujifilm mirrorless cameras. The Gfx-50s, with a medium format 50 Mp sensor, was used for all the handheld shots, moving along the perimeter of the tower (Fig. 5).



Fig. 6- Photogrammetric processing in EG Reality Capture (graphic elaboration by the authors, 2024).

The lens, a Fujinon 32-64mm F4 zoom lens (equivalent to a 25-50mm on a full frame sensor), was used at 64mm, and stopping down at F8 (in backlit and shadows) and at F11 (in direct sunlight). The overall campaign was planned taking a generous number of shots, with a total of 732 pictures, which allowed to cover all the surfaces of the exterior, but also almost all the internal parts, which were revealed little by little while the process of shooting was ongoing. To enhance the coverage of the top part and reduce the occlusions in the higher elements, a secondary sequence of shots was taken using the lighter XT-100 equipped with a Fujinon 15-45mm F4 zoom lens (used at 17mm focal length) on a 26 Mp APS-C sensor. The camera was mounted on a telescopic pole capable of 8.5 metres of extension and remotely controlled by a smartphone. An efficient solution that may replace the need for a drone/UAV intervention for small architectures (Fiorini, 2012; Russo, 2020). In this way two full rings of shots at different heights (one at about four metres, the second at about eight metres) were realized, producing 272 pictures. Following some direct measurements were taken on the external walls to allow the scaling of the final model.

To better document the present state of the landscape around the tower, a series of fully panoramic pictures were taken using an Insta360 Pro II camera, capable of taking 8K shots with a full 360° field. These image set was then used to create a simple virtual tour connecting contents developed during this research and made accessible at the URL: www.didalxr.it/torreflavia

4. Data treatment

All the shots coming from the two cameras were later checked and then loaded into EG Reality Capture software to enter a classic SfM/IM processing. The alignment, done in a single operation, producing the point cloud using all the shots in a single component. The following polygonal mesh resulted in 217 million triangles, then simplified to 14,9 million. The texturing was built using an adaptive atlas, to exploit the best quality and have it fully available in the final result (Figg. 6, 7, 8). The resulting model was then used for producing an exportable version in OBJ format for further processing and a complete sequence of high resolution orthophotos presenting the main four fronts of the tower and a series of sections showing the inner fronts of the remains of this unlucky architecture. To complete the process and help the access to the produced data, an even more simplified version of the mesh was created, down sampling the overall number of polygons to just two million and recalculating the texturing with just four 64 Mp atlas maps, the textures were compressed to reduce even more the final size of the model and upload it to the sketchfab.com platform.



Fig. 7- Orthophotos of the southern and western fronts of the tower (authors, 2024).



Fig. 8- Orthophotos of the northern and eastern fronts of the tower (authors, 2024).

5. Digital reconstruction

The state of conservation of the tower shows the collapse of four corner remains and an internal component of a wall. In order to obtain a more scientifically based reading, a digital reconstruction process was performed, constituting a state of virtual reconstruction useful for the geometric study of the artifact. The operation proceeded with the repositioning of the five recognizable portions in their previous condition, rotating and moving each component in order to obtain alignments based on a secure geometric matrix obtained from the few documentary sources, consisting solely of historical photographs. The main alignment axis is recognizable with the horizontal line described by the low string course of the elevations, distinguishable in the remains with the string course moulded frame passing on the lines of change of inclination of the elevations, between the low sloping wall and the development of the vertical masonry wall of the body of the tower. Only the rotational alignment of the individual portions defined their azimuthal orientation. This first operation highlighted how one of the four corner parts was the least affected by the dynamics of collapse, guiding the choice to set it as a constraint in the subsequent transaction operations.

The operation proceeded with the study of the planimetric geometry. The first distance reconstructed is that relating to the transverse development, verifiable with the alignment of the impost traces of the barrel vault of the lower room (corresponding to the portion of the sloping wall). The reading of the transverse section allowed the recognition of the regular geometry of the semicircle describing the round arch of the barrel. In all four portions involved in the translation, a planar movement was performed to the transverse section, based on the portions of the impost of the vault that were largely present and on which the curvature was observed and aligned. Once the transverse dimension was found, the following

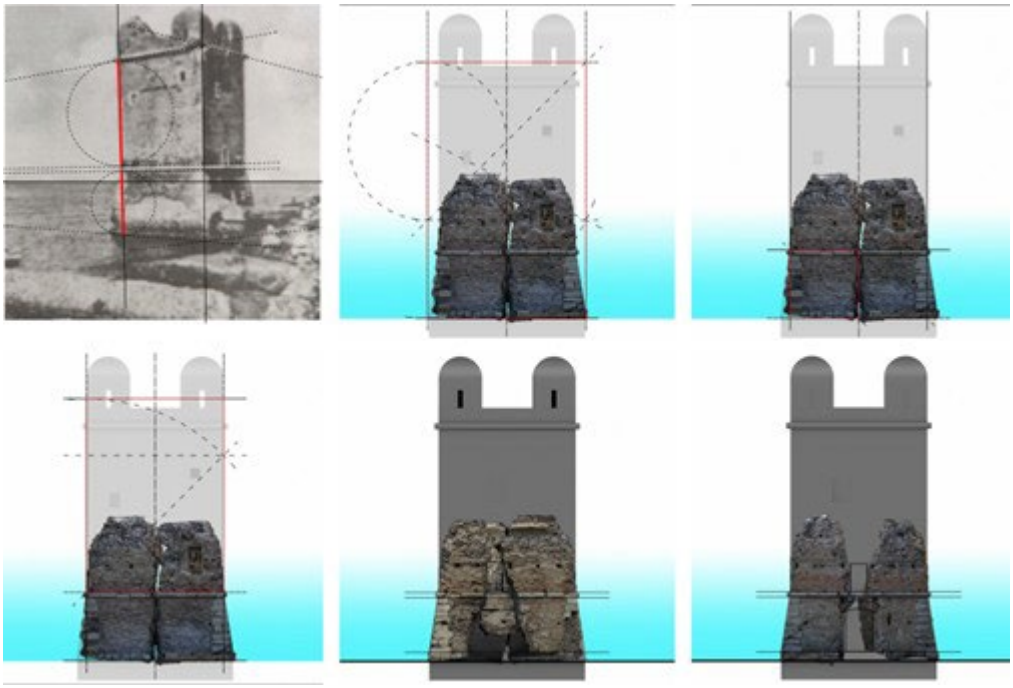


Fig. 9- Phases of the digital reconstruction (graphic elaboration by the authors, 2025).

reconstruction focused on the longitudinal development, completing the layout of the plan. The ideal geometry of the barrel vault does not allow the determination of its development with certain geometric scheme components. We operated with the choice of the most certain, admitting this as the hypothesis with the smallest margin of uncertainty.

The reading presented therefore describes a development of the tower on a square plan, justified mainly by a comparative analysis of contemporary examples of coastal towers in the area. The alignments, obtained with translations parallel to the longitudinal axis of the four components, have reconstituted the final configuration of the horizontal section profiles of the wall, defining the initial setting, read from the old postcards that reproduced the tower before the slides (Figg. 9, 10).

These operations were conducted using Maxon Cinema 4D, importing the OBJ model with texture produced by digital photogrammetry process and then performing operations on the polygons and subsequently rotations and translations to achieve the desired repositioning. The management of the software environment with a timed organization of the operations allowed the obtaining of an animated environment, which proved to be greatly helpful in controlling the movement of the parts, managing the temporal sequence, for the improvement of the inclination and sliding of the components. The final state, in addition to being the basis for the definition of the complete layout of the tower elevations, offers an animated elaboration of the sliding sequence useful for observing its dynamics (Fig. 11).

It is therefore highlighted how the alterations of the layout of the first remains of the artifact mainly follow the influence of the forces produced by the wave motion of the sea and finding a still active collapsing process, because it refers to the current state of the tower without adequate consolidation.

6. Conclusions

Torre Flavia is more than just a tower; it is a symbol of the complexity of coastal protection throughout history. The tower, which is a component of the wider Lazio coastal defence system, is a reflection of the military tactics that influenced the area from the Roman era to the

Renaissance. Its proximity to critical Roman roadways demonstrates how crucial it was to keep an eye on and safeguard the maritime routes. Operating on Torre Flavia's virtual documentation may now serve as a reminder of the continuous battles against decay and environmental change, which endanger other coastal heritage sites.

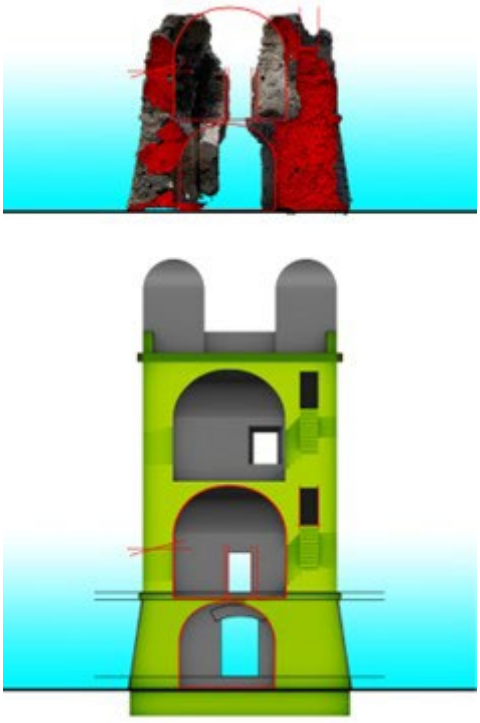


Fig. 10- Digital reconstruction of the Tower's transversal section (graphic elaboration by the authors, 2024).

Torre Flavia is still a significant historical and architectural landmark in spite of its fragmentation. It is a priceless example of coastal defense and fortification design.

At the same time, the digital reconstruction shows clearly how massive was the loss caused by bombing, reducing the tower to ruins left to neglect until they reached a completely compromised condition. While it seems difficult to see the tower really recovered into a proper future physical preservation intervention, the creation of a complete dataset documenting the state of the ruin and expanding the digital data to a gradual reconstruction, with the rectified fragments and then with the reconstructed volume, looks like a decent alternative to support further study and maintain a trace. For this, all the resulting dataset are now included in the Figshare platform, catalogued with a DOI identifier and directly accessible to other scholars and curious. The dataset includes the group of high-resolution fronts and sections, the fronts in rectified setup and the reconstructive drawings, all made available in full resolution in PSB, TIFF and JPEG formats.

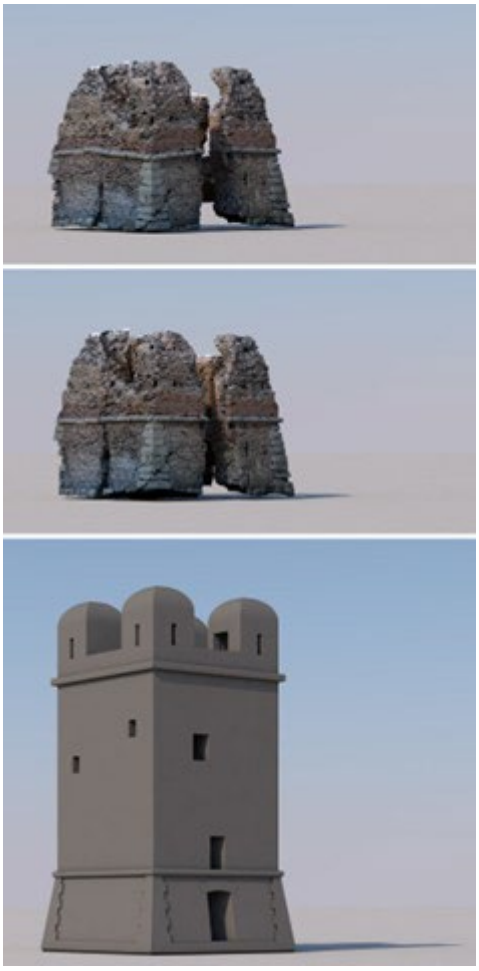


Fig. 11- Digital reconstruction of the Tower: the present state, the re-alignment of the ruins, final reconstruction (graphic elaboration by the authors, 2024).

The simplified 3D model is freely available on sketchfab.com while the full resolution 3D model and Photogrammetry project are available on demand from the authors. A small contribution to

the (at least) digital preservation of this valuable architecture before its loss (Fig. 12).



Fig. 12- QR code for direct access to the Figshare dataset and direct access to the 3D Model in Sketchfab.com (elaboration by the authors, 2024).

Credits

The presented results have been developed as personal research coordinated by prof. Giorgio Verdiani, in teamwork with Alexia Charalambous and Andrea Pasquali, the research group operated with the support of the Didalabs System from the Dipartimento di Architettura, University of Florence, and in the specific with the Extended Reality Laboratory (DIDALXR) and the Photo and Video for Architecture Laboratory (LFVA). All the parts of the present paper are the result of a fully collaborative work with collective authoring. Graphic contents, where not differently specified, are by the authors.

References

De Rossi, G. M. (1971) *Torri Costiere del Lazio*, De Luca Editore, Italia.

Di Bella, L., Raffi, R., Alivernini, M. et al. (2020), Coastal morphodynamics and environmental assessment of the Special Protection Site of Palude di Torre Flavia (Tyrrhenian Sea, Italy) *Environ Earth Sci* 79, 514, Springer Berlin Heidelberg, https://doi.org/10.1007/s12665-020-09257-z, Germany.

Enei, F. (2006) Contributo alla tutela dei paesaggi costieri dell'antico Aer Caeretanus, Le presenze archeologiche tra Torre Flavia e Santa Severa. In Battisti, C. (a cura di) *Biodiversità, gestione, conservazione di un'area umida del litorale tirrenico. La Palude di Torre Flavia*, Gangemi, Italia, pp. 101-118.

Fiorini A. (2012) Tablet PC, fotogrammetria e PDF 3D: strumenti per documentare l'archeologia. *Archeologia e Calcolatori*, 23, 213-228. https://doi.org/10.19282/ac.23.2012.13

Gallico, S. & Turco, M.G. (2018) Il paesaggio costiero del litorale romano. Trasformazioni, segni, testimonianze e prospettive per il futuro. In: Benincasa, F. (ed.), *Seventh International Symposium: monitoring of Mediterranean Coastal Areas : Problems and Measurement Techniques*, Firenze University Press, Italia, pp.117-127.

Gruppo Archeologico del Territorio Cerite – Comune di Ladispoli (2010) *Torre Flavia: un simbolo, una storia, una memoria da salvare*, Ladispoli, Italia.

Paliotta, C. (2006) *Ladispoli, immagini e racconti da Caravaggio a Rossellini*, Edizioni Interculturali Uno, Roma, Italia.

Russo, M. & Remondino, F. (2012) Laser Scanning e fotogrammetria: strumenti e metodi di rilievo tridimensionale per l'archeologia. In: Brogiolo, G.P., Angelucci, D.E., Colecchia, A., & Remondino, F. (eds.) *APSAT 1: teoria e metodi della ricerca sui paesaggi d'altura. - (Progetti di archeologia),* SAP - Società Archeologica, Italia, pp. 145-176.

Russo, M. (2020) *La Fotomodellazione in Ambito Archeologico. Potenzialità, Limiti e Prospettive*, in Storia-Restauro, Ricerche a Roma e nel Lazio, GB Editori, Italia.

Tartara, P. (2020) Along the Caeretan Coast and forward on. In: Bonora, L., Carboni, D. & De Vincenzi, M. (eds), *Eighth International Symposium Monitoring of Mediterranean Coastal Areas. Problems and Measurement Techniques*, Livorno, Italy, June 2020, Firenze University Press, Firenze, Italia, pp. 127-136.

Tortora, P. (2020) Failure of the nourishment intervention at Ladispoli Beach (Central Latium coast, Italy*). Journal of Mediterranean Earth Sciences*, 12, 55-75, Sapienza University of Rome, Italia. DOI: https://doi.org/10.3304/jmes.2020.16743,

Tortora, P. (2020) Failure of the nourishment intervention at Ladispoli Beach (Central Latium coast, Italy), Part 2: the causes. *Journal of Mediterranean Earth Sciences*, 12. DOI: https://doi.org/10.3304/jmes.2020.16744, Sapienza University of Rome, Italia.

Turco, M.G. & Isgrò, S. (2018) *Le torri del litorale laziale. Dalla storia alla valorizzazione.* In: Marotta, A., Spallone, R. (eds) *Defensive Architecture of the Mediterranean,), Vol. VIII, Torino.* Politecnico di Torino, Italia, pp. 683-690.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20349

Il paesaggio militare del XX secolo a *Is Mortorius*. La Sardegna tra storia e disegno

Emanuela Chiavoni[a], Andrés Martínez-Medina[b], Nicola Paba[c], Andrea Pirinu[d], Giancarlo Sanna[e]

[a] Università di Roma La Sapienza, Roma, Italia, emanuela.chiavoni@uniroma1.it, [b] Universidad de Alicante, España, andresm.medina@ua.es, [c-d-e] Università degli Studi di Cagliari, Cagliari, Italia, [c] nicola.paba@gmail.com, [d]apirinu@unica.it, [e]giancarlo.sanna8@gmail.com

Abstract

The Sardinian coastal landscape is historically characterized by a network of sentries built between the 16th and 20th centuries. This system consists of the imposing guard towers built during the Spanish and Piedmontese reign and bunkers and batteries designed in 1942-1943 to counter an imminent Allied landing. The bunkers, camouflaged by using materials from the area or with forms that recall functions other than military ones, are an important part of an architectural heritage currently under study for its recovery and valorisation, also within cultural itineraries. The area of *Is Mortorius,* in the coastal territory of Quartu Sant'Elena (CA), preserves many military structures from different eras. In addition to the presence of the nuraghe called Diana, reused during the Second World War as a rangefinder, the small promontory overlooking the sea hosts the ruins of a Spanish tower, numerous anti-aircraft stations, connected by underground tunnels, and some bunkers built with the use of reinforced concrete and lined with local stone and shapes that remind the nearby nuraghe.

The proposed study, based on a historical analysis of the events that took place during the Second World War, provides for the application of integrated methodologies of survey and representation of architecture and landscape; UAV applications, aimed at the construction of a digital model of the context, direct and instrumental survey with laser scanners for a reading of underground routes, drawings from life through different techniques (watercolour, pencil and pen drawing) to grasp the character of the place and to promote, through the composition of a knowledge mosaic entrusted to history and drawing, a correct knowledge of the material and immaterial heritage of the wars of the twentieth century.

Keywords: bunker, World War II, ruins of modern architecture, camouflage, cultural heritage

1. Il paesaggio militare del XX in Sardegna

Il paesaggio costiero della Sardegna si caratterizza storicamente per la presenza di una rete di sentinelle costruite tra il XVI ed XX secolo per la difesa dei litorali. Imponenti torri di avvistamento edificate durante il regno spagnolo e piemontese e un sistema di piccoli bunker e batterie progettate nel 1942-1943 per un imminente sbarco degli Alleati convivono tutt'ora nel paesaggio dell'isola spesso affiancate da strutture molto più antiche, come i nuraghi. I bunker, di frequente mimetizzati con l'impiego dei materiali locali e con forme che richiamano funzioni diverse da quelle militari (come abitazioni rurali, edifici religiosi, cisterne…), costituiscono un importante tassello di un patrimonio architettonico e paesaggistico attualmente oggetto di studi finalizzati alla conoscenza, recupero e valorizzazione, anche all'interno di itinerari culturali. Lo studio di questa importante eredità culturale si inserisce in un più ampio scenario di investigazione che ha avuto inizio con le ricerche di Paul Virilio (2012,

BY-NC-SA

orig. 1975) e Rudi Rolf (1985 y 1988) dedicate all'Atlantik Wall, costruito dai Tedeschi tra il 1942 e il 1944 dalla Francia alla Norvegia.

A queste hanno fatto seguito, nell'ambito del mare Mediterraneo, gli studi, in Spagna, sul sistema fortificato dei Pirenei, sui piani di rafforzamento del Campo di Gibilterra (Atanasio, 2017), sulle difese della Catalogna (Cabezas, 2013), sul dispiegamento che dalla costa di Murcia procede verso Cartagena e l'inventario delle difese della costa meridionale della Comunità Valenciana (Martínez-Medina 2016, Gil-Piqueras et al. 2022). In Italia, si è dato avvio ad un censimento dei bunker sulle coste calabresi (Caniglia, 2024) e siciliane, e portato a compimento un interessante ricognizione delle difese dell'isola d'Elba (Caldarone et al. 2024), (Empler, Caldarone & Fusinetti 2022). Dal 2014 proprio per questi studi sui bunker del sud dell'Europa si è cominciato ad usare il termine "Muro Mediterraneo".

La ricognizione delle opere realizzate in Italia e, nel nostro caso di studio specifico in Sardegna, hanno trovato un utile supporto negli studi pregressi (Carro & Grioni 2001, 2014 e Rassu, 2023) e nella documentazione d'archivio, custodita presso l'AUSSME (Archivio dell'Ufficio Storico dello Stato Maggiore dell'Esercito) a Roma e presso l'Archivio del XIV Reparto Infrastrutture dell'Esercito a Cagliari. In particolare, l'AUSSME custodisce progetti e rilievi realizzati negli anni 1942-43 dal Genio Militare italiano su base IGM in scala 1: 100.000 e 1: 25.000 (fig. 1) che mostrano la localizzazione delle opere e la loro dotazione in termini di armamenti e l'Archivio del Reparto Infrastrutture dell'Esercito conserva i disegni di progetto dei modelli previsti (Fig. 2). L'indagine a carattere multidisciplinare ha consentito lungo la costa sud e occidentale dell'isola (Figg. 3-4) un approfondimento della conoscenza del patrimonio presente (Martínez-Medina, Pirinu 2017, 2018 e Pirinu et al. 2021, 2022, 2023) e dato avvio ad un confronto tra i paesaggi della Sardegna e della Spagna che coinvolge l'Università di Alicante (Spagna), l'Università di Cagliari e l'Università di Roma, La Sapienza. Questa ampia ricerca tenta di stabilire relazioni tra i manufatti dell'Italia e della Spagna nel periodo 1936-1943. In un certo senso, si può pensare che la Spagna, durante la sua guerra civile (1936-1939), sia stata un laboratorio di prova per gli armamenti mobili e immobili che sarebbero poi stati utilizzati nella Seconda guerra mondiale.

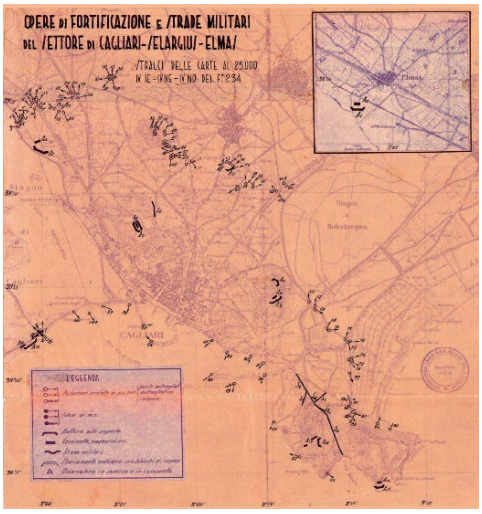


Fig. 1- Opere militari nel territorio di Cagliari (AUSSME, Roma).

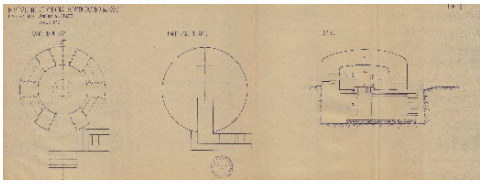

Fig. 2- Progetto di una postazione anticarro (XIV Reparto Infrastrutture Esercito, Cagliari).


Fig. 3- Bunker anticarro in località Porto Paglia (Gonnesa) e lungo la strada statale SS129bis per Bosa (foto di A. Pirinu, 2024).

1.1. Bunker, batterie e vedette nel promontorio di *Is Mortorius*

L'area di *Is Mortorius*, situata nel territorio di Quartu Sant'Elena (CA), conserva strutture militari di diverse epoche. Oltre alla presenza di un nuraghe riutilizzato come telemetro nel corso della II Guerra Mondiale (fig. 4), il piccolo promontorio sul mare ospita i ruderi della cinquecentesca Torre del Mortorio, demolita nel 1940 "perché si trovava lungo la linea di tiro dei cannoni antinave" (Grioni & Carro, 2014), quattro piazzole circolari (8m Æ) collegate da cunicoli sotterranei, un bunker a pianta circolare (6m Æ) e due vedette a pianta circolare costruiti con l'impiego di cemento armato e rivestiti con pietra locale (Figg. 5-6). Completano il patrimonio architettonico alcuni edifici riconducibili ad una tonnara non più in funzione. Le opere fanno parte di una porzione della rete a scala territoriale realizzata a partire dal 1942, denominata "arco di contenimento di Quartu Sant'Elena" (Fig. 7), che poteva far affidamento su 107 manufatti difensivi in calcestruzzo armato, ai quali occorre aggiungere altri edifici militari come Posti di Avvistamento e le batterie C165 di Capitana e la batteria Carlo Faldi a *Is Mortorius*, disposti su due linee, la prima a ridosso della linea di costa e la seconda più arretrata nell'entroterra. Organizzate in 19 capisaldi, la rete di difesa disegna una linea di difesa priva di soluzioni di continuità che ha inizio ad est con il caposaldo C01 chiamato "Agrigento" e si conclude ad ovest lungo la spiaggia del Poetto con il caposaldo C19 chiamato "Carcangiolas", costituito da 4 bunker e affiancato da uno sbarramento anticarro con il compito di contrastare un eventuale sbarco o l'arrivo di mezzi dalla strada litoranea di Carbonara.



Fig. 4- Ripresa con drone del nuraghe Diana e del promontorio di *Is Mortorius* (foto di N. Paba, 2024).



Fig. 5- Bunker, con feritoia orizzontale edificato con le sembianze di un nuraghe (foto di N. Paba, 2024).



Fig. 6- Vedetta edificata con le sembianze di un nuraghe (foto di A. Pirinu, 2024).

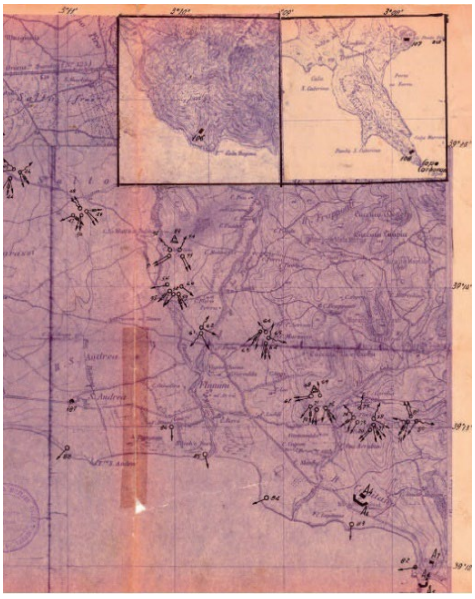


Fig. 7- Mappa IGM (AUSSME, Roma).

2. Rilievo integrato per la rappresentazione del paesaggio militare di *Is Mortorius*

Qualsiasi iniziativa finalizzata alla tutela e la valorizzazione necessita innanzitutto di una conoscenza approfondita delle vicende e dei caratteri costruttivi del patrimonio storico architettonico esistente. Oggigiorno lo studio dell'architettura e del paesaggio militare può attualmente far affidamento su metodi ampiamente collaudati e strumenti di acquisizione dei dati caratterizzati da una elevata precisione. Diviene pertanto determinante, al fine della buona riuscita dell'indagine, la scelta delle procedure da adottare in funzione degli obiettivi prefissati.

Nel caso in esame, la presenza di strutture militari fuori terra, parzialmente interrate e sotterranee distribuite in un'area ampia e disomogenea sotto l'aspetto morfologico, suggerisce l'impiego di differenti metodologie integrate per il rilievo e la rappresentazione delle forme architettoniche e della matericità, degli spazi interni e del funzionamento di questi sistemi funzionali ideati con una forte componente industriale adattata ai luoghi ed a un necessario mascheramento.

La procedura adottata impiega e fa convergere in un'unica banca dati conoscitiva le ricognizioni UAV, finalizzate alla costruzione di un modello digitale dal quale estrarre gli elaborati grafici rappresentativi del contesto ed integrare le misurazioni interne, il rilievo strumentale con scanner laser per una lettura dei percorsi sotterranei e dei volumi dei singoli bunker, il rilievo diretto con gli strumenti tradizionali e i disegni dal vero realizzati con l'impiego d tecniche differenti (acquarello, disegno a matita e a penna) per cogliere, attraverso un'analisi multisensoriale, i caratteri del luogo.

I risultati dell'indagine, nel loro insieme, compongono un mosaico utile e funzionale ad una corretta conoscenza del patrimonio materiale e immateriale delle guerre del ventesimo secolo. Un modello rappresentativo del set di disegni realizzato in occasione di un primo sopralluogo è proposto nella figura 9 che mostra una combinazione affidata alla rielaborazione, attraverso impiego di software Procreate, di un'immagine aerea ed una composizione di espressioni grafiche realizzate dal gruppo di lavoro e affidate al disegno tradizionale.

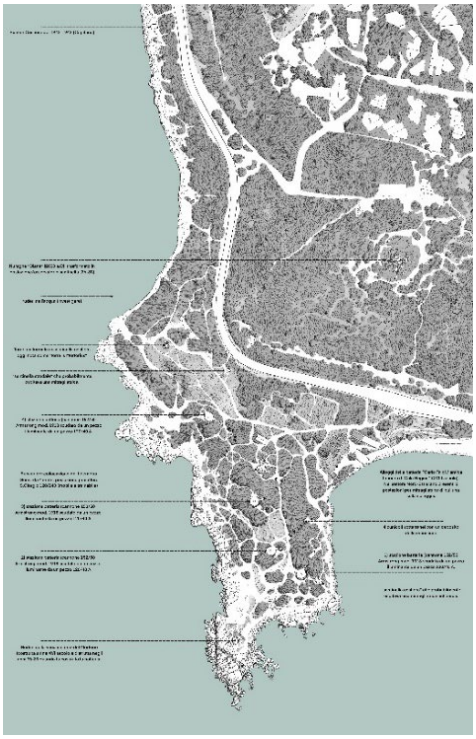


Fig. 8- Il patrimonio "visibile" presente nell'area di *Is Mortorius* (elaborazione grafica di G. Sanna, 2024).

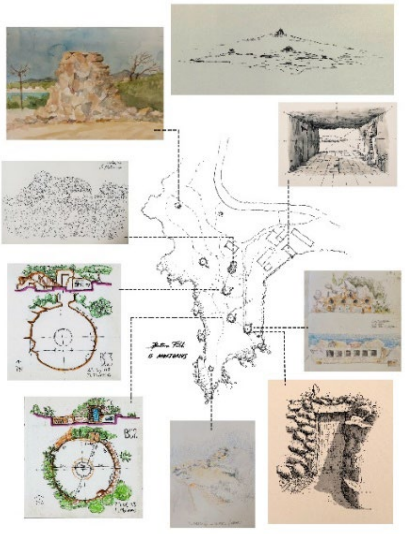


Fig. 9- Indagine sul campo (Elaborazione e restituzione grafica a cura di E. Chiavoni, A. Martínez-Medina, A. Pirinu e G. Sanna, 2024).



Fig. 10- Modello digitale dell'intera area di studio e del bunker "nuraghe" (elaborazione grafica di N. Paba, 2024).

2.1. Sistemi UAVs per il rilievo e la rappresentazione digitale dei luoghi

La scala del progetto dei sistemi difensivi realizzati durante la Seconda Guerra mondiale è quella territoriale. La conoscenza di questo patrimonio non può pertanto prescindere da una lettura estesa ad un contesto più ampio di quello riferibile alla singola architettura.

Questa lettura può avvenire su base cartografica, o attraverso la realizzazione di ricognizioni con sistemi UAVs che consentono la costruzione di modelli grafici multi-scalari.

Un sopralluogo finalizzato all'individuazione dell'area di studio ha preceduto la ricognizione con drone DJI Mini 2, un velivolo con una massa al decollo (MTOM) di 249 grammi, dotato di una fotocamera con sensore da 1/2,3" e risoluzione di 12,4 MPX, con rapporto d'aspetto di 4:3 e un campo visivo (FOV) di 83°, equivalente a una lunghezza focale di 24 mm nel formato pieno (35 mm).

Le operazioni sul campo sono state condotte in due passaggi distinti e hanno restituito due distinti rilievi: uno a scala territoriale per la definizione di un modello dell'area di studio e uno a scala architettonica finalizzato all'acquisizione di un maggior dettaglio descrittivo per il nuraghe Diana, il bunker e la vedetta (figg. 4, 5 e 6). Il rilievo territoriale è stato suddiviso in due macroaree, ottimizzate in base all'autonomia di volo del sistema aereo senza pilota (UAS). È stata impostata una traiettoria a griglia incrociata con altitudine variabile per mantenere una distanza costante di 30 metri dalla superficie, garantendo una risoluzione a terra (GSD) di 1,1 cm/pixel.

In base a questi parametri, sono state definite la velocità e la distanza tra le strisciate parallele, assicurando una sovrapposizione del 65% tra fotogrammi contigui. Per il rilievo a scala architettonica, sono state eseguite orbite a bassa quota ad un'altezza di 15 metri. Successivamente si proceduto all'elaborazione dei dati.

Le immagini sono state elaborate seguendo un processo SfM (Structure from Motion) utilizzando il software Agisoft Metashape Professional versione 2.1.1. Le immagini sono state analizzate e filtrate in base ad un criterio di stima della qualità, escludendo fotografie mosse o sfuocate. Successivamente, si è proceduto con la costruzione della nuvola sparsa.

Gli esiti del rilievo alla scala territoriale hanno prodotto una nuvola sparsa di 2,8 milioni di punti, che, una volta processati, hanno restituito una nuvola di punti densa di 55 milioni di punti.

Il rilievo a scala architettonica ha generato: per il "Nuraghe Diana", una nuvola sparsa di 1,8 milioni di punti e una nuvola densa di 8,7 milioni di punti; per il bunker con sembianze di nuraghe, una nuvola sparsa di 1,5 milioni di punti e una nuvola densa di 7,5 milioni di punti; per la vedetta, una nuvola sparsa di 1,7 milioni di punti e una nuvola densa di 7,4 milioni di punti.

2.2. Il rilievo cromatico per la conoscenza del patrimonio materiale e immateriale

Ripercorrere la storia attraverso il disegno, a tratto in bianco e nero o a pennello con il colore, ha consentito di appropriarsi degli spazi e di comprendere le valenze sia materiali che immateriali del patrimonio. Sono state svolte sul campo attente osservazioni grafiche dirette attraverso disegni dal vero realizzati con metodi e tecniche diverse, a volte integrate, con l'obiettivo di cogliere soprattutto l'espressività che il luogo rimanda. La conoscenza diretta attiva sempre un processo critico di analisi senza eguali; come un esploratore affronta un caso di studio così il processo del disegno conduce alla ricerca di tracce, segni, impronte, tutte quelle indicazioni che sono utili per la comprensione del sito. Queste architetture industriali, a volte considerate patrimonio scomodo per la triste memoria che trasmettono ancora oggi, ci raccontano conoscenze radicate nel tempo sul territorio, tradizioni culturali anche intangibili dei manufatti e del paesaggio nel quale sono immersi. È necessario documentare questo singolare paesaggio naturale e artificiale per divulgare e diffonderne i valori sperando che conducano ad una maggiore consapevolezza da parte delle amministrazioni territoriali per costituire la premessa di sviluppi futuri. Il paesaggio naturale nel quale sono immersi i bunker è costituito di piante di cactus, rocce e vegetazione spinosa tipica del territorio sardo e si trova, per la maggior parte, a picco sul mare godendo di visuali e atmosfere uniche. Esiste un forte contrasto tra queste architetture articolate nelle forme e nelle geometrie e il paesaggio naturale marino che le circonda che rimanda, percettivamente, a sensazioni di ordine e silenzio; la percezione dall'alto verso il basso nell'area di *Is Mortorius*, dalla posizione dei bunker al mare offre una vista mozzafiato. Questa vista sul mare, unica, fa comprendere anche come venivano scelti i luoghi per posizionare in modo strategico tali fortini. Le operazioni che si svolgono sul campo consentono di cogliere, anche in modalità tattile, le pietre rugose, rocciose, le aridità del suolo, ampliando, anche inconsapevolmente, la nostra conoscenza. La loro registrazione grafica è stata svolta tramite disegni emotivi, sensibili con il colore; è proprio dal coinvolgimento emozionale che derivano le migliori rappresentazioni per tradurre l'atmosfera del luogo. L'espressività che si trascrive con l'acquarello è unica perché riesce bene a descrivere le trasparenze e le diverse intensità luminose e le ombre. L'ambiente è pieno di tonalità e valori cromatici diversi che, pur nella loro continua mutevolezza, consentono di riconoscere i diversi panorami. Il rilievo cromatico delle architetture industriali e del paesaggio che le ospita aggiunge informazioni a ciò che è stato rilevato con metodologie digitali integrate. La rappresentazione artistica, infatti, racconta i riflessi e gli effetti di variazione della luce sui diversi materiali nel modo, forse, più spontaneo e corretto. La pietra, il materiale del quale le architetture sono composte, restituisce i suoi colori e il suo stato di conservazione. Interessante il contrasto tra le tonalità di grigio, di beige, di marrone dei materiali utilizzati per le costruzioni dei bunker con il colore azzurro del cielo. È sempre necessario per chi si occupa di conoscenza del patrimonio implementare le tecniche e i metodi di rappresentazione nello sforzo di esprimere il carattere di stratificazione del paesaggio, anche evidenziando una natura oggettiva e soggettiva per riportarne una fedele descrizione. Questo metodo di studio dimostra come il disegno, grazie all'operazione di sintesi che gli è propria, rappresenti un potente mezzo per indagare le trasformazioni del paesaggio attraverso le diverse fasi che in esso si sono sovrapposte con lo scopo di dare forma tangibile a ciò che tangibile non è, cioè il tempo. Infatti, se si vuole presentare un luogo, come una parte di uno spazio che ha una forma e un significato è necessario rappresentarlo considerando anche la sua dimensione temporale. La reale descrizione di un paesaggio contiene la storia e l'insieme dei fatti che hanno lentamente contribuito a determinarne l'aspetto e la forma con la quale si presenta oggi alla nostra vista.



Fig. 11- Disegno ad acquarello (elaborazione grafica di E. Chiavoni, 2024).

2.3. Un disegno «ibrido» per leggere e comunicare il paesaggio militare

Gli strumenti digitali e gli strumenti tradizionali possiedono qualità che, combinate, danno vita a un modello grafico "ibrido" che presenta al contempo rigore scientifico ed espressività. Unire l'accuratezza metrica dei sistemi di rilevamento con la potenza comunicativa del disegno a mano libera è oggi possibile all'interno di un ambiente digitale. Oltre all'integrazione degli strumenti è necessario individuare un corretto processo di scomposizione e ricomposizione grafica degli elementi naturali e artificiali che insieme costituiscono il paesaggio militare. Questo è quanto stato realizzato per lo studio "tra storia e disegno" del promontorio di *Is Mortorius*, dove numerosi interventi hanno modificato la morfologia dell'area, il rapporto tra pieni e vuoti, e tra superficie e sottosuolo. La separazione per *layer* degli strati visibili e invisibili facilita la comprensione dei valori di questo sistema pluristratificato, come si mostra in figura 12, dove le architetture militari si integrano con il contesto naturale e la topografia del terreno.

Nell'immagine proposta, il livello inferiore mostra, attraverso una rappresentazione digitale *point cloud*, la grande complessità del territorio. Tuttavia, in questa prima lettura appare difficile distinguere chiaramente le singole strutture e comprendere le relazioni spaziali e strategiche tra gli elementi; questo avviene nel livello intermedio che evidenzia le interconnessioni tra le diverse strutture militari attraverso la mappatura dei percorsi. Gli spazi negativi dei sentieri, sviluppati tra rocce e macchia mediterranea, rivelano la fitta trama che unisce ciascuno degli elementi della batteria Carlo Faldi, compresi i ricoveri nascosti nel sottosuolo. Infine, il livello superiore attraverso un disegno semplificato delle curve di livello e l'isolamento grafico delle strutture militari dal contesto naturale, facilita una più chiara comprensione del loro posizionamento strategico e della loro funzione. Quest'ultimo strato informativo evidenzia la posizione sopraelevata del telemetro, l'ordinata disposizione delle piazzole in un arco tattico e le direzioni di controllo delle garitte di guardia, mostra l'organizzazione gerarchica e strategica delle strutture attraverso la scomposizione e il dialogo tra i vari livelli e comunica efficacemente le peculiarità del patrimonio militare del XX secolo.

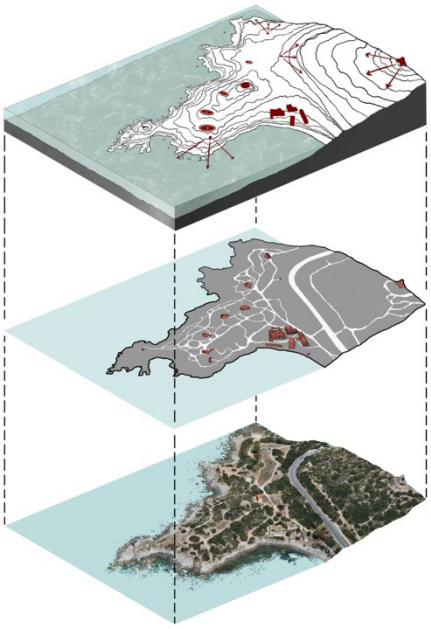


Fig.12- Rappresentazione "ibrida" dell'area di studio (elaborazione grafica a cura di G. Sanna, 2024).

3. Conclusioni

Il sito pluristratificato di *Is Mortorius* ha richiesto l'applicazione di metodologie integrate per la conoscenza e la rappresentazione del patrimonio esistente. Un primo mosaico costituito da restituzioni fotogrammetriche dell'intera area, schizzi, sintesi su base cartografica e disegni ad acquarello, ha posto le basi per i successivi approfondimenti su batterie e bunker che, a seguito di un recente intervento di recupero, presentano un buon stato di conservazione.

La caratteristica peculiare dell'intero compendio è il mascheramento determinato dalla totale o parziale condizione "interrata" di queste strutture in calcestruzzo armato e dal loro ricoprimento con pietra locale.

Questa condizione fa sì che l'intero sistema, oggi usato come area ricreativa e punto di vista privilegiato sul paesaggio costiero, assomigli ad una grande roccia sul mare della quale, da un lato, il restauro ha in parte cancellato le tracce che il tempo lascia sulla geometria delle strutture, da un altro lato il tempo, che fa invecchiare i materiali, cambia il colore e la trama della superficie, ne ha, diffusamente, omogeneizzato il cromatismo.

Bibliografia

Atanasio Guisado, A. (2017) *Arquitectura defensiva del siglo XX en el Campo de Gibraltar. Implantación territorial, análisis tipológico y valor patrimonial de los búnkeres* [Tesi doctoral, dir. F.M. Arévalo]. Sevilla, Universidad de Sevilla, https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/71055 (última consulta 21-settembre-2024).

Cabezas Sánchez, A. (2013) *La defensa de la costa a Catalunya durant la Guerra Civil (1936-1939)*, Tesis doctoral, dir. J. Villaroya, Barcelona: Universidad de Barcelona, Barcelona,
https://www.tesisenred.net/handle/10803/129446 (última consulta 24-settembre-2024).

Caldarone, A., Empler, T., Felli, R. E., Ferrari, M. & Giusti, G. (2024) *L'isola d'Elba nella II guerra mondiale. Studi e riflessioni a 80 anni dallo sbarco del 17 giugno 1944*. Roma, DEI, Tipografia del Genio Civile.

Caniglia, M., R. (2024) Il sistema difensivo delle casematte in Calabria negli anni Quaranta del Novecento: i silenziosi avamposti del promontorio di Punta Alice. In: *Defensive Architecture of the Mediterranean*/Vol. XVI/Islami, Veizaj (Eds.), vol.16, Proceedings of the International Conference on Fortifications of the Mediterranean Coast, FORTMED 2024, pp. 37-44.

Carro, G. & Grioni, D. (2001) L'arco di contenimento di Quartu Sant'Elena. Fortificazioni della Seconda guerra mondiale in Sardegna. *Bolletino Geografico della Sardegna*, 2001, 2, pp. 1-51.

Empler, T., Caldarone, A., Fusinetti, A. (2022) Valorizzare i paesaggi di guerra. Un Virtual Historic Environment per il patrimonio elbano della Seconda Guerra Mondiale. Enhancing war landscapes. A Virtual Historic Environment for Elba's Second World War heritage. *Disegnare Idee Immagini*, vol. 65, pp. 68-81.

Gil-Piqueras, T., Rodríguez-Navarro, P., Cabrera Revuelta, E., Gandía Álvarez, E. (2022) Preliminary Studies of the Coastal Defenses of Cullera's Cape Built during the Spanish Civil War: From Historical Study to Formal Analysis. *Heritage*, 2022, 5, pp. 3.032–3.048.

Grioni, D. & Carro, G., (2014) Fortini di Sardegna. Storia di un patrimonio da salvaguardare e valorizzare. Dolianova. Cagliari, Edizioni Grafica del Parteolla.

Martínez-Medina (2016) *Arquitecturas para la defensa de la costa Mediterránea (1936-1939)*. Catálogo de la exposición. Alicante, Universidad de Alicante.

Martínez-Medina, A. & Pirinu, A. (2017) Segni e tracce nel paesaggio delle guerre moderne. Un appello in difesa delle architetture militari. In: D. Fiorino (ed.), *Military Landscapes: Scenari per il futuro del patrimonio militare*. Milano, Skira, pp. 1-12.

Martínez-Medina, A. & Pirinu, A. (2019) Entre la tierra y el cielo. Arquitecturas de la guerra en Cerdeña: un paisaje a conservar. Between earth and sky. War architectures in Sardinia: a landscape to preserve. ARCHISTOR Anno VI. pp. 88-125.

Morlacchi, M., Lemme, R. (2005) *L'immagine di un'isola. Architettura colore arredo*. Roma, Gangemi.

Pirinu A., Martínez-Medina A., & Paba, N. (2020) Integrated Digital Survey for The Knowledge and Enhancement of The IIWW Heritage. The Natural Park Molentargius-Saline (Cagliari, Italy). Proceedings Of 2020 Imeko TC-4, *International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage*.

Pirinu, A., Argiolas, R., & Paba, N. (2021) Digital Tools for The Knowledge and Enhancement of WWII Heritage. The Case Study of Bosa in The West Coast of Sardinia (Italy). *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci*., XLVI-M-1-2021, 547–554, https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-M-1-2021-547-202.

Pirinu, A., Argiolas, R., & Paba, N. (2022) Design models and landscape form of Sardinian IIWW Heritage. The Simbirizzi Lake in the territory of Quartu Sant'Elena. In: Parrinello, S., Barba, S., Dell'Amico, A., di Filippo, A. (ed(s).) *D-SITE: drones - systems of information on cultural heritage for a spatial and social investigation*. Pavia, Pavia University Press, pp. 48-56.

Rassu, M. (2023) *Cantine, Caverne, Bunkers. La protezione antiaerea a Cagliari durante la Seconda Guerra Mondiale*, Oristano, ARSOM.

Rolf, R. (1985) *Het Duitse Fortificatie-ontwerp 1935-1945*. Amsterdam, Beettsterwaag.
- (1988) *Atlantic Wall Typologys*. London, Prak Publishings.

Virilio, P. (2012) *Bunker Archeology*. New York, Princenton Architectural Press (orig. Bunker Archeology. París, Centre de Creation Industrielle, 1975).

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20350

Il Circeo e il sistema di fortificazione di torri sul mare

Maria Grazia Cianci[a], Daniele Calisi[b], Sara Colaceci[c], Stefano Botta[d], Michela Schiaroli[e]
Università degli Studi Roma Tre, Dipartimento di Architettura, Roma, Italia, [a]mariagrazia.cianci@uniroma3.it, [b] daniele.calisi@uniroma3.it, [c] sara.colaceci@uniroma3.it, [d] stefano.botta@uniroma3.it, [e]michela.schiaroli@uniroma3.it

Abstract

The coastal fortification system of towers in San Felice Circeo represents a significant historical and architectural heritage, bearing witness to the strategic position of the area along the Tyrrhenian coast. At the heart of this system lies the Napoleonic Fort, a defensive structure dating back to the 19th century, which still remains partially hidden within the surrounding landscape.
Built during the Napoleonic era in 1806, the Napoleonic Fort was designed to defend the coastline from potential seaborne attacks. Over time, the fort has undergone several transformations and restorations, which have preserved its structural integrity, allowing visitors to closely admire this historical symbol of San Felice Circeo. However, despite its importance, the fort is currently in a deteriorating condition.
This contribution delves into the study of the system of towers and batteries in the Circeo area, with a particular focus on the Napoleonic Fort. It combines the analysis of available bibliographical and iconographic sources with detailed surveying and three-dimensional reconstruction of the structure in its current state, as part of a broader research initiative by the Prin Costa|MED[1] project. The pilot area of this research includes the Sabaudia dune and a section of the Circeo cliff. In this context, the integration of advanced digital surveying techniques, such as laser scanning and terrestrial photogrammetry, allows for a deeper investigation of the site, capturing and delivering a detailed depiction of its current condition. This model proves essential for examining the fort's transformations and preservation in relation to its original form and also serves as a tool for potential future restoration efforts. The photorealistic replica of the site can thus be understood as a new form of archival source, capturing the structure at a specific moment in time, and becoming a tool for research, management, and dissemination of the built heritage.

Keywords: Circeo, Fortino Napoleonico, digital survey, 3D reconstruction.

1. Introduzione

Il patrimonio difensivo italiano è, purtroppo, fortemente compromesso a causa delle sue funzioni di utilizzo, basti pensare alla distruzione arrecata alle torri costiere laziali durante la dominazione napoleonica per mano delle flotte inglesi, ma anche i danni arrecati durante la Seconda guerra mondiale che causò tra le altre la distruzione della Torre di Fogliano presente nell'area oggetto della ricerca (De Rossi, 1971). In quest'ottica il sistema difensivo con torri lungo la costa laziale è una manifestazione affascinante della strategia militare e architettonica sviluppata nel corso dei secoli. Queste torri, costruite in epoche differenti, rappresentano non solo un'indicazione della tecnologia militare dell'epoca, ma anche del contesto storico e sociale in cui sono state erette, come le incursioni dei pirati Saraceni prima e dei Turchi poi, che depredavano le popolazioni delle coste del Lazio sin dall'Alto Medioevo, costringendo lo Stato Pontificio a provvedere alla costruzione di torri litoranee (De Rossi, 1971; Grillo, XVII sec.).

BY-NC-SA

2. Sistema difensivo del promontorio del Circeo

Ad oggi le torri costruite a difesa del promontorio del Circeo sono in totale sei, di cui soltanto una conserva la struttura originale, cioè Torre Paola, voluta da Papa Paolo III nella prima metà del XVI secolo (Grillo, XVII sec.). Le altre torri hanno subito ricostruzioni o restauri significativi e una di esse, Torre Moresca, è attualmente ridotta in rovina, con solo il basamento che ne testimonia l'esistenza. L'ordine di edificare il sistema difensivo fu impartito da Papa Pio IV (1559-1565) per contrastare le incessanti incursioni dei pirati Saraceni. Nel 1562, attraverso un Breve papale, delegò ai signori di Sermoneta e San Felice il compito di costruire le prime quattro torri: Paola, Fico, Cervia e Moresca. Nel Breve di Pio IV, datato Roma, 8 gennaio 1562, si legge:

"Non senza grave angoscia d'animo, considerando quante numerose e quanto frequenti calamità, iattura e danno i pirati turchi e africani abbiano apportato [...] vi ordiniamo di costruire a vostre spese (Nicolò e Bonifacio Caetani) una torre di difesa presso il Lago di Paola, un'altra sulla rupe del Fico, un'altra alla Cala Cervia e una quarta alla Cala Moresca o Concolino, tutte idonee ad accogliere guarnigioni di soldati".

Le quattro torri situate alla base del Promontorio presentano una forma rotonda, mentre quelle nella pianura hanno una base quadrata o rettangolare, orientate in modo da avere uno spigolo rivolto verso il mare per offrire una maggiore protezione contro le cannonate provenienti dalle navi nemiche.

La costruzione delle torri fu finanziata dai Caetani, mentre il munizionamento e il mantenimento delle guarnigioni erano a carico dello Stato Pontificio.

Torre Vittoria, invece, fu edificata nel terzo decennio del XVII secolo, mentre quasi contemporaneamente la vecchia Torre Olevola venne demolita per fare spazio a una nuova costruzione più ampia ed efficiente.

Le torri hanno un diametro che varia tra i 7,50 e i 9 metri, con un'altezza compresa tra i 12 e i 15 metri. La base, progettata a "scarpa" e priva di aperture, si elevava su due piani oltre alla piazza d'armi, con un coronamento dotato di beccatelli e caditoie, protetto dallo "scudo". L'ingresso era situato al primo piano e vi si accedeva tramite un ponte levatoio.

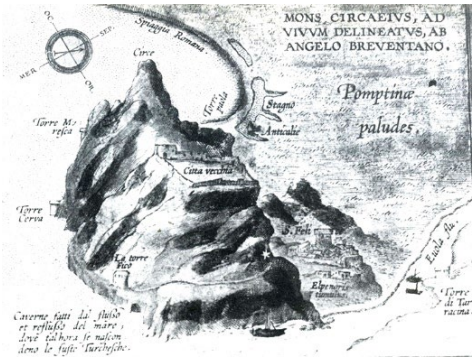


Fig. 1 - Il promontorio del Circeo in una carta del XVI sec. di Angelo Breventano: *Mons Circaeius ad vivum delineatus* (Ortelius, 1603 [1595]).

3. Aspetti geometrici in pianta e alzato

Le torri costiere laziali, erette principalmente tra il XV e il XVII secolo, presentano varie forme geometriche in pianta, ciascuna studiata per rispondere a specifiche esigenze difensive e strategiche. La forma più comune è quella circolare, scelta per la sua efficacia difensiva che garantisce una distribuzione omogenea della pressione e permette di resistere meglio all'impatto di proiettili grazie all'assenza di angoli retti. Internamente, questa tipologia permette di ottimizzare gli spazi per l'alloggiamento delle truppe, delle armi e dei rifornimenti, consentendo una efficiente movimentazione interna.

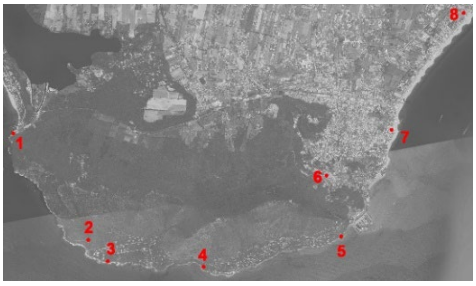


Fig. 2- Aerofotogrammetria con indicazione del sistema difensivo del promontorio del Circeo. 1 Torre Paola, 2 Torre Moresca, 3 Batteria Moresca, 4 Torre Cervia, 5 Torre Fico, 6 Torre dei Templari, 7 Torre Vittoria, 8 Torre Olevola (elaborazione degli autori, 2024).

Le torri poligonali, spesso a forma quadrangolare, esagonale o ottagonale, offrono una superficie di avvistamento più ampia e possono includere più feritoie per l'artiglieria, sfruttando al massimo i

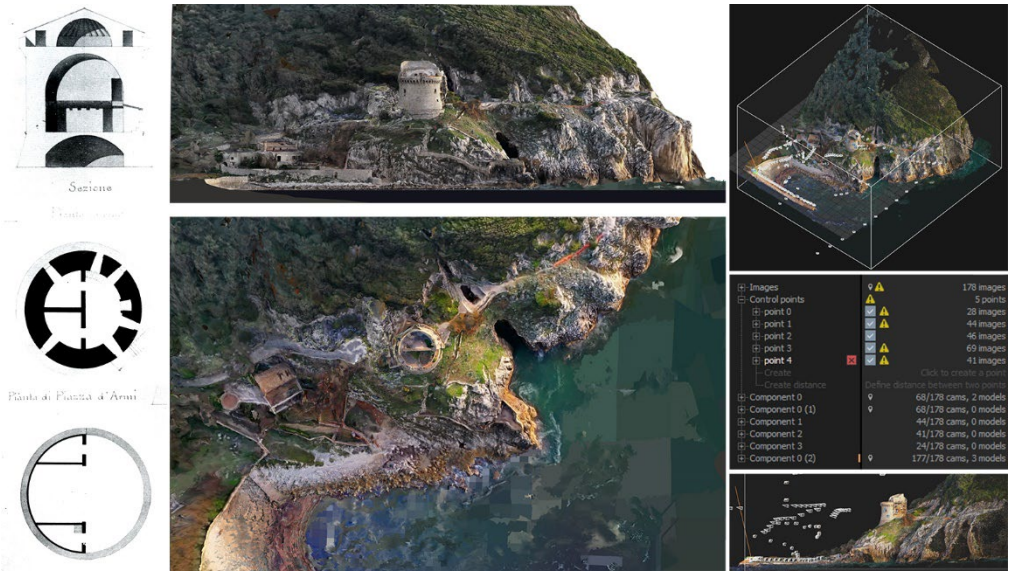


Fig. 3 - Disegni del XIX sec. di Torre Paola (De Rossi, 1971, fig. 165) e rilievo SfM ottenuto da tre video da drone, recuperate in rete, e fotografie ad alta risoluzione da terra con Canon Eos 6D (elaborazione grafica degli autori, 2024).

punti di accesso al fuoco. Questa configurazione facilita anche la creazione di accorgimenti difensivi più complessi, come i parapetti, disposti in modo ottimale lungo i lati.

Le feritoie sono distribuite lungo le pareti per offrire una migliore linea di fuoco della linea.

Nella sezione verticale, la maggior parte delle torri presenta un profilo slanciato, talvolta sormontato da merlature o parapetti che svolgono una duplice funzione estetica e difensiva. L'altezza delle torri, oltre a permettere una visuale maggiore, gioca un ruolo cruciale anche nella progettazione delle rampe e delle scale interne per consentire un rapido accesso ai livelli superiori, dove si trovano normalmente le postazioni di avvistamento e di armamento. In molte torri, come Torre Astura, le scale sono realizzate in pietra, permettendo un accesso sicuro anche sotto attacco. Inoltre, è spesso usato un sistema di rinforzi in pietra e malta che aumenta la stabilità e la resistenza all'azione del mare e delle intemperie.

Un altro elemento significativo è dato dai contrappesi per l'ancoraggio delle strutture al suolo, in particolare per quelle erette in prossimità del mare, dove le forze erosive possono essere intense. Pertanto, le sezioni basali delle torri spesso presentano un ingrossamento rispetto al resto della struttura. La campagna di rilievo si è concentrata al momento sui siti maggiormente accessibili (Torre Paola, Batteria Moresca, Torre Vittoria e Torre Olevola). Per la realizzazione di campagne fotogrammetriche si è fatto uso di una Canon 6D, con obiettivo a lunghezza focale variabile.

3.1. Torre Paola

Torre Paola fu la prima delle torri del monte Circeo ad essere costruita. L'autorizzazione alla sua edificazione in epoca medievale fu data da Papa Paolo III dal quale prese il nome; tuttavia, non è certo a questa seguì una prima costruzione. La prima indicazione certa della sua edificazione è riscontrabile nei documenti del gennaio 1562 quando Papa Pio IV incarica la famiglia Caetani di detta costruzione. Questa, infatti, risulta pronta a fronteggiare le incursioni dei pirati già nel febbraio 1563.

Torre Paola, che troneggia sul canale di Nerone di congiunzione con il lago di Sabaudia dall'alto della rupe, è attualmente proprietà privata e non accessibile.

Il progetto di fotomodellazione del sito ha preso in considerazione sia fotografie scattate dal molo del Canale di Nerone, che corre parallelamente alla torre stessa, sia fotogrammi estrapolati da

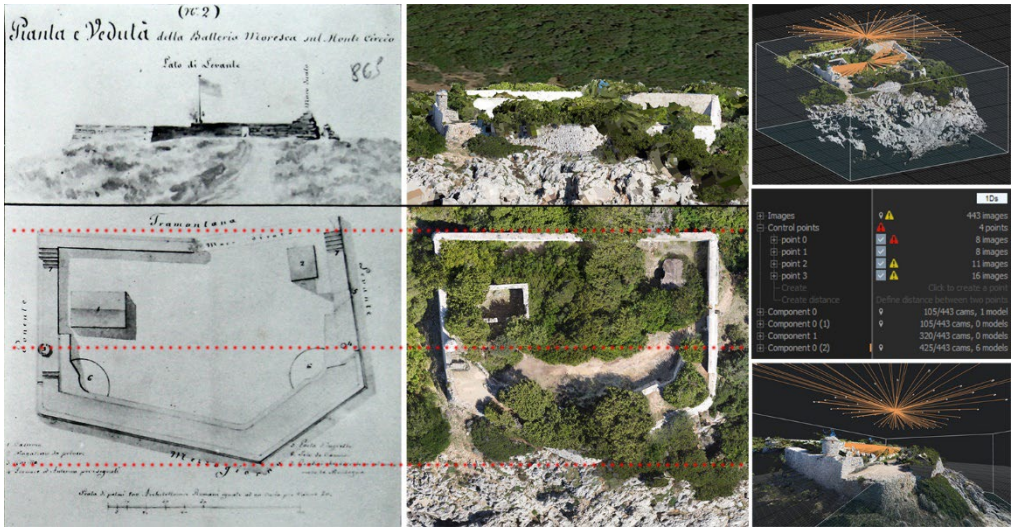


Fig. 4- Disegno di Progetto della Batteria Moresca e confronto con gli ortofotopiani, in cui si evidenzia una diversa misura in larghezza. Nuvola di punti e mesh ottenuta con la doppia campagna di rilievo fotografico (elaborazione grafica degli autori, 2024).

alcuni video amatoriali recuperati in rete e che riprendono in diversi piani sequenza la torre da posizioni in quota e variegate rispetto alla linea del molo. Il software di modellazione SfM, come per la batteria moresca, ha suddiviso i gruppi di foto in base alla provenienza: 3 video e campagna fotografica da terra. A causa della diversa risoluzione dei fotogrammi delle riprese e delle foto con Canon Eos 6D non si è trovato allineamento tra le quattro componenti, ed è dunque, stato necessario il riconoscimento manuale di 5 punti caratteristici su 200 scatti per recuperare l'allineamento di tutti i fotogrammi caricati, eccetto uno. Il modello ottenuto, seppure con texture non ad alta risoluzione per le superfici dei piani orizzontali (ricavate dalle immagini da drone) è completo, soprattutto per la componente paesaggistica di grande rilevanza in questo luogo di transizione tra scogliera e duna, con persistenze archeologiche.

3.2. Batteria Moresca "il Fortino"

L'invasione napoleonica alterò profondamente gli equilibri dell'Italia settecentesca, portando lo Stato Pontificio vicino alla scomparsa definitiva. Durante il pontificato di Pio VII, lo Stato continuò a funzionare fino al 1808, quando l'Italia subì una nuova invasione francese. Sotto la dominazione francese, con Papa Pio VII prigioniero in Francia, lo Stato Pontificio venne suddiviso in prefetture, e il Circeo fu amministrato da un sottoprefetto con sede a Velletri. In questo contesto, il Promontorio divenne strategico come avamposto di confine, e presso l'acropoli fu installato un telegrafo ottico, noto come telegrafo di Chappe.

Il colonnello filofrancese Vincentie di Ginevra, di stanza a San Felice, fortificò il paese per prevenire incursioni napoletane, già presenti a Terracina. Rafforzò la torre del centro storico con cannoni e costruì due batterie costiere, dotate di quattro cannoni. Furono accumulate scorte di viveri, armi e munizioni, e rinforzate le guarnigioni locali.

Nel 1809, le tre torri di difesa costiera, Torre Moresca, Torre Cervia e Torre Fico furono neutralizzate dagli inglesi, rendendo il Circeo una base per corsari e inglesi, che saccheggiavano il territorio pontino, ostacolando il commercio. Per contrastare la pirateria, l'autorità francese ordinò al colonnello Vincentie di costruire due batterie di artiglieria ai piedi del promontorio. Con l'impegno di circa 700 soldati, furono realizzati i "fortini" di Cervia e Moresca, quest'ultima ancora esistente, a testimonianza delle fortificazioni erette in un periodo di conflitti e instabilità.

Documenti del 1817 mostrano che le Batterie Cervia e Moresca furono costruite nel 1811 per sostituire le omonime torri ormai in rovina. Realizzate in fretta, necessitarono presto restauri

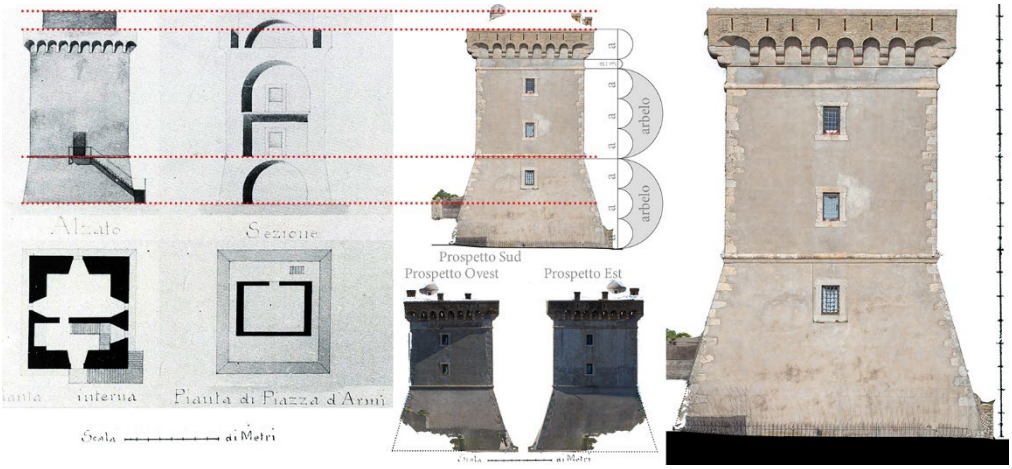


Fig. 5- Disegni del XIX sec. di Torre Vittoria (De Rossi, 1971, fig. 173) e rilievo Reality Based. Il confronto evidenzia una difformità nella parte basamentale (elaborazione grafica degli autori, 2024).

significativi: nel 1817 il muro nord della Batteria Moresca era già crollato. La batteria disponeva di due postazioni per cannoni, una garitta, alloggi per soldati e una polveriera.

Il rilievo della Batteria Moresca è stato realizzato sia da terra che con volo di un drone DJI Mavic Mini con una camera da 12 MP, da un'altezza di 25 m e posizione della camera zenitale. Il percorso è stato programmato seguendo linee parallele in direzione nord sud, ortogonali alla linea di scogliera.

La sovrapposizione del 50% tra i fotogrammi ha permesso il riconoscimento di numerosi punti omologhi e la realizzazione di un modello completo dell'impianto murario, ma lacunoso, come spesso avviene, per gli elementi arborei infestanti lo stesso complesso.

A completare il modello 3d, un set di fotografie scattate da terra per ottenere texture migliori nella resa finale, riconosciute tuttavia come un secondo modello separato dal primo.

Per riuscire a collimare le due componenti si è resa necessaria un'operazione di riconoscimento manuale di alcuni punti target vivibili sia dalle foto aeree che da quelle terrestri. Questo ha reso possibile il giusto allineamento di tutti gli scatti e la creazione di un modello unico.

Dal modello sono stati estrapolati pianta e prospetto in ortofoto, al fine di confrontarli con i disegni storici. Dalle comparazioni svolte emerge che il fortino risulta avere proporzioni differenti rispetto al progetto. Se infatti si mantiene coerente la dimensione del lato corto (24,26 m dopo aver trasformato il disegno da palmi romani) il lato lungo risulta essere pari a 34,6 m sul disegno contro i 29,90 m del modello 3d. L'incongruenza può essere dovuta o ad una variante in corso d'opera del progetto, o in alternativa può derivare dai restauri del 1817.

3.3. Torre Vittoria

La Torre Vittoria fu costruita sul mare a San Felice Circeo nel 1631, su commissione del Duca di Sermoneta Francesco IV Caetani, con il progetto dell'architetto Bartolomeo Braccioli. Il nome "Vittoria" potrebbe connettersi alla celebre vittoria riportata durante la Battaglia di Lepanto nel 1571, un evento chiave nella lotta contro la flotta turca. In quell'occasione, Onorato IV Caetani partecipò come Comandante Generale della Fanteria Pontificia, assieme alla nave "Grifona", che per prima ingaggiò battaglia con l'imponente flotta turca.

Nel 1691, Giuseppe Miselli documentò la torre come l'ultima della giurisdizione del Ducato di Gaetano, situata nella pianura vicino alla spiaggia di Terracina. Nel 1720, il Capitano Giuseppe

Nel 1773, era presente un cannone da 6 con 30 palle e 70 casse di polvere. Nel 1792, la guarnigione era composta da diversi soldati, tra cui il caporale Vincenzo Caroccia. Nel 1806, si verificò un episodio in cui una folla rivelò essere fanterie francesi, suscitando panico tra i paesani e dando inizio a un incendio vicino alle mura.

Nel 1809, una flotta inglese, dopo aver tentato di occupare Torre Paola, fu costretta a ritirarsi dopo ore di bombardamento. Nel 1839, il palazzetto costruito da Stanislao Poniatowsky, adiacente la Torre Vittoria, divenne luogo di visita per Gregorio XVI, il quale, dopo aver benedetto i pescatori locali, si riposò presso la torre. Infine, nel maggio del 1853, Papa Pio IX sbarcò presso la torre e visitò il paese, testimoniando l'importanza storica e religiosa della struttura nel corso dei secoli.

Torre Vittoria si trova sul lungomare di San Felice Circeo, con visibilità piena su tre lati. Il sito non è al momento accessibile ed è chiuso tramite una cancellata permeabile alla vista per circa il 50% della parte basamentale. Il quarto lato della torre confina con delle residenze private, rendendo impossibile, pertanto, l'accessibilità per la campagna di rilevamento fotografico.

Gli scatti sono stati realizzati muovendosi intorno al soggetto su 2 traiettorie parallele distanti circa 5 metri, utilizzando due focali differenti per la ripresa d'insieme (24mm) e per le foto di dettaglio (80mm) realizzate soprattutto per le parti più alte, sopra il limite della cancellata.

L'area è vincolata per i voli con drone, e al momento della stesura del paper ancora non si è in possesso dei permessi che permettessero un rilievo aereo della torre a completare quello terrestre. Diversamente da Torre Paola, in questo caso non si trova nessun video da drone sul web, utile a completare il modello 3D.

Il modello tridimensionale ottenuto risulta pertanto lacunoso per le parti nascoste e non accessibili, ma che permette comunque di poter estrapolare un fronte completo e due fronti laterali parziali per il confronto con la documentazione storico archivistica.

Paragonando il prospetto sud del rilievo con quello del De Rossi, è palese la non rispondenza della parte basamentale, che risulta essere alta quasi il doppio e mancante della scala di accesso ad una porta in quota.

3.4. Torre Olevola

Torre Olevola faceva parte del piano di fortificazione della costa promosso dallo Stato Pontificio per volere di Papa Pio V. Originariamente situata presso la foce del fiume Olevola, oggi scomparso, la torre fu ricostruita agli inizi del Settecento e acquisì il nome di Torre Clementina in onore di Papa Clemente XI. Una rappresentazione di questa torre è presente in una mappa disegnata da Leonardo da Vinci, che illustra le aree destinate a un tentativo di bonifica durante il pontificato di Papa Leone X.



Fig. 6- Mappa delle paludi pontine di Leonardo da Vinci del 1515 con in evidenza la Torre Olevola già esistente (*Google Arts & Culture*, 2024).

L'attuale struttura è stata costruita sui resti di una vedetta del XV secolo ed è di forma rettangolare, con dimensioni di 9 x 7 metri e un'altezza di circa 13 metri. Presenta una base a scarpa e due piani con copertura a volta, mentre sopra la piazza d'armi è stata aggiunta una piccola guardiola. Tuttavia, nel 2016, la torre si trovava in condizioni di grave degrado e deterioramento, con mattoni di scarsa qualità che contribuiscono alla sua rovina.

La prima citazione storica della torre risale al 1469, quando si fa riferimento a possibili lavori di costruzione, suggerendo che Torre Olevola potesse essere edificata sulle fondamenta o nei pressi di una vedetta preesistente. Un documento di quell'anno menziona il pagamento a un muratore per lavori legati alla costruzione della torre, confermando la sua esistenza e l'importanza difensiva della struttura nelle operazioni di fortificazione della zona.

La torre ebbe un ruolo significativo nel difendere la costa, in particolare in eventi come il rapimento di 25 abitanti di San Felice da parte di corsari tunisini nel 1720. Dal 1792, la guarnigione della torre era composta da diversi soldati, mentre nel 1802, sotto il comando del sergente Giovan Battista Di Prospero, la torre intervenne attivamente in un attacco contro una nave pirata, costringendo questi ultimi alla fuga.

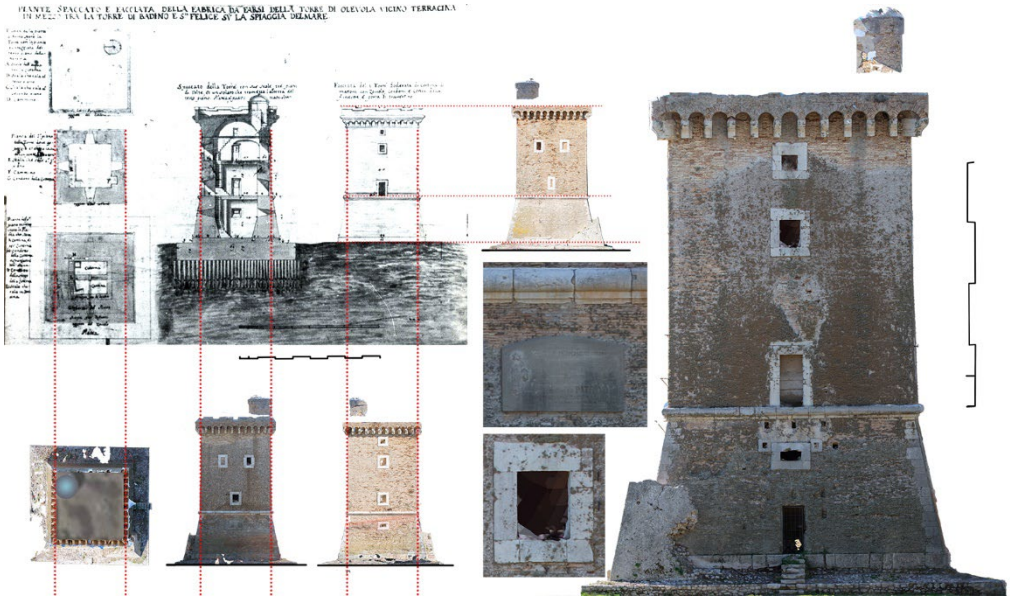


Fig. 7- Progetto di ricostruzione della Torre Olevola del 1701 (De Rossi, 1971, fig. 175) e rilievo fotogrammetrico che evidenzia l'analogia semantico-dimensionale con il precedente storico (elaborazione grafica degli autori, 2024).

Nel corso del XIX e XX secolo, la torre continuò a essere un punto di riferimento, con eventi storici rilevanti tra cui le sanzioni della Società delle Nazioni all'Italia nel 1935, commemorati su una lapide affissa alla torre. Negli anni successivi, la Torre Olevola assunse un'importanza sociale per la colonia marina, nel contesto della salute pubblica. Negli anni recenti, nel 2016, la torre è stata messa in vendita per un importo di 600mila euro, segnalando un ulteriore capitolo nella storia di questo importante patrimonio monumentale.

Per quanto riguardo il rilievo realizzato per la Torre Olevola la situazione è analoga a quella di Torre Vittoria, con il sito inaccessibile e con zone d'ombra nella ripresa. In questo caso è stato possibile poter eseguire una campagna a 280° intorno alla torre, lasciando scoperto il lato sud visibile attraverso scatti più o meno marginali, ma ostacolato dalla possibilità di poter eseguire scatti frontali a causa della inaccessibilità del sito (sotto cantiere) e dalla presenza di un'area militare della marina proprio sul fronte sud.

Tale vicinanza ha anche inficiato la possibilità di un volo con drone per completare la campagna di rilievo, e le richieste di permessi sono state, in questo caso, negate. Tuttavia, il modello tridimensionale è risultato completo e ben fatto, grazie anche al possibile accesso ad un residence privato nel versante orientale, che ha permesso una ottima compagna di copertura fotografica. Le difficoltà maggiori riscontrate hanno riguardato in primis la lontananza dal soggetto a causa della chiusura per cantiere, superate attraverso l'uso di più focali di ripresa. Si è fatta particolare attenzione ad avere set di immagini omogenee e in cui ci fosse sempre la sovrapposizione del 50% tra gli scatti.

In questo modo, immagini di insieme e immagini di dettaglio hanno contribuito alla creazione di un modello dettagliato e texturizzato ad altissima risoluzione.

Il secondo problema in fase di campagna di rilievo è stata la forte diversità di illuminazione dei fronti sud ed est, completamente esposti alla luce diurna, dai prospetti nord e ovest in ombra e in controluce. Si è innanzitutto cercate di trovare un giusto compromesso tra i toni scuri e i bianchi, regolando e calibrando tempo di scatto e diaframma della camera senza andare eccessivamente ad aprire il diaframma stesso e mantenendo una giusta profondità di campo all'interno delle foto. Fare in modo, infatti, che il soggetto scattato non abbia fuori fuoco, ma che rientri interamente all'interno del range della

profondità di campo è essenziale nei processi di SfM per il riconoscimento di punti omologhi.

Altro espediente è stato quello di scattare in formato Raw, e di avere file più versatili per la successiva postproduzione di aggiustamento di esposizione e delle ombre e delle luci, per uniformare le foto ed avere ben evidenti sia le parti più scure che quelle sovraesposte. La restituzione con ortofotopiani ha evidenziato l'aderenza semantica e dimensionale con i disegni storici di ricostruzione datati 1701.

4. Conclusioni

La ricerca storico-archivistica sul sistema difensivo del promontorio del Circeo, condotta come base documentale per il Prin Costa|MED, ha evidenziato una scarsa bibliografia e l'assenza di studi approfonditi sulle singole architetture e sulle loro relazioni come sistema unitario. I disegni e i rilievi reperiti, provenienti da studi più ampi sulla costa laziale, risultano poco approfonditi e mostrano una significativa carenza di analisi sul rilievo e la manutenzione conservativa delle strutture difensive.

Il progetto PRIN, oltre a tutelare il paesaggio costiero attraverso tecnologie innovative per la gestione e la comunicazione del territorio, integra la valorizzazione del patrimonio culturale costruito come parte essenziale del sistema.

Il primo passo è stato aggiornare il rilievo delle strutture difensive dell'area pilota con tecnologie moderne, fornendo una visione più approfondita e attuale, utile per un confronto consapevole con i documenti storici.

Note

(1) Il contributo s'inserisce all'interno di una più ampia ricerca il Prin Costa|MED che tratta le tematiche dell'erosione costiera ed ha come area d'indagine il tratto di costa laziale che si estende da Torre Astura a Terracina. COSTA|Med - Catching Opportunities for Strategic Transformation and Adaptation of Mediterranean coasts, Bando PRIN – Progetti di Rilevante Interesse Nazionale, 2022, NextGenerationEU – Decreto Direttoriale n. 104 del 02/02/2022 e Decreto Direttoriale n. 1409 del 14/09/2022.

Responsabile scientifico del progetto/Ruolo (PI): Maria Grazia Cianci

Partenariato: Unità1: Dipartimento di Architettura - Università degli Studi Roma Tre, Dipartimento di Ingegneria - Università degli Studi Roma Tre, Subunità: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale | ISPRA. Unità2: Dipartimento di Architettura - Università degli Studi "G. d'Annunzio" CHIETI-PESCARA. End-User: Dipartimento della Protezione Civile. Consulenze e collaborazioni: Urban Resilience Research Network | URNet, Fondazione Bruno Kessler-3D Optical Metrology | FBK-3DOM, Studio Balmori Associates, Consiglio Nazionale delle Rcerche-Istituto di Scienze Marine | CNR-ISMAR.

Sito istituzionale: https://architettura.uniroma3.it/ricerca/progetti-di-ricerca/costamed/.

Sito progetto COSTA|Med: https://costamed.uniroma3.it/.

Bibliografia

De Luca, L. (2011) *La fotomodellazione architettonica. Rilievo, modellazione, rappresentazione di edifici a partire da fotografie*. Palermo, Dario Flaccovio Editore.

De Rossi, G.M. (1971) *Torri costiere del Lazio*. Roma, De Luca Editore.

De Rossi, G.M. (1973) *Il Circeo*. Roma, De Luca Editore.

Franco, S., Rossi, E. (2006) *Parco Nazionale del Circeo*. Roma, Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio: Società Geografica Italiana.

Grillo, G.C. (XVII secolo) *Manoscritto*, sulle torri costiere del litorale romano. Conservato nella Biblioteca dellIstituto Storico e di Cultura dell'Arma del Genio (collocazione 37 C, 3259).

Guglielmotti, A. (1886-1893) Storia della Marina Pontificia, vol. I, Roma.

Lanzuisi, T. (1973) Il Circeo nella leggenda e nella storia. Roma, Editrice EEA.

Storia del Circeo, disponibile al: https://www.circei.it/index.html#gsc.tab=0 (consultato: 01/06/2024).

Stroffolino, D. (1999) *La città misurata. Tecniche e strumenti di rilevamento nei trattati a stampa del Cinquecento*. Roma: Salerno editrice.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20351

Complesso nuragico di Palmavera ad Alghero. Rilievo e ricostruzione digitale

Enrico Cicalò[a], Michele Valentino[b], Alexandra Fusinetti[c], Andrea Sias[d], Dario Simula[e], Nicola Corgiolu[f]

[a-b-c-d-e-f] University of Sassari - Department Architecture, Design and Urban planning, Alghero, Italy, [a] enrico.cicalo@uniss.it, [b] mvalentino@uniss.it, [c] amfusinetti@uniss.it, [d] a.sias19@phd.uniss.it, [e] d.simula2@studenti.uniss.it, [f] n.corgiolu@studenti.uniss.it

Abstract

The form and architectural characteristics of the nuraghi and the surrounding walls have been decisive in the studies that initially focused on defensive and fortification aspects. From this, theories on Sardinia's social and economic organization in protohistory developed.
However, considering nuraghi only as defensive structures limits the understanding of their complexity. By abandoning a strictly militaristic view and adopting a broader perspective of the term 'fortress', their polyvalent function and significance, beyond mere military defence, becomes apparent.
In this context, the nuragic complex of Palmavera in Alghero is reinterpreted as an emblematic example of a complex nuraghe, composed of three towers and surrounded by a second concentric wall, known as a structured 'antemurale'. Contrary to the typical linear masonry, the 'antemurale' of Palmavera has a pentagonal shape with towers arranged at its vertices, among which the striking Capanna delle Riunioni.
This study proposes a methodology for the documentation and digitalization of the site, divided into two main phases. The first phase is a detailed photogrammetric survey, capable of recording the morphological and dimensional characteristics of the complex. The second phase is based on advanced three-dimensional modelling, which will make it possible not only to represent the site's current state but also to visualize reconstructive hypotheses based on archaeological theories to explore the original configurations of the nuraghe.

Keywords: survey, digital reconstruction, archaeology, nuragic village of Palmavera.

1. Introduzione

Nell'ambito della ricerca condotta dal laboratorio GRA·VIS LAB (Laboratorio di Scienze Grafiche e Visive) del Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica dell'Università degli Studi di Sassari, parallelamente al processo di candidatura dei "Monumenti della civiltà Nuragica" alla *World Heritage List* del patrimonio universale dell'UNESCO, sono stati rilevati undici siti archeologici della civiltà nuragica (1) appartenenti a diverse tipologie di bene – dai pozzi sacri ai villaggi, dalle tombe dei giganti alle fortezze – al fine di documentare le condizioni di conservazione e proporre strategie di implementazione per la fruizione, compresa quella virtuale, dei diversi beni dislocati sul territorio sardo. Di questi undici siti, quattro – il Nuraghe Appiu a Villanova Monteleone, il Nuraghe Orolo a Bortigali, il Nuraghe Ponte a Dualchi e il Villaggio nuragico di Palmavera ad Alghero – mostrano caratteristiche che li riconducono al concetto di fortificazione.

Lo studio dei nuraghi è stato un tema centrale sin dalle origini dell'archeologia sarda. Nonostante l'evoluzione delle prospettive, da visioni

BY-NC-SA



Fig. 1- a. Vista nadirale da drone del complesso nuragico di Palmavera; b. le tre torri con bastione; antemurale pentagonale con muri interni; d. torri e capanna delle riunioni.

puramente militaristiche a interpretazioni più sfumate e polisemiche, è innegabile che i nuraghi siano caratterizzati da formidabili strutture murarie in pietra. La forma e le caratteristiche architettoniche dei nuraghi, insieme alla loro associazione con le opere di cinta e le relative mura, sono stati elementi fondanti di studi inizialmente incentrati sulle loro caratteristiche fortificatorie e difensive, da cui sono derivate soprattutto le ipotesi sull'organizzazione sociale ed economica della Sardegna protostorica.

Va ricordato, però, che il generico riconoscimento dei nuraghi come strutture esclusivamente difensive assume una dimensione diversa quando si va oltre una rigida definizione militarista e si abbraccia la ricchezza semantica connaturata nel termine 'fortezza'. Questa prospettiva più ampia rivela il ruolo multiforme dei nuraghi, evidenziando il loro significato al di là della semplice fortificazione militare.

In questa prospettiva viene riletto il complesso nuragico di Palmavera ad Alghero (Fig. 1a), tipico esempio di nuraghe complesso costituito da tre torri con bastione (Fig. 1b) e che presenta un secondo muro concentrico definibile come antemurale strutturato. Questo ultimo tipo di opere murarie, generalmente composte da muri rettilinei, nel caso del nuraghe Palmavera risulta pentagonale (Fig. 1c) e presenta delle torri ai suoi vertici (Fig. 1d), fra cui la maestosa Capanna delle Riunioni. Questa è una condizione peculiare che lo accomuna a pochi altri casi in Sardegna che presentano un antemurale turrito, come il più noto Su Nuraxi di Barumini che presenta sette torri e S'Urachi a San Vero Milis che arriva addirittura a dieci torri (Vanzetti et al., 2013).

2. Il villaggio nuragico di Palmavera

Il complesso nuragico di Palmavera è localizzato nella parte nord-occidentale della Sardegna, nel territorio di Alghero, tra la rada della città e il golfo di Porto Conte. Situato alle appendici del monte Palmavera, in una posizione strategica che permette ampia visibilità sulla fascia costiera, sul tratto di mare del Lazzaretto. Il sito si estende per un'area di circa settemila metri quadri, ma si ipotizza che in origine avesse un'estensione di circa tre ettari.

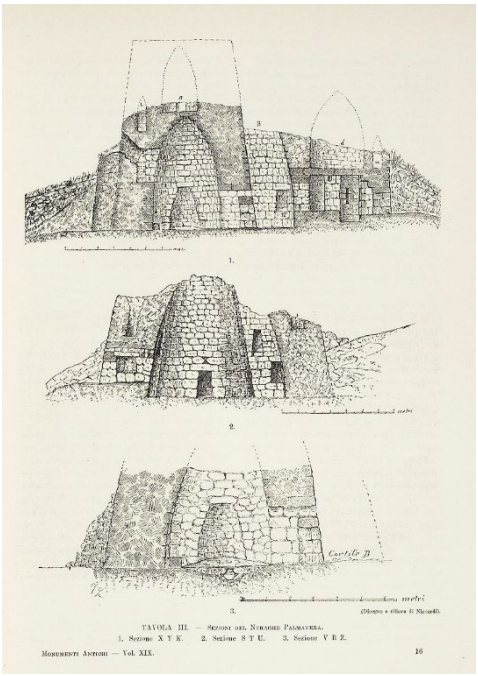


Fig. 2- Tavola II, sezioni del nuraghe Palmavera (Taramelli, 1908, p. 16). Disegno e rilievo di P. Nissardi.

In seguito alla concessione da parte dei proprietari di proseguire le operazioni ai fini della ricerca, la prima campagna di scavo avvenne nel 1904 all'interno di un terreno allora privato. Le operazioni avvennero sotto la direzione di Antonio Taramelli (Fig. 2), archeologo e ispettore dei monumenti in Sardegna, con la collaborazione di Pietro Nissardi, ispettore del Museo di Cagliari. Nel 1961 fu effettuata un'ulteriore campagna di scavo e di consolidamento strutturale. A seguito degli scavi è stata prodotta la prima pubblicazione sul sito (Taramelli, 1908), nella quale è presente, oltre a una descrizione dettagliata degli elementi fino ad allora emersi, una serie di elaborati grafici che descrivono principalmente la struttura del nuraghe complesso.

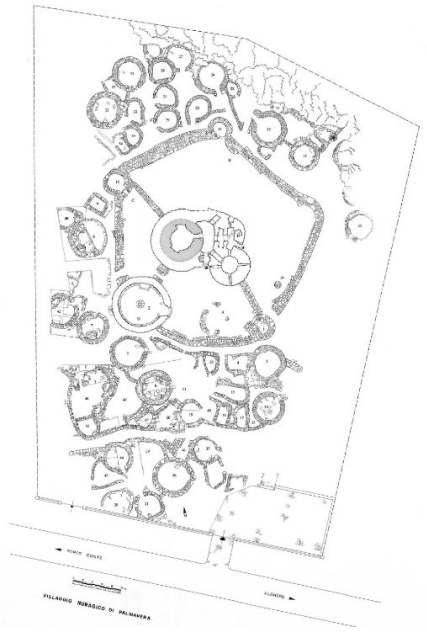


Fig. 3- Planimetria del complesso del nuraghe Palmavera (Moravetti, 1992, p. 46).

Dopo una prima tavola territoriale di inquadramento del sito è possibile osservare la restituzione grafica derivante da un rilievo e dal ridisegno ad opera di Nissardi: due tavole raffiguranti le piante del piano inferiore e superiore del nuraghe; diverse sezioni con ipotesi delle parti mancanti crollate negli anni; numerosa documentazione fotografica, sia del nuraghe prima dello scavo, sia dei diversi particolari strutturali e di oggetti rinvenuti all'interno.

Una seconda pubblicazione (Moravetti, 1992) descrive ampliamente il nuraghe, riprendendo gli studi della pubblicazione precedentemente citata, riportando diversi elaborati grafici e fotografici, ma integrandola con nuovi studi e rilievi. A seguito di un rilievo del 1989 è stata realizzata una prima planimetria completa del sito, oltre che a sezioni, piante e prospetti riguardanti particolari strutturali o elementi singoli del complesso con alcune ipotesi di ricostruzione.

Di particolare interesse risulta la documentazione fotografica del sito, oltre che le foto aeree datate fra il 1988 e 1989.

Le pubblicazioni più recenti integrano principalmente studi su elementi specifici, come la capanna delle riunioni e il betilo torre, oltre che agli oggetti ritrovati nelle capanne.

La frequentazione del complesso, datata grazie al ritrovamento di frammenti di terra cruda e diversi oggetti di uso quotidiano nel villaggio, è riferibile ad un arco cronologico compreso tra la media età del Bronzo e la prima età del Ferro (XVIII-IX/VIII sec. a.C. (Moravetti in *Notiziario di Preistoria e Protostoria*, 2018).

Secondo le ipotesi di Moravetti il nuraghe era formato da solo due torri a Tholos, (Mastio A e Torre secondaria B) esito di diverse fasi costruttive, collegate da un bastione che forma un 'rinfascio' della prima torre e collegato da un cortile a cielo aperto posto in posizione centrale. A seguito degli scavi e del restauro più recente, e come si evince anche dal rilievo illustrato successivamente, è emersa l'esistenza di una terza torre, denominata Torre C. Si ipotizza che la struttura nel corso della storia abbia subito diverse trasformazioni: in una prima fase vi era la presenza di un solo corpo centrale realizzato in calcare e risalente al Bronzo Antico (1400/1600 a.C.); in una seconda fase è avvenuta la trasformazione della struttura in un elemento complesso a tre torri. La struttura originale ha subito un rifascio con la realizzazione del bastione, realizzato in pietra arenaria, e centralmente, rispetto alle tre torri, è stato ricavato il cortile da cui partono le rampe di scale che permettono l'accesso ai livelli superiori. Questa seconda fase è databile ad un periodo compreso tra il Bronzo Medio e Bronzo Recente (1500/1200 a.C.)

Una terza fase realizzata successivamente, tra il Bronzo Recente e il Bronzo finale (1300/1000 a.C.), integra una ristrutturazione con blocchi di calcare a seguito di cedimenti strutturali, la rimozione della terza torre e la muratura del corridoio che la collegava al cortile centrale.

Intorno alla struttura principale del nuraghe è presente un antemurale di forma pentagonale che circonda le tre torri. Questo presenta ai vertici delle torri-capanna e la Capanna delle Riunioni, mentre lo spazio tra bastione e antemurale è suddiviso da setti murari (Vanzetti et al. 2013) All'interno della capanna delle riunioni sono presenti diversi elementi peculiari: il betilo torre in posizione centrale, che costituisce un modello-simulacro, la cui presenza è attestabile in diversi siti nuragici; il seggio trono, che fa ipotizzare un utilizzo collettivo-religioso dello spazio.

All'esterno delle mura, nella fascia più esterna del complesso è presente un villaggio di circa cinquanta capanne circolari ipoteticamente utilizzate per uso abitativo e un raggruppamento di ambienti quadrangolari (Fig. 3), che sembrano appartenere alla fase più recente del complesso, adibiti ad altro utilizzo (Moravetti, 1992).

3. Rilievo e restituzione grafica

All'interno di questo quadro conoscitivo, la ricerca ha proposto la documentazione e la rappresentazione del sito che si avvale di una metodologia per la digitalizzazione del bene archeologico suddivisa in due fasi. La prima consiste in una campagna accurata di rilievo fotogrammetrico, attraverso il quale è possibile registrare le caratteristiche morfologiche e dimensionali del bene nello stato di conservazione attuale (Bertocci, 2012; Docci et al. 2011). La seconda prevede una modellazione tridimensionale avanzata capace di restituire non solo lo stato attuale, ma anche di visualizzare alcune ipotesi ricostruttive sulla base di teorie avanzate da archeologi al fine di verificare possibili configurazioni originarie (Brusaporci, 2015; Georgopoulos, 2014).

Con l'obiettivo di proporre una ricostruzione tridimensionale del sito, la prima fase ha previsto un'attenta pianificazione della campagna di rilievo fotogrammetrico capace di fornire le caratteristiche dimensionali e cromatiche del sito (Ferdani et al. 2019). Per il rilievo integrato sono stati utilizzati un aeromobile a pilotaggio remoto (APR), una camera *mirrorless* con un obiettivo fisso da 35mm e una *action cam* 360°.

Il rilievo fotogrammetrico aereo è stato effettuato con un *DJI mini 3 pro* un APR di dimensioni ridotte che consente un maggiore controllo in volo a bassa quota. La pianificazione del volo è stata effettuata attraverso l'uso del *software open* source QGIS che ha consentito di pianificare, attraverso l'uso di una griglia a maglia quadrata, le strisciate parallele a una distanza di sette metri. garantendo così una sovrapposizione dei fotogrammi del 80%. Questa distanza tra le strisciate parallele è stata calcolata in relazione alla quota dell'APR – imposta dall'ENAC – che nel caso del sito archeologico del Villaggio nuragico di Palmavera è di 25 metri; ma anche dalla dimensione del sensore imposto



Fig. 5- Elaborazione dei rilievi fotogrammetrici - a. nuvola di punti da foto drone; b. nuvola di punti da macchina fotografica; c. nuvola di punti da action cam 360°; d. unione delle singole nuvole.

dall'apparecchio. Sono stati così realizzati due piani di volo: uno eseguito con la camera nadirale e uno con la camera inclinata di 45° rispetto all'asse zenitale. I due voli, elaborati all'interno di un software per *Structure from Motion*, hanno prodotto circa settecento fotogrammi, 407 i nadirali e 285 quelli obliqui. Questi *set* sono stati elaborati singolarmente e successivamente uniti tramite i *Ground Control Point* (GCP) localizzati in fase di acquisizione. Successivamente sono state processate e allineate alle precedenti le fotografie realizzate con la camera (Sony Alpha 7) che ha consentito l'acquisizione più dettagliata di alcune parti esterne del mastio e dell'intero bastione. Mentre con la *action cam* (Insta360 ONE X2) sono state acquisite foto sferiche al fine di rilevare gli ambienti interni.

L'unione dei differenti *chunk* ha prodotto una nuvola densa di quasi 200 milioni di punti, successivamente ripulita dai dati relativi alla vegetazione attraverso i software *Agisoft Metashape* e *Cloud Compare*. Il primo ha consentito di fare una prima selezione di punti sulla base del filtro di confidenza (*conficence filter*) attraverso il quale è possibile selezionare solo punti generati dalle mappe di profondità (*depth maps*), e solo successivamente sono stati selezionati i punti per colore, ottenuto dalla stessa nuvola. Questa seconda operazione ha permesso di selezionare i punti attraverso i parametri della tonalità e della saturazione.

Il risultato ottenuto (Fig. 5) è stato importato in *Cloud Compare* dove è stato possibile suddividere il sito in sezioni longitudinali parallele, così da agevolare l'eliminazione manuale della vegetazione bassa più compatta. Successivamente la nuvola pulita è stata reimportata all'interno di *Agisoft Metashape* così

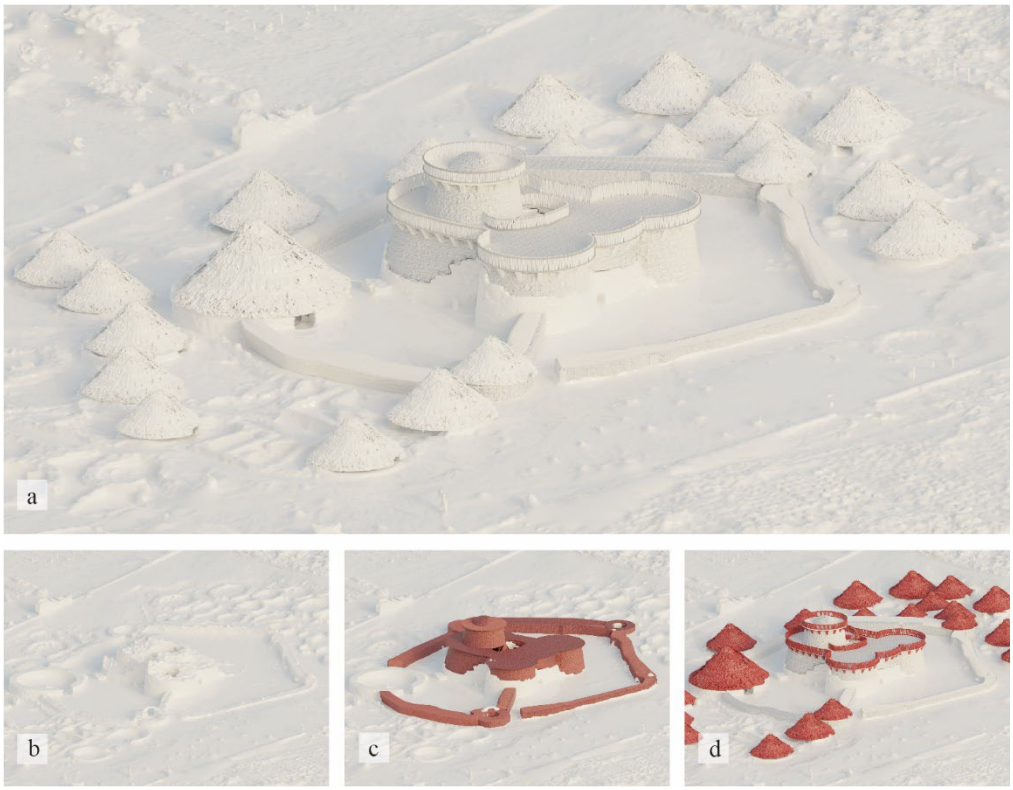


Fig. 6- a. Modello tridimensionale dell'ipotesi ricostruttiva della condizione originale; b. modello tridimensionale dello stato di fatto; c. modello tridimensionale delle ipotesi sostenute dalle geometrie del sito e dalla bibliografia di settore; d. modello tridimensionale degli elementi ipotizzati per similitudine con altri siti nuragici.

da poter generare il modello *mesh* sulla base della nuvola densa e la *texture* attraverso le *depth maps*. Infine, è stata prodotta la mesh unica ripulita e texturizzata che è servita come base per le elaborazioni grafiche successive.

La seconda fase è stata dedicata alla visualizzazione di ipotesi ricostruttive tridimensionali del bene nello stato originario (Fig. 6). Ancorandosi allo stato di fatto ottenuto dal rilievo, l'ipotesi ricostruttiva è stata effettuata su base geometrica e dalla ricostruzione delle fonti bibliografiche in ambito archeologico, integrando le parti assenti nelle fonti bibliografiche sono state ipotizziate attraverso analogie con altre fortezze nuragiche disseminate sul territorio sardo.

Importando la mesh tridimensionale texturizzata, esito del rilievo, all'interno del *software open source Blender,* è stato possibile modellare le parti mancanti. Considerata la dimensione della maglia triangolare della *mesh*, caratterizzata da una risoluzione particolarmente elevata, è stato necessario un processo di ottimizzazione per renderla maggiormente gestibile.

Questo è stato possibile attraverso il *plug-in JRemesh* che agisce sulle geometrie ridefinendo la topologia della maglia, passando così da una maglia triangolare con 38.000.000 facce a una maglia quadrangolare di circa 7.000.000 facce. Nonostante questa riduzione è stato garantito il mantenimento della forma geometrica ottimizzando solo la topologia. Inoltre, la *texture* è stata trattata in modo da ridurre le aberrazioni e moderare le ombre reali derivanti dalle fotografie.

Dopo l'ottimizzazione del modello base è stato possibile avviare la modellazione che si è articolata in alcune fasi operative. La prima è consistita in una modellazione di massima, in cui sono stati inseriti i volumi geometrici di base in maniera coerente alle informazioni geometrico-

strutturali che è stato possibile estrapolare dal rilievo sul campo e dalla mesh tridimensionale.



Fig. 7- texture utilizzata per la trama muraria delle strutture ipotizzate in fase di modellazione.

Nella fattispecie le tre torri e il bastione sono state modellate utilizzando tronchi di cono realizzati a partire dall'inclinazione delle strutture residue del nuraghe, mentre l'altezza e l'ampiezza sono state ipotizzate sulla base degli studi archeologici. La struttura dell'antemurale è stata realizzata in maniera analoga, utilizzando gli elementi residui come traccia per la modellazione e integrandole con i documenti archeologici.

La seconda fase ha riguardato la realizzazione della *texture* utilizzata per la trama muraria delle strutture ipotizzate in fase di modellazione. Questa è stata ottenuta a partire dal materiale fotografico acquisito in fase di rilievo, e successivamente elaborato attraverso il software *Adobe Substance 3D Sampler,* con il quale è stato possibile ottenere un materiale di tipo PBR (*Physically-Based Rendering*), in grado di simulare le caratteristiche tridimensionali del materiale che costituisce la struttura del nuraghe (Fig. 7).

Attraverso il pannello di VPL del motore di render si è potuto replicare l'effetto dei materiali originariamente impiegati nella struttura del nuraghe (Scandurra & Lanzara, 2023). Questo è stato successivamente applicato ai volumi tridimensionali realizzati nella fase precedente, consentendo di ottenere una resa il più possibile realistica. In questa fase è stato utilizzato il *Displacement Mapping, che* permette di aggiungere dettagli a una superficie (Doggett et al. 2003). Questa tecnica consente di utilizzare immagini bidimensionali in bianco e nero per elaborare delle forme geometriche definite *low poly*, riducendo il numero di poligoni della *mesh* per generare una determinata forma geometrica. A tal proposito nel caso studio questa procedura è stata utilizzata per rappresentare la costruzione del muro realizzato in pietra, sfruttando la texture ad alta qualità elaborata tramite *Adobe Substance 3D Sampler*.

4. Conclusioni e prospettive

Le operazioni di rilievo e ricostruzione digitale del complesso nuragico di Palmavera ad Alghero hanno permesso di ottenere una documentazione dettagliata dello stato attuale del sito e di proporre ipotesi ricostruttive basate su dati archeologici, storici e topografici. La metodologia adottata, che ha integrato tecniche di rilievo fotogrammetrico aereo e terrestre con la modellazione tridimensionale avanzata, ha evidenziato l'importanza di un approccio multidisciplinare nel campo dell'archeologia digitale. Questa combinazione ha garantito la creazione di un modello digitale accurato che rappresenta lo stato di conservazione del sito e offre anche una visualizzazione efficace delle possibili configurazioni originarie del complesso nuragico.

I risultati ottenuti offrono nuove possibilità per la fruizione e la valorizzazione del patrimonio archeologico della civiltà nuragica. In particolare, il modello 3D permette un'esplorazione interattiva e immersiva del sito, migliorando l'accessibilità sia per il pubblico che per i ricercatori. Questo approccio può essere utilizzato per sviluppare piattaforme educative e divulgative, consentendo una comprensione più profonda della complessità architettonica e sociale di Palmavera.

Le prospettive di ricerca future includono l'estensione della metodologia ad altri siti nuragici per favorire la creazione di un archivio digitale integrato dei beni archeologici della Sardegna. Un'altra direzione promettente riguarda l'uso di tecnologie immersive come la realtà virtuale (VR) e aumentata (AR) per sviluppare esperienze interattive che facilitino la fruizione del sito anche a distanza. Inoltre, approfondimenti sullo stato di conservazione delle strutture murarie potrebbero contribuire allo sviluppo di strategie di restauro più efficaci, basate su modelli di degrado realistici ottenuti dalla documentazione digitale.

In conclusione, la ricerca apre nuove strade per l'interpretazione e la valorizzazione del patrimonio nuragico, evidenziando il potenziale delle tecnologie digitali nel supportare studi archeologici più completi e nel promuovere un'ampia diffusione della conoscenza storica e culturale.

Note

(1) I "Monumenti della civiltà Nuragica" coinvolti nella ricerca del laboratorio GRA·VIS LAB: 1. Tomba di giganti di Coddu 'Ecchju Arzachena (OT); 2. Complesso cultuale di Predio Canopoli, Perfugas (SS); 3. Nuraghe Palmavera, Alghero (SS), 4. Nuraghe Appiu, Villanova Monteleone (SS); 5. Fonte sacra di Su Tempiesu, Orune (NU); 6. Villaggio di Serra Orrios, Dorgali (NU); 7. Nuraghe Orolo, Bortigali (NU); 8. Villaggio nuragico Sa Sedda 'e sos Carros, Oliena (NU); 9. Tombe di giganti di Madau, Fonni (NU); 10. Santuario nuragico di S'Arcu 'e is Forros, Villagrande Strisaili (NU); 11. Nuraghe Ponte, Dualchi (NU).

Bibliografia

Bernardini, P. (2016). *Le torri di Monte Prama: i nuraghi nel paesaggio culturale dell'età del Ferro*. In E. Trudu, G. Paglietti, & M. Muresu (A cura di), Layers. Archeologia Territorio Contesti, 1, 66-85.

Bertocci, S., & Bini, M. (2012). *Manuale di rilievo architettonico e urbano*. Città studi edizioni.

Brusaporci, S. (2015). *On visual computing for architectural heritage*. IGI Global.

Docci, M., Chiavoni, E., & Filippa, M. (2011). *Metodologie integrate per il rilievo, il disegno, la modellazione dell'architettura e della città*. Gangemi Editore.

Doggett, M., Forsyth, T., & Productions, M. (2003). Displacement mapping. *ATI Research*, 1-5.

Ferdani, D., Demetrescu, E., Cavalieri, M., Pace, G., & Lenzi, S. (2019). 3D modelling and visualization in field archaeology. From survey to interpretation of the past using digital technologies. *GROMA: Documenting Archaeology*, *4*.

Georgopoulos, A. (2014). 3D virtual reconstruction of archaeological monuments. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, *14*(4), 155-155.

Moravetti, A. (1992). *Il complesso nuragico di Palmavera*. Carlo Delfino Editore.

Pais, M. (2018). *Palmavera (Alghero, SS)*. In Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria, *Notiziario di Preistoria e Protostoria*, 5.II, Sardegna e Sicilia (pp. 74-76). Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria.

Scandurra, S., & Lanzara, E. (2023). Vpl for Cultural Heritage Monitoring: Sampling and Comparison of Photographic Images. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, *48*, 1435-1442.

Taramelli, A. (1908). *Il nuraghe Palmavera presso Alghero*. In *Monumenti Antichi* (Vol. 19, pp. 225-272). Accademia Nazionale dei Lincei.

Vanzetti, A., Castangia, G., Depalmas, A., Ialongo, N., Leonelli, V., Perra, M., & Usai, A. (2013). *Complessi fortificati della Sardegna e delle isole del Mediterraneo occidentale nella protostoria*. Edizioni Quasar. In *Scienze dell'antichità* (Vol. 19, Fascicoli 2/3).

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20352

Una iper-mappa del Castello di Ischia a supporto della lettura del contesto antropizzato: nuove ipotesi sulla configurazione di un ambito urbano

Saverio D'Auria[a], Maria Ines Pascariello[b], Giuseppe Antuono[c], Pierpaolo D'Agostino[d]
Università di Napoli Federico II, Napoli, Italia, [a]saverio.dauria@unina.it; [b]mariaines.pascariello@unina.it; [c]giuseppe.antuono@unina.it; [d]pierpaolo.dagostino@unina.it

Abstract

The Aragonese Castle of Ischia is notoriously inaccessible from several points of view. The research in progress offers continuous reflections on the precious architectures hosted in it, thus improving knowledge from historical, morphological, evolutionary and constructive points of view. They also offer a wide range of case studies on which to experiment methodological approaches to issues specific in the Drawing sector.
The systematic digitization of the fortified promontory, integrated with historical-documentary studies and GIS applications, is leading to a reconsideration of some relationships between urban areas: in particular, between the current southwestern configuration and the detailed survey of Castle dating from the second half of the 16th century by the royal engineer Benvenuto Tortelli.
The focus is on the quadrant that houses, in descending order of height, the remains of the Cathedral of the Assumption, the current panoramic terrace (the native churchyard), the Piazza d'Armi and the Aragonese fortifications. The results of the digital surveys demonstrate how accurate and reliable is the precious cartography of more than four centuries ago, especially in relation to military architecture.
The representation of the quadrant mentioned, however, is not very close to reality and this raises some questions, including a lesser interest of Tortelli in that urban area or a building reconfiguration during the centuries following the XVI. Therefore, referring to the study of built space, architecture, city and territory, the aim of the study is the construction of a digital context hyper-map, from which information can be read not isolated but linked and able to stimulate knowledge and research.

Keywords: digitalization, GIS, historical maps, urban reconfigurations.

1. Introduzione e note di metodo

La limitata accessibilità fisica del Castello di Ischia e il difficile reperimento di attendibili fonti storiche hanno da sempre determinato un diffuso scoraggiamento nell'approccio allo studio delle architetture in esso presenti, con conseguente impoverimento della conoscenza del sito dai punti di vista storico, evolutivo, morfologico e costruttivo.

Le ricerche in corso da alcuni anni sulla cittadella fortificata sono il frutto di un accordo di collaborazione scientifica tra il Castello e il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università di Napoli Federico II, confluite anche in un Progetto di Rilevante Interesse Nazionale (1).

La digitalizzazione sistematica in atto dell'intero promontorio e delle sue emergenze, integrata con studi storico-documentari e letta anche attraverso puntuali applicazioni di XR, BIM e GIS, sta portando ad alcuni spunti di novità su aspetti notoriamente bui relativi alle trasformazioni che hanno subito gli edifici più rappresentativi nel corso dei secoli nonché a riconsiderare alcuni rapporti dimensionali urbani.

BY-NC-SA

Uno di questi riguarda l'attuale assetto occidentale dell'isolotto (Fig. 1), rappresentato dettagliatamente nella seconda metà del XVI secolo dall'ingegnere regio Benvenuto Tortelli nella sua opera di ricognizione delle strutture difensive del Regno di Napoli e che, alla luce dei nuovi rilievi, suscita qualche supposizione.

In particolare, l'attenzione è rivolta al quadrante su cui sorgono, in ordine decrescente di quota, i resti della Cattedrale dell'Assunta con annessa cripta semi-ipogea, l'attuale terrazza panoramica (corrispondente al vecchio sagrato della chiesa), la piazza d'Armi e le fortificazioni aragonesi (Fig. 2).

Gli esiti dei rilievi digitali delle suddette architetture e porzioni urbane mostrano quanto la preziosa cartografia di oltre quattro secoli fa sia generalmente molto accurata e qualitativamente affidabile, specialmente nei confronti delle strutture militari. Poco affine, invece, è la rappresentazione del quadrante menzionato che fa porre alcuni interrogativi, tra i quali un minor interesse del Tortelli a quell'ambito urbano – nonostante un alto livello di dettaglio nella rappresentazione – o addirittura una diversa configurazione edilizia-urbanistica della zona attuata nel corso dei secoli successivi al Seicento (ipotesi smentita da questi studi).

Basti osservare, come si vedrà meglio nei paragrafi seguenti, che l'ingegnere regio rappresenta l'accesso alla Cattedrale come un imponente scalone monumentale di raccordo con il sottostante sagrato: scala che oggi risulterebbe impossibile da collocare per le modeste dimensioni della terrazza panoramica. Scalinata che, invece, risulta realizzata da due rampe rettilinee addossate a ciò che rimane della facciata principale. Ancora, le proporzioni tra lo scalone monumentale, il sagrato e il percorso gradonato di raccordo tra la Cattedrale e la sottostante piazza d'Armi sembrano essere coerenti all'interno del disegno del Tortelli ma non trovano una immediata corrispondenza con la conformazione odierna (Fig. 3).

Pertanto, riferendoci allo studio dello spazio costruito, dell'architettura, della città e del territorio, l'obiettivo è la costruzione di una "iper-mappa" digitale del contesto analizzato – estendibile all'intera cittadella fortificata – sulla quale poter leggere informazioni non isolate ma collegate e in grado di stimolare la conoscenza, la ricerca e la rielaborazione del sapere.



Fig. 1- Il Castello Aragonese di Ischia. Nel riquadro rosso è evidenziato l'oggetto di studio.

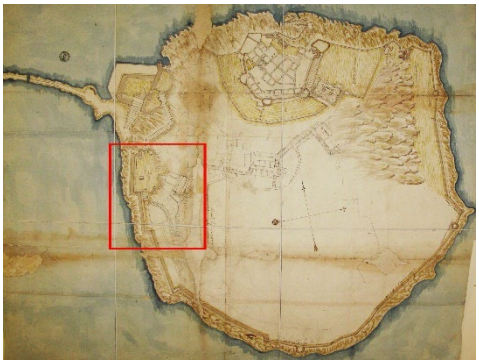


Fig. 2- Tortelli B. (1576-1586), *L'isolotto del castello di Ischia*, Biblioteca Nazionale di Napoli, Sezione Manoscritti e Rari, Ms. XII.D.1 c. 12r.

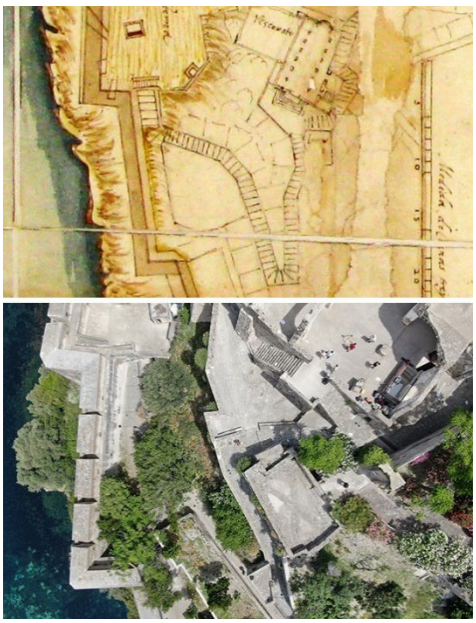


Fig. 3- Confronto tra la cartografia del Tortelli e lo stato attuale dell'area oggetto di studio.

2. La costruzione di una mappa informativa

Le discipline del Rilievo e della Rappresentazione, nel continuo e rapido aggiornamento che accompagnano l'era del digitale, hanno modificato il metodo di rapportarsi all'architettura e alla città, definendo mezzi privilegiati per l'analisi, per la trascrizione e per l'archiviazione dei dati, unitamente a strumenti per la costruzione di nuove immagini e nuovi modelli grafici. È accaduto, infatti, che un numero sempre maggiore di architetture, così come di ampie aree delle città esistenti, sono diventate accessibili attraverso una modalità immateriale in cui gli elementi materiali risultano ridotti al minimo.

È anche vero che le nostre realtà urbane ci abituano e, più spesso, ci obbligano a usi e visioni dello spazio che spostano l'interesse dell'osservatore da quello strettamente metrico e tipologico a quello proiettivo e topologico, senza dubbio più complesso da codificare e da decodificare. Una collezione immensa di dati viene, cioè, convertita in una figura utilizzabile in modo rapido e per scopi diversi e questo fenomeno risponde a una tendenza più o meno consapevole che ci porta a smaterializzare l'esperienza e a trascriverla in forme digitali sempre più leggere. Tutto ciò è sottinteso all'uso, ormai diffuso in ogni aspetto del quotidiano, che facciamo degli ipertesti e degli ipermedia, i quali consentono di esplorare in libertà dati e informazioni, costruendo un personale itinerario di conoscenza, accompagnato da una carica motivazionale maggiore rispetto a quella generata da un percorso guidato.

Un'occasione per poter sperimentare e applicare luoghi e modi di rappresentazione attiva, capace cioè di unire dati, segni e informazioni nella dimensione del disegno e dove sia possibile leggere indicazioni non isolate ma collegate e in grado di stimolare la conoscenza e la rielaborazione del sapere, è stata offerta dal progetto di ricerca che si inserisce nell'ambito dell'accordo di collaborazione scientifica citato: esso mira anche alla elaborazione di una mappa digitale della cittadella fortificata attorno al Castello Aragonese in cui sia possibile muoversi virtualmente attraverso parametri spazio-temporali, ampliando fruizione e conoscenza.

Tale mappa è da intendersi come comparazione planimetrica per livelli di cartografie attuali sovrapposte a quella realizzata dall'ingegnere regio Benvenuto Tortelli tra il 1576 e il 1586 che documenta e privilegia nella rappresentazione l'architettura e l'ingegneria al servizio delle difese del Regno di Napoli alla fine del Cinquecento (Capano, 2020), escludendo gli ambienti residenziali e rurali nella zona sud dell'isolotto.

Quest'operazione comparativa consente di leggere la configurazione della cittadella in un periodo storico complesso e determinante come l'età vicereale. Come è noto, ogni mappa di città è solo una delle possibili letture del reale, una delle tante, in cui le strade, le piazze, i vuoti urbani, il sopra e il sotto della città, le attività o le funzioni stabiliscono relazioni figurative spaziali, pur avendo caratteri costruttivi e formali indipendenti dalla loro configurazione o tipologia. Nella mappa che si muove nel tempo e nello spazio (Buccaro, 2018) piazze, edifici, strade, mura – ovvero elementi oggettivamente materiali – diventano segni digitali la cui forma, colore o posizione facilita la formazione di immagini ambientali fortemente strutturate e cariche di contenuto semantico: si creano così percorsi, nodi, punti che si intrecciano e si interrompono, secondo i movimenti dell'utente, talvolta scelti liberamente, talvolta guidati, consentendo la conoscenza della storia, della storia dell'arte, della storia dell'architettura, della città.

Quel che viene fuori dal lavoro finora condotto è una cartografia della cittadella che si aggiunge e completa le rappresentazioni esistenti secondo il modello dell'ipermedialità dove i differenti blocchi sono connessi mediante molteplici percorsi e offrono la praticità e la versatilità nella lettura dei contenuti seguendo un itinerario scelto tra una serie di proposte. L'obiettivo, ma al tempo stesso anche la motivazione del lavoro di ricerca, è stato infatti la costruzione di una mappa in movimento che consente, cioè, un percorso definito dalle variabili di tempo e di spazio. La iper-mappa diventa così il luogo deputato all'esperienza sensoriale, rendendo tangibile la comprensione della cittadella nella rappresentazione digitale che diventa evidenziazione delle sue tracce, della sua storia e delle sue espressioni architettoniche.

3. L'applicazione al Castello Aragonese di Ischia

3.1 Il rilievo del quadrante occidentale della cittadella fortificata

Gli studi condotti su manufatti complessi dal punto di vista storico e costruttivo, non possono

prescindere dall'analisi critica delle geometrie di cui si compongono. La lettura macroscopica dell'architettura e l'indagine dettagliata su elementi e parti circoscritte consentono spesso di trovare indizi su cui vale la pena soffermarsi (De Feo, 2023). Nel caso in esame, l'esatta digitalizzazione formale del percorso di accesso al Castello, delle fortificazioni a ovest, della Piazza d'Armi e della Cattedrale dell'Assunta si è rivelata indispensabile per la lettura critica alla scala urbana (D'Auria, 2024) e per poter convogliare dati metrici utili alle fasi di valutazione storica in ambiente GIS.

Il rilievo dell'ambito urbano analizzato è stato condotto attraverso le consolidate tecniche e tecnologie di digitalizzazione tridimensionale (2), facendo quindi uso di laser scanning e fotogrammetria terrestre e aerea, con il supporto del rilievo topografico con stazione totale, risultato indispensabile per controllare e rafforzare l'allineamento di quelle singole nuvole di punti particolarmente rumorose o poco dense. Il risultato ultimo ottenuto è stato un modello 3D impiegato anche per l'elaborazione di orto-immagini ad alta risoluzione e di grafici di rilievo alla scala urbana e architettonica (Fig. 4).

3.2 Verso un GIS per la conoscenza e l'analisi delle stratificazioni del sistema fortificato

È ormai noto come la cartografia storica sia sempre più uno strumento prezioso di conoscenza per ricostruire l'evoluzione del paesaggio antropico. Per comprenderne appieno il contenuto informativo, l'analisi multi-temporale GIS rappresenta uno strumento significativo nell'ordinare in assetto regressivo più istantanee raster, in un confronto diretto con la cartografia contemporanea, da cui desumere le trasformazioni di assetto dell'ambiente costruito e comprenderne l'evoluzione avvenuta nel corso dei secoli (De Filpo, 2021).

Per contesti stratificati come quello fortificato del Castello Aragonese di Ischia, la realizzazione di un sistema informativo geografico – in grado di contenere, relazionare e gestire dati anche storiografici – costituisce un'opportunità per studiare le trasformazioni del paesaggio antropico. Nel caso specifico, il sistema informativo è stato strutturato a partire dalla Carta Tecnica Regionale del 2004-05 (CTR, nel sistema di riferimento WGS 84/UTM zone 33N – EPS:32633) integrando anche le ortofoto georeferenziate e disponibili attraverso i servizi WMS (*Web Map Service*) attualmente attivi nel Geoportale Regione Campania.

Inoltre, la georeferenziazione polinomiale del primo ordine delle ortofoto di rilevamento aerofotogrammetrico digitale (Cera & Garcia, 2018) – condotta attraverso "punti ricorrenti" del territorio in esame – ha permesso di informare e comprendere in modo più compiuto l'ambito di indagine.

Il database GIS è stato poi arricchito del contenuto informativo descritto dalle testimonianze cartografiche più significative del tempo, tra cui la mappa del Tortelli della seconda metà del XVI secolo. La georeferenziazione del dato cartografico raster, rispetto alla cartografia odierna di base, ha permesso di comprendere lo status quo ante del sito, di documentare l'assetto planimetrico dell'originaria fortificazione e di analizzare l'eventuale evoluzione del sistema dei percorsi prossimi alla Cattedrale dell'Assunta.

Il processo di georeferenziazione è stato realizzato mediante tre passaggi fondamentali: fase di localizzazione di punti sul raster per i quali si possano determinare accuratamente le coordinate; fase di best fitting e definizione della trasformazione geometrica tra sistema immagine e sistema oggetto di riferimento; fase di *resampling*, per applicare ai pixel dell'immagine i parametri di trasformazione calcolati nella fase precedente.

Nella prima fase sono stati individuati un certo numero di Ground Control Point (GCP) corrispondenti a punti di controllo rimasti invariati nel tempo, ancora esistenti e riconoscibili, di coordinate note e uniformemente distribuiti rispetto al riferimento della cartografia di base. Spigoli, angoli, intersezioni tra murature, confini, singole evidenze che non hanno subito trasformazioni nel corso del tempo, visibili e riconoscibili, sono stati individuati quali validi punti a terra.

Nella seconda fase è stato importante scegliere il metodo di trasformazione in modo da ottenere un adattamento quanto più uniforme che conservi la collinearità e il parallelismo (Cianci et al., 2024). Per individuare l'algoritmo di trasformazione geometrica più adatto è bene tener presente che non è sempre possibile ottenere dati quantitativi nel confronto con le rappresentazioni storiche (Gatta, 2011), principalmente a causa del loro livello di qualità metrica.



Fig. 4- Dall'alto al basso: modello a nuvola di punti dell'ambito urbano rilevato; ortofoto ad alta risoluzione da modello mesh del versante occidentale; grafici di rilievo della vista dall'alto (a sinistra) e di una sezione trasversale (a destra) (elaborazione e restituzione grafica a cura degli autori, 2024).



Fig. 5- Georeferenziazione GIS tra la mappa del Tortelli e lo stato attuale dell'area oggetto di studio attraverso l'individuazione di GCP (elaborazione grafica a cura degli autori, 2024).

Nel caso specifico, i risultati dei primi test di adattamento lineare e la carenza informativa circa la logica rappresentativa rispetto all'epoca di realizzazione della mappa del Tortelli (caratterizzata da un sistema di proiezione e parametri indeterminati) ha orientato verso un processo di trasformazione non rigido *Thin Plate Spline* (TPS) in modo da ottenere il migliore *resampling*, seppure adattivo, usando polinomi multipli locali per far corrispondere i GCP specificati. L'esito è una nuova immagine (Fig. 5) che, seppure nei limiti di attendibilità metrica, rappresenta il miglior compromesso per formulare alcune ipotesi sulla configurazione spaziale del passato e rileggere – in termini qualitativi – le peculiarità del sistema dei percorsi e delle fortificazioni nella rappresentazione antica rispetto a quella moderna.

Peraltro, la georeferenziazione evidenzia delle incongruenze e delle differenze nelle geometrie rappresentate, nel confronto tra la cartografia attuale e quella cinquecentesca, con un grado di imprecisione che aumenta nelle aree di minore edificazione antica in cui, conseguentemente, i punti in comune tra la mappa da georiferire e quella di base diminuiscono notevolmente o sono del tutto assenti.

Alla fase di georeferenziazione del documento si è affiancata la vettorializzazione e tematizzazione delle sequenze diacroniche (Fig. 6) in layer ad impianto areale; una vettorializzazione che, in particolare, deve tenere conto anche della discrezionalità nella scelta dei tratti nella variazione degli spessori delle linee rappresentate sul supporto raster. Ciononostante, la digitalizzazione degli elementi di permanenza e di discontinuità, tra passato e presente, assume un'importanza fondamentale per la ricostruzione diacronica del paesaggio antico.

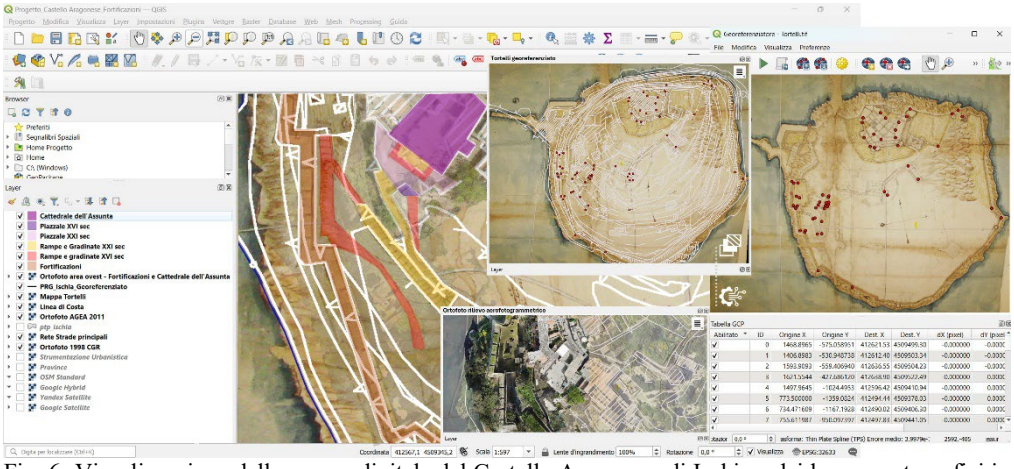


Fig. 6- Visualizzazione della mappa digitale del Castello Aragonese di Ischia e dei layers cartografici in sovrapposizione mediante interfaccia GIS. A sinistra, digitalizzazione delle permanenze e delle discontinuità riscontrate dalla sovrapposizione della mappa del Tortelli sulla cartografia di base integrata dai dati aerofotogrammetrici di rilevamento digitale. A destra, il processo di individuazione dei GCP corrispondenti a punti di controllo rimasti invariati nel tempo, ancora esistenti e riconoscibili (elaborazione grafica a cura degli autori, 2024).

Il risultato è un modello geometrico-informativo che consente di mettere in evidenza quelle permanenze, riscontrabili ad esempio nella conformazione ed andamento della cinta fortificata in prossimità alla Cattedrale dell'Assunta, e quelle discontinuità, riguardanti ad esempio il sistema di collegamento in quota gradonato che conduceva al piazzale panoramico antistante la Chiesa secondo un diverso punto di accesso.

Peraltro, l'*overlapping* dei layers appartenenti a periodi temporali diversi (XVI e XXI secolo) ha consentito anche di rileggere le trasformazioni della scalinata di accesso alla Cattedrale dell'Assunta dal piazzale antistante: una scala con gradini sui tre lati ad impronta rettangolare di maggiore estensione rispetto all'attuale sistema di accesso a sole due rampe allineate al fronte principale.

Nonostante restino dubbi circa le differenze dimensionali riscontrate, in prospettiva, la possibile integrazione nel modello GIS di ulteriori cartografie ed iconografie, potrà consentire di implementare i dati e gli attributi (desunti anche dalla documentazione d'archivio) per favorire una la comprensione più profonda e la ricostruzione digitale del patrimonio culturale e architettonico in esame.

4. Conclusioni

Il risultato dell'applicazione è dunque rappresentato da un modello spaziale capace di offrire un confronto immediato, coerente e facilmente quantificabile con lo stato attuale dell'intero monumento e delle sue fortificazioni.

La realizzazione del database informativo, sempre implementabile, ha permesso di discretizzare ed aggregare quelle informazioni raster e vettoriali utili a raccontare il tessuto storico. Così, la strutturazione del modello GIS favorisce la comprensione più profonda del patrimonio culturale e architettonico come componenti fondamenti per l'accrescimento della divulgazione e della fruibilità dei luoghi indagati.

Difatti, la banca dati è stata pensata con l'obiettivo di implementare, nello sviluppo futuro, informazioni di natura interdisciplinare (riferite, ad esempio, alla Storia dell'Arte e dell'Architettura, all'Urbanistica, al Restauro) e di soddisfare una fruizione *webGIS*; un sistema volto tanto alla gestione dell'esistente quanto di condivisione del sapere finalizzato alla più ampia divulgazione delle informazioni, spesso di difficile accesso non solo per la comunità scientifica ma anche al pubblico generale.

Questa apertura verso un'accessibilità ampliata potrà favorire una maggiore diffusione e contribuire così a una comprensione più profonda del patrimonio culturale e architettonico del Castello Aragonese di Ischia.

Note

(1) Il responsabile scientifico dell'accordo di collaborazione scientifica tra il Castello Aragonese e il DICEA è Saverio D'Auria. La ricerca in questione si inquadra anche nel PRIN 2022 "EX-IN_AccessiBILITY": Principal Investigator prof. Vincenzo Cirillo, Responsabile di Unità Federico II prof.ssa Antonella di Luggo.

(2) Le campagne di rilevamento sono state condotte anche in occasione delle diverse 'Giornate di Studio al Castello di Ischia' e dei Workshop organizzati nell'ambito dell'Accordo di Collaborazione Scientifica e hanno visto il coinvolgimento attivo degli studenti dei vari insegnamenti di Rilievo erogati dal Dipartimento.

Attribuzioni dei paragrafi

SDA è autore dei paragrafi 1 e 3.1; MIP del paragrafo 2; GA del paragrafo 3.2; PDA del paragrafo 4.

Bibliografia

Antuono, G. (2019) Reti e impianti idrici in Sant'Agata dei Goti. Verso un sistema informativo integrato. *DISEGNO*, 5, pp. 157-168.

Buccaro, A. (2017) Metodi e fonti per l'analisi storica della città e del paesaggio urbano. In: D'Agostino, S. (ed.) *Ingegneria e Beni culturali.* Bologna, il Mulino, pp. 139-158.

Buccaro, A. (2018) Moving through Time and Space: Naples Digital Archive. Il progetto CIRICE-Hertziana sull'immagine di Napoli in età moderna e contemporanea. *Eikonocity*, 2, pp. 9-19.

Capano, F. (2020) Il Castello di Ischia nel disegno dell'ingegnere regio Benvenuto Tortelli. Architettura e ingegneria al servizio delle difese del Regno di Napoli alla fine del Cinquecento. In: D'Agostino, S.,

d'Ambrosio Alfano, F.R. (eds.) *Storia dell'Ingegneria. Atti dell'8° Convegno Nazionale*. Napoli, Cuzzolin, pp. 671-680.
Castellucci, P. (2009) *Dall'ipertesto al web. Storia culturale dell'informatica*. Roma-Bari, Laterza.
Cera, V. & Garcia, L. A. (2018) Dalla nuvola di punti al progetto di restauro. L'estrazione di dati per la valorizzazione dell'antica fortificazione di Casertavecchia. In: Marotta, A., Spallone, R. (eds.), *Defensive Architeture of the mediterranean*, Proceedings of the International Conference on Modern Age Fortification of the Mediterranean Coast FORMED, pp. 981-988.
Cianci, M.G., Calisi, D., Botta, S., Molinari, M. (2024) Il GIS come strumento di conoscenza e analisi delle stratificazioni storiche in tessuti urbani scomparsi. *Dalla mappa al GIS*, 7, pp. 349-361.
Cirillo, V. (2014) Modelli rappresentativi di città in "Il Regno di Napoli in Prospettiva" di Gio. Battista Pacichelli. In: Capano, F., Pascariello, M.I., Visone, M. (eds) *Delli Aspetti De Paesi. Vecchi e nuovi media per l'immagine del paesaggio. Rappresentazione, memoria, conservazione*. Napoli, Circe Edizioni, pp. 67-76.
D'Ascia, G. (1867) *Storia dell'isola d'Ischia*. Napoli: Stabilimento tipografico Argenio.
D'Auria, S. (2024) *I livelli dello spazio sacro nel Castello Aragonese di Ischia. La Cattedrale dell'Assunta e la sua cripta / Levels of sacred space in the Aragonese Castle of Ischia. The Cathedral of the Assumption and its crypt*. Napoli, fedOA Press.
De Feo, E. (2023) *Medioevo restaurato. La chiesa di Sant'Eligio Maggiore a Napoli*, Napoli, fedOApress, 2023.
De Filpo, M. (2021) Gli strumenti per la rappresentazione del paesaggio tra tradizione e nuove tecnologie. In: Messina, G., D'Agostino, L. (eds.) *Configurazioni e trasfigurazioni. Discorsi sul paesaggio mediato*. Torino, Nuova Trauben, pp. 174-191.
de Seta, C., Buccaro, A. (2006) *Iconografia delle città in Campania. Napoli e i centri della provincia*. Napoli, Electa.
Docci, M., Gaiani, M. & Maestri, D. (2017) *Scienza del disegno*. Novara, Città Studi Edizioni.
Gatta, G. (2011) Metric analisys of ancient cartography in a digital environment. *Bollettino A.I.C.*, 141-142, pp. 41-53.
Migliari, R. (2003) *Geometria dei modelli. Rappresentazione grafica e informatica per l'architettura e il design*. Roma, Kappa.
Raffestin, C. (2016). Lo sguardo, la memoria e l'immagine, ovvero, il meccanismo della visualità. In: Belardi, P., Cirafici, A., di Luggo A., et al. (eds.) *Visualità. Atti del Seminario di Studi Idee per la Rappresentazione*. Roma, Artegrafica, pp. 60-71.
Sacchi, L. (2017) Il disegno delle città. *Eikonocity*, 1, pp. 9-21.
Sacchi, L. (2017) *Metropoli. Il disegno delle città*. Roma, Gangemi Editore.
Unali, M. (2009). Qual è il modello di rappresentazione complesso nella rivoluzione informatica?. *Disegnare idee immagini*, 38, pp. 30-39.
Unali, M. (2016) *Atlante dell'abitare virtuale. Il Disegno della Città Virtuale, fra Ricerca e Didattica*. Roma, Gangemi Editore.
Zerlenga, O. (2007) *Dalla grafica all'infografica. Nuove frontiere della rappresentazione nel progetto di prodotto e di comunicazione*. Foggia, Claudio Grenzi Editore.
Zerlenga, O. (2008) *Rappresentazione geometrica e gestione informatica dei modelli*. Napoli, La scuola di Pitagora.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20353

La conoscenza del patrimonio fortificato di Terraloggia in Pago Veiano. Rilievi e prime considerazioni

Angelo De Cicco
Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*, Dipartimento di Architettura e Disegno Industriale, Aversa, Italia, angelo.decicco@unicampania.it

Abstract

The paper proposes the graphic and methodological study of Terraloggia's castle, located in the hilly area of Pago Veiano, in the province of Benevento. The research, in a first part, consisted in a bibliographical and iconographical analysis of the few local sources, often of popular character, but, for the activities of knowledge of the castle, a series of field surveys were carried out to plan the survey project and to carry out the appropriate investigations on the state of the fortified architecture and the surrounding landscape. It is well known that the territory of Terraloggia was already a fortified feudal estate in the Norman period, with a wall containing a castle, of which some traces and the tower are still visible today. The analysis of archival materials has shown that at the beginning of the 12th century the structure belonged first to the County of Ariano, then to Buonalbergo, and in 1113 it was conquered by the Norman Duke Robert of Altavilla, known as Guiscard. In the 15th century Terraloggia was found abandoned after being partially destroyed by an earthquake in 1349. The process of analysis and knowledge of the castle was carried out by means of SfM UAV survey with the aim of expanding the possible graphic-theoretical information about the structure. Further developments are possible in the field of digitization of the fortified heritage in the creation of 3D models for the increase of the tourism sector in the inland areas of the Campania region.

Keywords: knowledge, digital documentation, UAS, fortified heritage.

1. Introduzione

Il contributo che si presenta mira alla conoscenza e alla documentazione digitale di un patrimonio culturale fortificato non accessibile in un centro minore campano. In particolare, viene presentato il caso studio del castello di Terraloggia, sito nel territorio collinare di Pago Veiano in provincia di Benevento.

Il castello, denominato anche come "Torre di Terraloggia", è posto su un poderoso basamento roccioso in altura. La struttura è articolata su due livelli fuori terra e un piano interrato ed è posta sotto la tutela del Ministero dei Beni Culturali e Ambientali. Dall'androne, ricoperto da un'elegante volta a crociera, si accede ad una corte ben proporzionata. Il primo piano è collegato all'androne tramite una scala realizzata in pietra locale, parzialmente avvolta in una struttura a portico, attualmente in pessime condizioni statiche. L'edificio fortificato comprende archi, volte e strutture murarie altomedievali di notevole interesse ed era articolato in 365 stanze suddivise in cinque piani, oggi ridotti a due. Il territorio di Terraloggia, già all'epoca Normanna, era un feudo fortificato, caratterizzato da una cinta muraria che racchiudeva un castello e la Chiesa dedicata ai Santi Pietro e Paolo, di cui oggi sono ancora visibili alcune tracce.

Il saggio presenta un processo di analisi e conoscenza, che partendo dalla consapevolezza

BY-NC-SA



Fig. 1- Vista aerea del *castrum* di Terraloggia (acquisizione fotografica di Angelo De Cicco, 2024).

delle fonti scientifiche e dall'analisi delle tendenze tecnico-strumentali, delinea un progetto di rilievo che permetta nelle successive fasi di gestione e confronto dei grafici analogici e digitali, di ottenere una solida base documentaria (completa e digitale rispetto a quella esistente) atta alla conoscenza, alla documentazione e alla valorizzazione del castello di Terraloggia.

2. Il castello di Terraloggia: contesto storico e territoriale

La ricerca documentale, di natura bibliografica e archivistica, rappresenta il punto di inizio per la ricostruzione storica, lo studio configurazionale dei luoghi e l'individuazione delle varie funzioni svolte. Dalle fonti bibliografiche locali si attesta che l'attuale denominazione di Terraloggia derivi dal latino *Terra Rubea*, terra rossa. L'aggettivo *rubea* nel *volgar romanzo* ha definito esiti diversi a seconda dei dialetti locali. In Toscana, ad esempio, è divenuto Robbia, cognome di una famosa famiglia di ceramisti, i Della Robbia. In realtà, derivando dalla radice della parola rosso e ruggine, il termine è riconducibile al toponimo *Terraroggia*, diventato in seguito *Terraloggia* (Gangale, 1999). Nel territorio dell'attuale comune di Pago Veiano, durante il Medioevo, erano presenti due castelli che separavano il feudo in due frazioni: Terraloggia Grande, sede del castello principale, menzionato nel *Chronicon* di Falcone Beneventano del 1113 (Beneventano, 2000), e Terraloggia Piccolo, dove era edificato il Castello di Tammaro (De Palma, 2018).

Entrambe le strutture furono distrutte dai terremoti avvenuti tra il Trecento e il Quattrocento (Caruso, 2012). È noto che agli inizi del XII secolo il forte faceva parte prima della contea di Ariano, poi di Buonalbergo, feudi del beneventano, e nel 1113 fu conquistato dal Duca normanno Roberto d'Altavilla, detto il Guiscardo (Licinio &Violante, 2006).

Nel XV secolo, Terraloggia fu abbandonata dopo che, nel 1349, venne parzialmente distrutta da un altro evento sismico. Oggi è possibile ammirare i ruderi del castello di Terraloggia che anche durante il Novecento subì gravi danni in seguito ai terremoti dell'agosto del 1962 e del novembre del 1980.

Uno degli elementi distintivi del castello medievale era la "torre maestra", o "mastio", che aveva una duplice funzione: difensiva e di sorveglianza. La torre, ricostruita agli inizi del Settecento, è in stato di rudere, ma era simbolo di potere e sicurezza, centro di controllo della difesa del castello (De Palma, 2018).

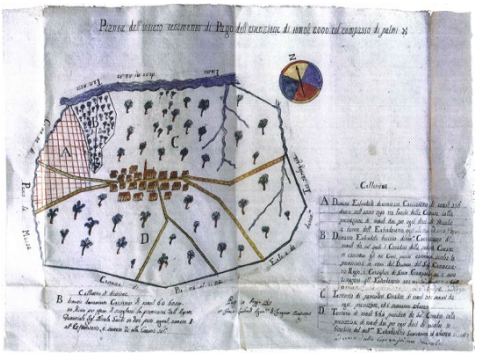


Fig. 2- Pianta dell'intero censimento di Pago Veiano, estensione di tomoli 2000 col compasso di palmi, 1410. Fonte: Archivio di Stato di Benevento.

3. Metodologie di acquisizione applicate al castello di Terraloggia

La conoscenza morfometrica del castello di Terraloggia si è avvalsa di un rilievo integrato che unisce diverse tecniche di rilevamento tradizionali, quali il rilievo diretto, a tecniche più innovative che consentono di ottenere un alto grado di dettaglio e di precisione anche in contesti più difficili (Docci & Maestri, 2009). La grandezza del sito, ma soprattutto l'elevato grado di abbandono e l'inaccessibilità di alcune aree hanno reso quasi impossibile operare esclusivamente affidandosi a un rilievo tradizionale. L'indagine architettonica del castello di Terraloggia è avvenuta attraverso una serie di sopralluoghi *in situ* finalizzati a determinare le condizioni ambientali e le problematiche della struttura, nonché a costruire criticamente il progetto di rilievo e valutarne la sua fattibilità. Pertanto, è stata utilizzata una strumentazione che permettesse di svolgere le operazioni di acquisizione in condizioni di sicurezza e in modalità speditiva. Si è svolto un rilievo integrato mediante voli aerofotogrammetrici con esadrone, acquisendo immagini sia panoramiche sia ravvicinate.

Con specifico riferimento al castello e al suo contesto, si è ritenuto necessario eseguire rilevamenti dettagliati che permettessero restituzioni adeguate, mirate a favorire un'analisi conoscitiva approfondita della struttura e delle stratificazioni murarie, al fine di comprendere appieno le trasformazioni storiche subite dal complesso architettonico.



Fig. 3- Contesto planimetrico del castello e strutture a supporto (elaborazione grafica di Angelo De Cicco).

I rilievi fotogrammetrici aerei sono stati eseguiti utilizzando un drone *DJI Mini 4 Pro*, che grazie alla funzione di programmazione dei piani di volo, ha consentito la realizzazione di due acquisizioni distinte. La prima, caratterizzata da una maglia di volo più ampia e a distanza maggiore dalla struttura, ha permesso di ottenere immagini panoramiche dell'intero complesso. La seconda, più ravvicinata, è stata scelta in considerazione delle dimensioni del manufatto, e ha permesso di ottenere una restituzione grafica dei fotopiani con il massimo livello di dettaglio, fondamentale per l'analisi accurata delle singole componenti architettoniche. Oltre a questi, sono state effettuate delle prese zenitali di tutto il complesso e, in alcune parti si è proceduto in volo manuale. Le immagini raccolte durante il rilievo da drone descrivono lo spazio e la morfologia del luogo con le sue caratteristiche e peculiarità, permettendo di comprenderne tutti gli ambienti.

All'interno del villaggio fortificato, oltre al forte costruito in pietra con un impianto poligonale posto su due livelli, sono visibili i resti della chiesa di forma longitudinale, e i ruderi degli ambienti di servizio, probabilmente destinati alle stalle. L'insieme delle strutture è circoscritto in una cinta muraria della quale sono visibili alcuni tratti solamente sul lato est dell'altura. Attraverso software SfM, si è effettuata l'elaborazione fotogrammetrica seguendo un flusso di lavoro articolato in quattro fasi: *Align Photos, Build Dense Cloud, Build Mesh* e *Build Texture.* Questo processo inizia con l'individuazione e l'unione dei dataset fotografici, nel caso specifico solo quelli acquisiti dalla camera del drone utilizzato, consentendo di generare un modello di mesh poligonale basato sui dati della nuvola di punti densa. Successivamente, il modello poligonale viene texturizzato, passando da caratteristiche metriche a materiali e geometrico-compositive.

Nello studio del castello di Terraloggia sono state acquisite 183 immagini.

L'elaborazione ha generato inizialmente una *point cloud* contenente 368.780 punti su un totale di 411.263 rilevati, che è stata poi raffinata per ottenere una *build dense cloud* con 31.478,402 punti. Questa elevata densità di punti ha permesso di catturare con grande dettaglio le superfici architettoniche e le irregolarità strutturali dell'edificio.

La successiva fase di *build mesh* ha prodotto un modello con 3.449,214 facce e 1.725,811 vertici, fornendo una base accurata per la ricostruzione virtuale e per le successive analisi strutturali del castello.

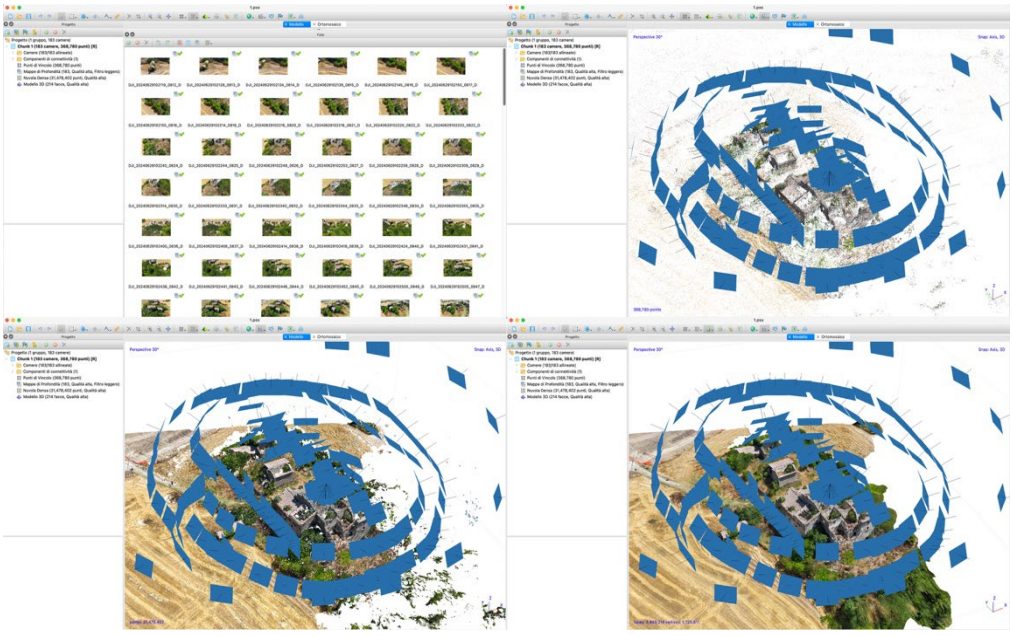


Fig. 4- Acquisizione e fase di allineamento dei dataset fotografici (elaborazioni e restituzione grafica di Angelo De Cicco).



Fig. 5- Processi di elaborazione con metodologia fotomodellazione del caso studio (elaborazioni e restituzione grafica di Angelo De Cicco).

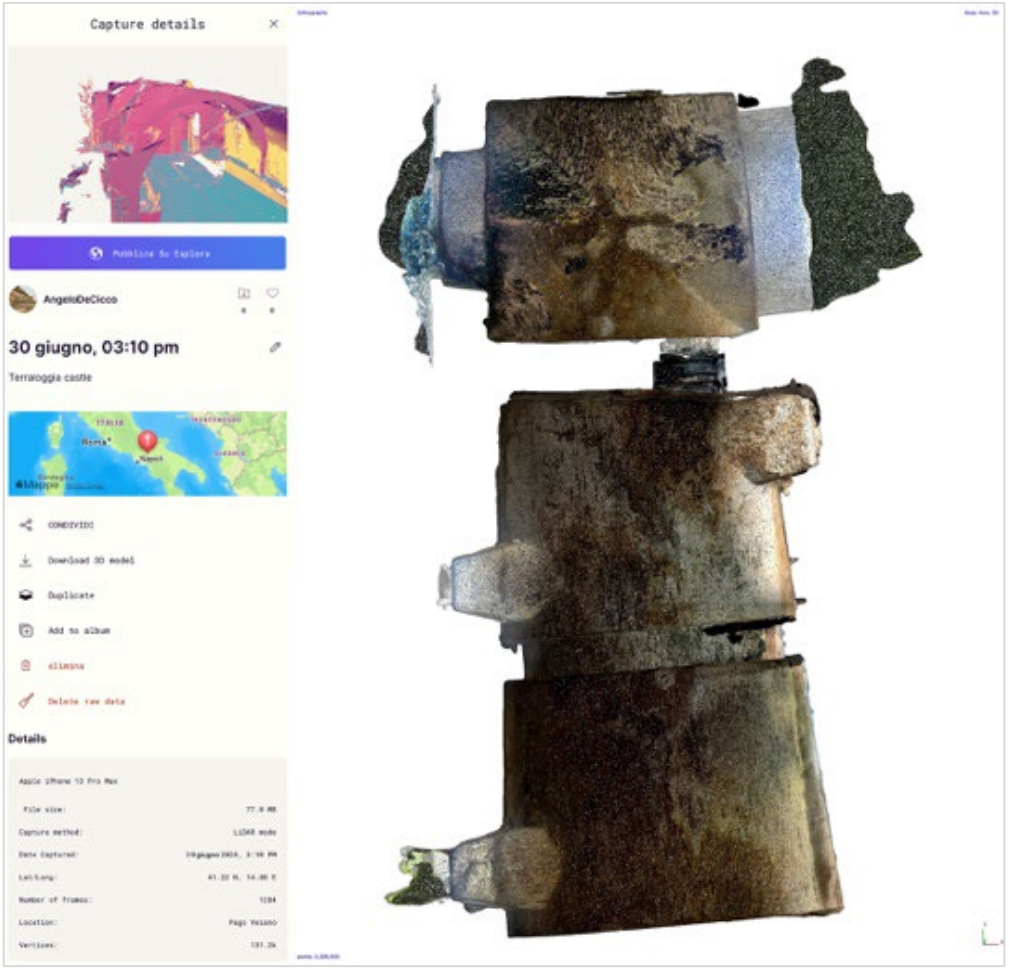


Fig. 6- Rilievo di dettaglio con metodologia LiDAR mediante app Polycam: ambiente destinato al lavatoio (elaborazioni e restituzione grafica di Angelo De Cicco).

I rilievi interni della struttura sono stati condotti esclusivamente in alcuni ambienti. È stato possibile osservare la distribuzione interna delle poche stanze accessibili dove, ancora oggi, si nota la configurazione planimetrica rettangolare, le strutture voltate a botte del soffitto e gli archi ribassati policentrici che collegano i vari ambienti. In modo particolare, è stato analizzato un locale dove, oltre alla successione di spazi con copertura a botte (una stanza con lavatoi), è visibile una stanza con volta a crociera dalla quale si accede alla corte interna.

L'acquisizione dei dati è stata effettuata utilizzando l'applicazione Polycam, che sfrutta la tecnologia LiDAR (Light Detection and Racing) per la scansione tridimensionale ad alta precisione. L'applicazione Polycam, è disponibile sui dispositivi Apple muniti di sensore LiDAR, consente di rilevare con accuratezza le geometrie e le caratteristiche architettoniche degli ambienti.

L'utilizzo di tale tecnologia ha consentito di definire modelli 3D dettagliati degli spazi interni, permettendo una documentazione precisa e una successiva analisi anche in presenza di una struttura danneggiata.

L'estrapolazione dei fotopiani da tale processo ha consentito la definizione di restituzioni digitali secondo le rappresentazioni canoniche del disegno. Viste le condizioni ambientali e l'avanzato stato di degrado dell'intero sito, la conformazione degli ambienti interni, al momento, non è stata possibile relazionarla e/o collegare alla conformazione esterna.

4. Importazione del modello digitale su piattaforme di visualizzazione: processo, benefici e innovazione

Lo studio esamina il processo di importazione e condivisione del modello digitale del Castello di Terraloggia su *Sketchfab*, una piattaforma che integra tecnologia fotogrammetrica, rilevamento con droni e modellazione digitale per la ricostruzione di strutture storiche.

L'importazione del modello tridimensionale su *Sketchfab* richiede innanzitutto la preparazione e l'ottimizzazione del file per garantire la massima qualità visiva e interattiva. È essenziale esportare il modello digitale ottenuto dalle attività di rilievo in un formato compatibile con *Sketchfab*, come .obj o. fbx, e mantenere un equilibrio tra risoluzione poligonale e leggerezza del file per evitare ritardi nel rendering online. Le texture ad alta risoluzione, inoltre, vengono ottimizzate riducendone il peso, pur mantenendo un elevato livello di dettaglio; la piattaforma supporta texture fino a 8K, permettendo così di evidenziare minuziosamente i particolari architettonici e storici del caso studio.

Una volta preparato, il file è stato caricato sulla piattaforma, che consente di aggiungere annotazioni interattive direttamente sul modello. Questo strumento è particolarmente utile per descrivere sezioni specifiche dell'edificio e fornire un contesto storico e architettonico dettagliato, arricchendo l'esperienza dell'utente.



Fig. 7- Visualizzazione del modello mesh su Sketchfab (elaborazioni e restituzione grafica di Angelo De Cicco).

Fig. 8- QR code del modello caricato su *Sketchfab*.

La configurazione della visualizzazione include impostazioni avanzate di luci e ombre che creano un effetto di illuminazione realistica, offrendo un'esperienza più immersiva. La piattaforma permette inoltre di selezionare angoli di visualizzazione predefiniti per focalizzare l'attenzione su particolari architettonici o storici rilevanti. Al termine della configurazione, il modello diventa immediatamente accessibile e può essere condiviso online tramite un semplice link o con codice QR per l'integrazione su altri siti. L'uso di *Sketchfab* per la pubblicazione del

patrimonio culturale di Terraloggia rappresenta un'innovazione notevole, capace di aumentare la visibilità e la comprensione della struttura facilitandone la comprensione della storia architettonica e dell'evoluzione della Torre in un formato coinvolgente e fruibile.

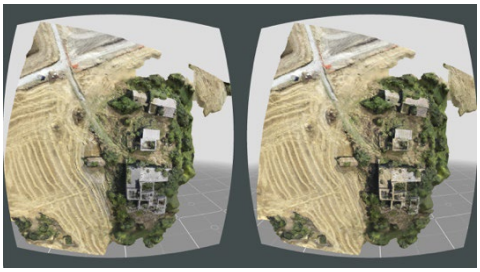


Fig. 9- Immagine generatrice per visualizzazione VR (elaborazioni e restituzione grafica di Angelo De Cicco).

5. Conclusioni

Il rilievo effettuato, combinato con le informazioni derivanti dalla ricerca bibliografica e archivistica, ha permesso di ottenere un calco digitale del castello di Terraloggia. Tale modello, costruito con software dedicati, ha permesso di renderlo quanto più prossimo alla realtà, arricchito da texture e da una maglia poligonale ad altissima risoluzione.

Sebbene gran parte della struttura fortificata risulti crollata e non accessibile, l'importazione del modello digitale nel software *Sketchfab* rende possibile la fruibilità del sito di Terraloggia da remoto, consentendone così la valorizzazione, la documentazione e la condivisione del patrimonio ad un'utenza sempre più estesa.



Fig. 10- Navigazione del modello mesh texturizzato da cellulare e QR code del modello caricato su *Sketchfab* (elaborazioni e restituzione grafica di di Angelo De Cicco).

Bibliografia

Beneventano, F., (2000), *Chronicon*. Traduzione, introduzione e note di Raffaele Matarazzo, Napoli, Arte tipografica.

Bertocci, S., (a cura di), (2018), *Programmi multidisciplinari per l'internazionalizzazione della ricerca. Patrimonio Culturale, Architettura e Paesaggio.* Firenze: didapress.

Caruso, P., (2012) Lo strano caso dell'iscrizione di san Michele di Terraloggia a Pago Veiano. In: Heikki Solin (a cura di), *Le epigrafi di Valle di Comino, Atti dell'VIII convegno epigrafico cominese.* Atina, Associazione Genesi, San Donato Val di Comino, pp. 37-44.

Corniello, L., De Cicco, A., (2022), *Sacred: the survey of the religious architecture of Berat.* Tirana: Pegi.

De Luca, L., (2011), *La fotomodellazione architettonica. Rilievo, modellazione, rappresentazione di edifici a partire da fotografie.* Palermo, Flaccovio Editore.

De Palma, N., (2018), *San Donato Patrono di Pago Veiano. Storie, culto e tradizioni.* Avellino, International Printing Srl.

Docci, M. & Maestri, D., (2009), *Manuale del rilevamento architettonico e urbano.* Bari, Laterza.

Gangale, L., (1999), *Pago Veiano - antica terra del Sannio.* Benevento, Realtà Sannita.

Iovane, D., Iaderosa R., (2024), L'anfiteatro campano di Santa Maria Capua Vetere visualizzando le forme del paesaggio archeologico. In: Valentino M., Ganciu A., Fusinetta A., (a cura di). *International Conference on Visualizing Landscape.* Alghero, PUBLICA.

Licinio, R. & Violante, F., (a cura di), (2006), I caratteri originari della conquista normanna. Diversità e identità nel Mezzogiorno, 1030-1130. *Atti delle sedicesime Giornate normanno-sveve.* Bari, edizione Dedalo.

Macher, H., Landes T., Grussenmeyer P., (2017), *From Point Clouds to Buildings Information Models: 3D Semi-Automatic Reconstruction of Indoors of Existing Buildings.* Applied Sciences, Vol. 7.

Monti, C., Selvini, A., (2015), *TOPOGRAFIA, FOTOGRAMMETRIA E RAPPRESENTAZIONE ALL'INIZIO DEL VENTUNESIMO SECOLO, STRUMENTI E MODALITÀ OPERATIVE.* Santarcangelo di Romagna, Maggioli S.p.a.

Remondino, F., (2011), *Rilievo e modellazione 3D di siti e architetture complesse*. In: DisegnareCon.

Ugolini, A., (a cura di), (2010), *Ricomporre la rovina.* Firenze: Alinea editrice.

Verdiani, G., Charalambous, A., (2024), *The Castle in Paphos, a fascinating, iconic, neglected, abused remain of a layered fortification.* In: DEFENSIVE ARCHITECTURE OF THE MEDITERRANEAN, Islami G., Veizaj D., Eds 17.

Versaci, A., Cardaci, A., Fauzia, L. R., (2024), *Il progetto della conoscenza per la conservazione e il restauro del castello di Piazza Armerina.* In: DEFENSIVE ARCHITECTURE OF THE MEDITERRANEAN, Islami G., Veizaj D., Eds 16.

Zerlenga, O., (2008), *Misure in divenire. Rilievo Multidimensionale dei nuovi contesti urbani fra permanenze e contaminazioni.* Napoli: La Scuola di Pitagora.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20354

I castelli sul mare di Puglia visti dall'alto

Angela Diceglie
Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Dipartimento di Ricerca e Innovazione Umanistica, Bari, Italia, angela.diceglie@uniba.it

Abstract

This contribution, through the analysis of photographs taken from helicopters between 1982 and 2015, intends to investigate the maritime castles of Puglia. By reading the images it is possible to recognize the architectural characteristics, the construction models, the construction phases, the materials used for their constructions, but also the relationship with the context they belong to. Furthermore, from the comparison between the different fortifications, it is possible to highlight typological and morphological similarities and the essential relationship that the artefacts have with the characteristics of the *locus* to which they belong. The images, compared with other types of investigations and with the data emerging from historical investigations, allow us to highlight the transformations that have occurred over time. The aim of the contribution is to formulate, with the aid of photointerpretation, some methodological observations that can establish reading rules for the Apulian coastal castles. The images were selected through a classification of different points of view (height, frontal view, angle, etc.) in order to synthetically represent the belonging of the objects to possible categories, clearly showing their distribution and mutual relationships.

Keywords: castles, sea, viewpoints from above, comparisons.

1. Introduzione

Guardare dall'alto il paesaggio, sia esso archeologico, architettonico o naturale permette di raccogliere notizie utili alla sua comprensione che non possono essere colte con altri strumenti di indagine. La fotografia aerea, strumento di indagine, fondamentale per gli studi archeologici e dei paesaggi, permette da un lato di guardare alla totalità del territorio, dall'altro di cogliere le relazioni tra le parti per valutarne le sue caratteristiche. Con la fotointerpretazione è possibile riconoscere conformazioni invisibili o difficilmente comprensibili a livello del suolo ma è anche possibile, osservare per monitorare il paesaggio (Ceraudo & Piccareta, 2000). Le fotografie aeree sono anche fonte di informazioni per gli studi dei manufatti architettonici e dei centri urbani. Nei manufatti di grandi dimensioni come nel nostro caso di studio, il punto di vista dall'alto ha un potere narrativo sintetico che permette di cogliere le caratteristiche proprie del modello costruttivo ma anche i suoi caratteri costruttivi. Il confronto, tra i punti di vista alti, frontali, bassi, angolati permette di acquisire dati sui rapporti che intercorrono tra i manufatti e il loro contesto topografico. Alla base dello studio dei manufatti e dei contesti urbani per mezzo dell'immagine aerea vi è quindi la scelta del punto di vista di vista.

Gli studi effettuati con l'ausilio delle fotografie aeree hanno la necessità di essere affiancati da altri tipi di indagine: indagini dirette, indagini storico-documentarie, rilievi critici e quant'altro utile per acquisire dati e informazioni.

Nel nostro caso di studio l'analisi delle immagini, dei castelli dei borghi storici costieri, dell'archivio fotografico del Laboratorio Centro Aerofotografico [L.C.A. (1)] dell'Università

(cc) BY-NC-SA

degli Studi di Bari Aldo Moro (immagini eseguite in un arco temporale molto ampio che va del 1985 al 2015) ha permesso di evidenziare le caratteristiche architettoniche, le tipologie, i modelli costruttivi, le fasi costruttive, il rapporto con il *locus*, ma anche il confronto tra gli edifici prima e dopo gli interventi di restauro. Lo studio, effettuato su undici castelli pugliesi della costa Adriatica e Ionica, si è avvalso di una sintetica indagine storica documentaria.



Fig.1- Identificazione geografica delle vedute aeree dei castelli (elaborazione dell'autrice).

2. Castello di Manfredonia

Tradizionalmente attribuito al periodo Svevo ad opera di Manfredi di Svevia (1232-1266), le prime notizie risalgono, comunque, al periodo Angioino (1279). Committente: Carlo I d'Angiò; progettazione: Pietro D'Angicourt; materiale costruttivo: pietra di Siponto.

Nel 1528 cominciarono i lavori del bastione pentagonale, che inglobò il torrione circolare aragonese posto a NO. Nel XVII secolo furono apportate modifiche: piano superiore dell'ala sud; apertura della porta sul mare e costruzione del rivellino (De Vita, 1974). La veduta a), alta e angolata permette di osservare il rapporto tra il castello, il borgo storico e il mare. Da qui si evince la posizione marginale del maniero rispetto al nucleo urbano antico tipica, nel nostro territorio, dei castelli urbani medievali. La veduta b) veduta bassa ed angolata mette in luce la sua struttura: il nucleo più antico, interno, con le quattro torri, di cui una ancora quadrata, riferibile all'impianto svevo, ed il nucleo esterno addossato con gli alti camminamenti, tre torri più basse ed un bastione pentagonale, che ingloba la quarta torre ubicato verso l'interno.



a)	b)

Fig. 2- Castello di Manfredonia (L.C.A. Uniba).

3. Castello di Barletta

Edificato dai Normanni intorno all'XI secolo, fu modificato da Federico II tra il 1224 e il 1228. Nel periodo Angioino compreso tra 1269 -1291, l'architetto Pierre D'Angicourt fu incaricato da Carlo I per la ricostruzione del castello. Tra il 1458-1481, gli Aragonesi rafforzarono la cinta muraria. Con Carlo V, nel 1529 con progetto di Evangelista Menga da Cupertino, il castello assunse la configurazione attuale. Una struttura di forma quadrangolare che ingloba al suo interno quelle di età precedente, con quattro bastioni pentagonali, numerose cannoniere e il fossato che distacca il maniero dalla terra ferma, su tre lati (Gelao & Jacobitti, 1999).

La veduta a) del castello, alta e angolata, mostra il rapporto con il borgo antico e con il mare. Si evidenzia la posizione marginale del manufatto rispetto al borgo antico, la sua vicinanza al mare ma anche quella, alla cattedrale.

Dalla veduta b), bassa e angolata si osserva la geometria e la regolarità del maniero con i quattro bastioni a punta di lancia, l'ampio cortile interno, l'ingresso con il ponte in pietra e il rivellino.

Le vedute c) e d), basse ed angolate evidenziano i caratteri costruttivi dei prospetti esterni divisi verticalmente in tre parti: basamento con muro a scarpa che termina con una modanatura a toro interrotta in corrispondenza delle cannoniere; fusto con piccole bucature e coronamento scandito da merlatura. Tutte le facciate sono caratterizzate da una muratura bugnata di colore grigio chiaro. Nella veduta d) si osservano le strutture aggiunte sui piani attici del maniero e il cortile interno che diversamente dai prospetti esterni, si caratterizza con numerose aperture, scalinate, archi e quant'altro finalizzato a

mostrare la funzione abitativa che il maniero ha vissuto.



a) b)



c) d)

Fig. 3- Castello di Barletta (L.C.A. Uniba).

4. Castello di Trani

Storicamente attribuito a Federico II (1233), il castello sorge su un banco roccioso di quota ribassata rispetto alla terra ferma, al centro di una rada sul modello dei castelli crociati di Terra Santa (Calò Mariani, 1984). Successivamente passò prima agli Angioini e poi agli Aragonesi. Con l'avvento delle armi da fuoco, venne adeguato ai nuovi sistemi di difesa con l'introduzione di due bastioni sul fronte interno. A SO, un bastione a punta di lancia e a NE a pianta quadrata.

La veduta a) alta e angolata mostra il castello nel margine dell'area peninsulare del borgo antico e la sua vicinanza alla maestosa cattedrale. Nella veduta b) bassa e poco angolata si osservano le trasformazioni avvenute nel tempo.

Delle quattro torri che in origine caratterizzavano l'impianto medievale, quelle fronte mare, non hanno subito importanti trasformazioni a differenza di quelle, fronte terra. La torre interna SO appare abbassata e addossata al bastione pentagonale, mentre quella NE è stata trasformata in un bastione quadrato. La trasformazione delle due torri interne in bastioni ha determinato l'introduzione di due nuovi cortili interni.

5. Castello di Bari

Storicamente attribuito al normanno Ruggero II. Sorge nel 1131 su preesistenti strutture di età bizantina e dopo il disastroso intervento di Guglielmo I (detto il Malo), fu ricostruito (1233-1240) da Federico II di Svevia. Successivamente, Carlo I d'Angiò attuò un programma di restauro e nel XVI secolo, con Isabella D'Aragona e sua figlia Bona Sforza, in occasione dell'adeguamento del maniero all'artiglieria pesante, il castello fu rinnovato. Intorno al nucleo Normanno -Svevo fu costruita una imponente cinta di mura bastionata e il suo interno fu trasformato in una elegante dimora rinascimentale. Nei secoli a seguire, il castello subì un sostanziale abbandono, divenendo prima carcere e poi caserma (Gelao & Jacobitti, 1999).



a) b)

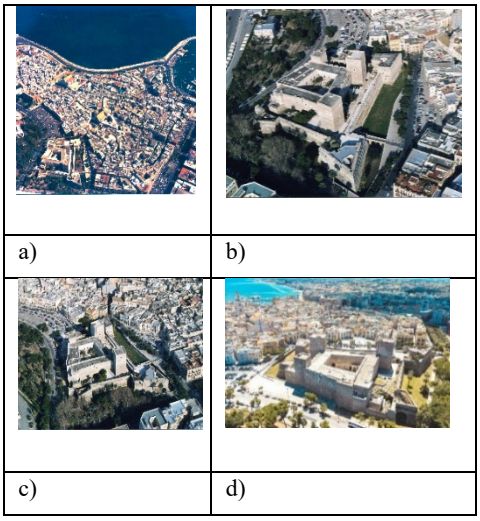
Fig. 4- Castello di Trani (L.C.A. Uniba).

La vista a), alta e angolata permette di osservare la posizione del castello, marginale rispetto al borgo antico peninsulare, ed il suo rapporto con il mare. Ubicato sul fronte opposto a quello della basilica di San Nicola, il castello non molto distante dalla cattedrale. La vista b), bassa e obliqua, del fronte SO, osserva: l'attuale ingresso con il ponte che attraversa il fossato; le possenti mura bastionate aragonesi, arricchite da beccatelli e il nucleo interno Normanno-Svevo a pianta trapezoidale, con corte centrale e tre alte torri angolari. La vista c), bassa e obliqua del fronte NO, in primo piano evidenzia le mura aragonesi a scarpa con i rispettivi bastioni, e più internamente, l'imponente facciata Normanno-Sveva con il portale federiciano. La vista d) del prospetto settentrionale, appare l'unica senza il fossato.

6. Castello di Mola di Bari

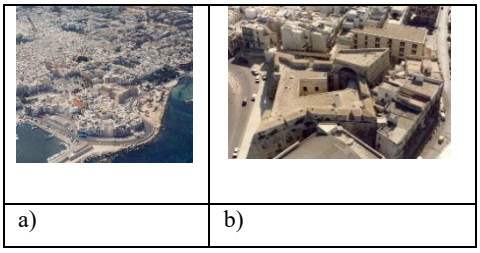
Storicamente attribuito a Carlo I d'Angiò (1278 – 1281), fu progettato da Pierre D'Angicourt ed a Jean de Toul. Nel 1530 passato a Carlo V fu ristrutturato secondo i nuovi parametri difensivi con progetto di Evangelista Menga da Copertino che lasciò le tracce delle strutture difensive medievale nel bastione meridionale e in quello orientale (De Vita, 1974). La vista a) alta e

obliqua osserva il *locus* occupato dal castello nell'area peninsulare marginale NO del borgo antico. Dalla vista b), bassa e obliqua, del piano di copertura, emergono in prima analisi gli ingombri di manufatti di epoca successiva che occultano il maniero, le merlature simili a quella realizzata per il castello di Barletta e il bastione meridionale più alto rispetto agli altri che ingloba le strutture di età precedente.



a) b) c) d)

Fig. 5- Bari, Castello Normanno Svevo (L.C.A. Uniba)



a) b)

Fig. 6- Castello Angioino di Mola di Bari (L.C.A Uniba).

7. Castello di Monopoli

Sorge nell'area più esterna della penisola di Punta Penna del borgo antico medievale che occupava la chiesa di San Nicola del X secolo. Inglobati al suo interno: la chiesa di San Nicola e una porta riferibile all'età romana, a sua volta innalzata sulle mura messapiche del V secolo a.C. (Carrieri, 1987). L'edificio, costruito per volere di Carlo V nel l552, fu attribuito come progettazione, al viceré Pedro de Toledo. A pianta pentagonale con torrione cilindrico sul fronte terra e bastioni sul fronte mare. Ristrutturato nel 1660 ad uso residenziale, a partire dal 1832 fu notevolmente rimaneggiato per la sua nuova funzione a carcere durata fino al 1969 (Barletta, Papio, & Rotondo, 1991).

La vista a) rende chiaro il rapporto tra il castello e il suo contesto urbano. Da questa immagine si evince anche la continuità progettuale tra il castello e la cinta di mura sul versante settentrionale. Dalla vista b), che evidenzia i fronti NO e NE si possono dedurre alcune informazioni sui caratteri costruttivi del maniero. L'immagine mostra una colorazione differente dei conci di pietra delle murature che rimanda all'utilizzo di materiale di riuso per la costruzione. Le facciate del castello sono caratterizzate da un basamento a scarpa che si chiude, come per altri modelli, con una cornice a toro. Nelle basse dei prospetti si osservano le cannoniere radenti. Mentre il coronamento rimanda ai modelli di Mola di Bari e di Barletta.



a) b)

Fig. 7- Monopoli, Castello di Carlo V (L.C.A. Uniba).

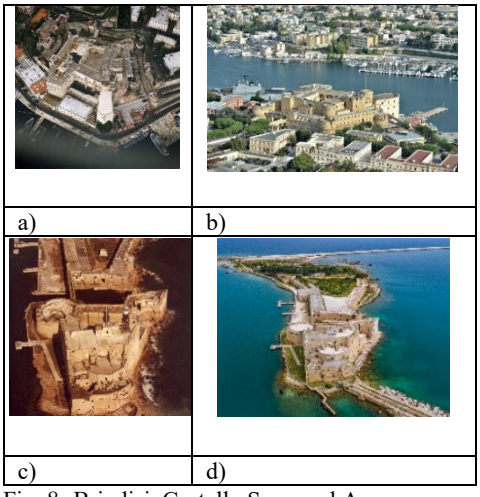
8. Castello di Brindisi

Brindisi è caratterizzata da due castelli: quello di terra, Svevo, ubicato ai margini del borgo antico sulla sponda interna del seno di ponente e quello di mare, Aragonese, ubicato sull'isola di Sant'Andrea.

Il castello Svevo, pluristratificato, è un possente manufatto attribuito a Federico II nella prima metà del XIII secolo. Restaurato dagli angioini, alla fine del XV secolo il castello fu ampliato dagli aragonesi e, infine, nel XVI secolo i nuovi interventi voluti da Carlo V ne hanno definitivamente rivisitato le strutture. Nell'Ottocento, Gioacchino Murat lo trasformò in carcere costruendo una nuova ala. A pianta trapezoidale con sette torri, nonostante mostri ancora il nucleo Svevo e l'antemurale aragonese, il maniero ha subito differenti rifacimenti non sempre identificabili (Cadei & Musca, 2004). Il

castello Aragonese, di mare, fu commissionato da Alfonso d'Aragona nel 1445 ed ultimato nel 1492. Nella seconda fase fu prolungata la rocca verso NE, con l'aggiunta di poderosi antemurali e baluardi, e assunse il suo aspetto definitivo (Sciarra Bardaro & Sciarra, 1981).

Caratteristica al suo interno è la piccola darsena a cui si accede per un archivolto aperto nelle mura. Costruito in carparo di colore rosso, osserva differenti legami con il *locus* dove è stato costruito, con i suoi caratteri topografici, con le tracce di fondazione, con gli assetti fisico-morfologici del luogo. La vista a) del castello Svevo, alta, frontale e inclinata mostra il maniero nel 1985. La vista b), alta e obliqua è molto più recente. Dal confronto tra le due immagini non si evincono interventi di restauro significativi. Nelle vedute c) e d) del castello Alfonsino si osserva con lo stesso punto di vista il castello prima e dopo i restauri. La c) si riferisce al 1985 mentre la d) è un'immagine attuale.



a) b) c) d)

Fig. 8- Brindisi, Castello Svevo ed Aragonese (L.C.A. Uniba).

9. Castello di Otranto

Di impianto aragonese commissionato da Ferdinando I di Aragona (1485-1498) e progettato da Ciro Ciri con la collaborazione di Francesco di Giorgio Martini, inglobò le fortificazioni Sveve ed i miglioramenti introdotti dai Turchi che avevano occupato la città nel 1480.

A pianta pentagonale irregolare, mostra tre torrioni cilindrici angolari e sul lato mare un bastione a punta di lancia aggiunto con i baluardi esterni nel 1578; sul bastione sono gli stemmi di Antonio De Mendoza e di Don Pedro da Toledo.



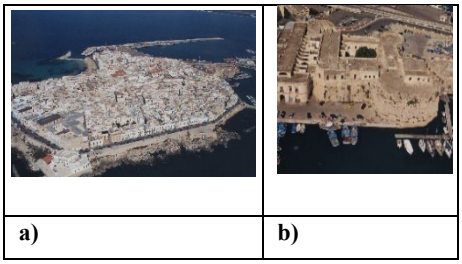
a) b)

Fig. 9- Otranto Castello Aragonese (L.C.A Uniba).

Sul portale d'ingresso campeggia il grande stemma di Carlo V (Milella, 2000). La vista a), alta e angolata mostra il promontorio del borgo antico affiancato ad Est da una insenatura oltre la quale è ubicato il castello. La vista mostra anche le mura urbiche, i piani di copertura delle torri circolari del castello sul fronte del borgo e il ponte in pietra d'ingresso che attraversa il fossato. La vista b) bassa e obliqua evidenzia numerosi dettagli del maniero come: le differenze dei coronamenti sui fronti SE rispetto a quelli NO; i corpi di fabbrica con altezze differenti che si affacciano sul cortile interno o ancora, il percorso del fossato che corre intorno al maniero.

10. Castello di Gallipoli

Manufatto pluristratificato (X-XVII sec.). Pianta quadrilatera con tre torrioni: il più grande SE è poligonale altri due a NE e NO, sono di forma circolare; un quarto torrione, analogo agli ultimi due, collocato a SO, crollò nel 1755 e non fu mai più ricostruito. Verso la terraferma, il castello presenta un rivellino riferibile all'architetto Francesco di Giorgio Martini, ma realizzato solo nella prima metà del Cinquecento. Il castello è stato costruito in pietra leccese carparo (Quarta, 2021). La vista a) alta e obliqua evidenzia il rapporto tra il maniero e l'isola su cui sorge il borgo antico di Gallipoli. Il manufatto è ubicato a cerniera tra il borgo antico e la terra ferma. La vista b) bassa ed obliqua permette di osservare l'impianto architettonico del maniero. A prima vista, il torrione poligonale, le torri del fronte terra, il cortile interno. L'immagine del 2004 mostra un degrado legato a presenza di vegetazione sulla facciata esterna. Da una attenta osservazione dell'immagine è possibile osservare che il torrione poligonale si appoggia sul muro perimetrale, a sostegno dell'ipotesi che sia stato ricostruito in età successiva a quella della cortina muraria più interna.



a) b)

Fig. 10- Gallipoli Castello Aragonese.

11. Castello di Taranto

Il castello Aragonese (1487-1492) sorge sull'estremità SE dell'isola su cui si trova il borgo antico. Il manufatto pluristratificato aveva un ruolo strategico fin dal II secolo a.C. Caratterizzato da quattro bracci marcati agli spigoli da quattro torrioni è articolato intorno ad una corte centrale. Dal 1861 il castello diviene caserma della Marina Militare. Nel corso del tempo è stato ridotto ad una sommatoria di parti autonome e separate. Nella fase Aragonese le torri diventano cilindriche, a questo periodo si riferisce la costruzione di una cappella con progetto di Francesco di Giorgio Martini. Al suo interno sono stati messi in luce resti di età bizantina e di età Sveva. Nella veduta bassa e angolata si osserva l'estremità SE dell'isola del borgo antico con il castello che segue la morfologia del sito, i suoi caratteri topografici, le tracce di fondazione, con gli aspetti fisico-morfologici del luogo. La facciata meridionale appare caratterizzata dai due torrioni esterni e all'interno una cortina muraria, bucata da finestre di grandi dimensioni con una singolare copertura a falde e tegole. L'immagine documenta da un lato la bellezza del manufatto e dall'altro le trasformazioni che gli uomini nel tempo, hanno apportato su esso.



Fig.11- Taranto Castello Aragonese.

12. Conclusioni

Dall'indagine, emerge che i castelli venivano costruite in aree marginali dei borghi antichi, nei pressi del mare, su strutture di età precedente in *locus* che potevano garantire un agevole via di fuga, facilità di rifornimento e controllo sul mare e sul territorio di appartenenza. Ma allo stesso tempo i castelli osservavano differenti legami con la topografia del *locus* dove venivano costruiti. Non solo con le tracce di fondazione ma anche con i suoi caratteri topografici, con gli assetti fisico-morfologici del luogo.

Le costruzioni mutavano, si riqualificavano al variare della dominazione di turno, delle tecniche e degli strumenti offensivi e delle strategie belliche. Le maestranze seguivano, i progetti dei loro committenti, degli architetti, che generalmente operavano in contesti simili. Progettisti come Pietro D'Angicourt al servizio di Carlo I d'Angiò o come Evangelista Menga da Cupertino al servizio di Carlo V, hanno lavorato per il castello di Manfredonia, di Barletta e di Mola di Bari.

I progettisti, volta per volta chiamati a ripensare e riprogettare i manieri, seguivano le culture e d i concetti estetici del tempo in cui operavano dando vita ad una varietà di manufatti che non è facile incontrare in altri luoghi. I castelli sono stati osservati da due punti di vista privilegiati: alto e inclinato, basso e inclinato.

Dal primo punto di vista sono emersi i rapporti con il loro contesto topografico, la loro posizione "marginale" rispetto al nucleo urbano. Dall'indagine effettuata con il secondo punto di vista più basso ed angolato, abbiamo avuto modo di osservare in modo generale, le fasi storiche, le forme, le strutture riferibili a tempi diversi, i materiali impiegati per le costruzioni e dove possibile, con le immagini di periodi storici differenti, il degrado e gli interventi di recupero.

In conclusione, è stato possibile effettuare anche una tavola che classifica i manieri in quattro distinte categorie. La prima: si riferisce alle strutture di impianto Normanno Svevo, generalmente ubicate ai margini del borgo, che in età Aragonese sono state ampliate in modo concentrico con nuove cinte di mura, terrapieni, bastioni e quant'altro utile ai nuovi sistemi difensivi; la seconda si riferisce ai castelli edificati in età Aragonese e generalmente ricostruiti sui resti di strutture di età precedente

che a differenza della prima categoria, conservano numerosi rapporti e connessioni con la topografia del *locus*; la terza si riferisce ai castelli di Barletta e di Mola di Bari che in età moderna vengono riprogettati da Evangelista Menga da Cupertino e inglobano al loro interno le strutture di età precedente: mentre alla quarta categoria abbiamo attribuito il castello Aragonese dell'isola di Sant'Andrea Brindisi dove la forma e la struttura derivano dalla topografia del *locus*.

Notes

(1) Il patrimonio di immagini del Laboratorio Centro Aerofotografico dell'Università degli Studi di Bari Aldo Moro (1984-2000) poi Consorzio L.C.A. della stessa Università (2000-2015) conta circa diecimila riprese da elicottero a bassa quota del territorio pugliese, messe a disposizione della ricerca scientifica sui beni archeologici, architettonici e paesaggistici del territorio pugliese.

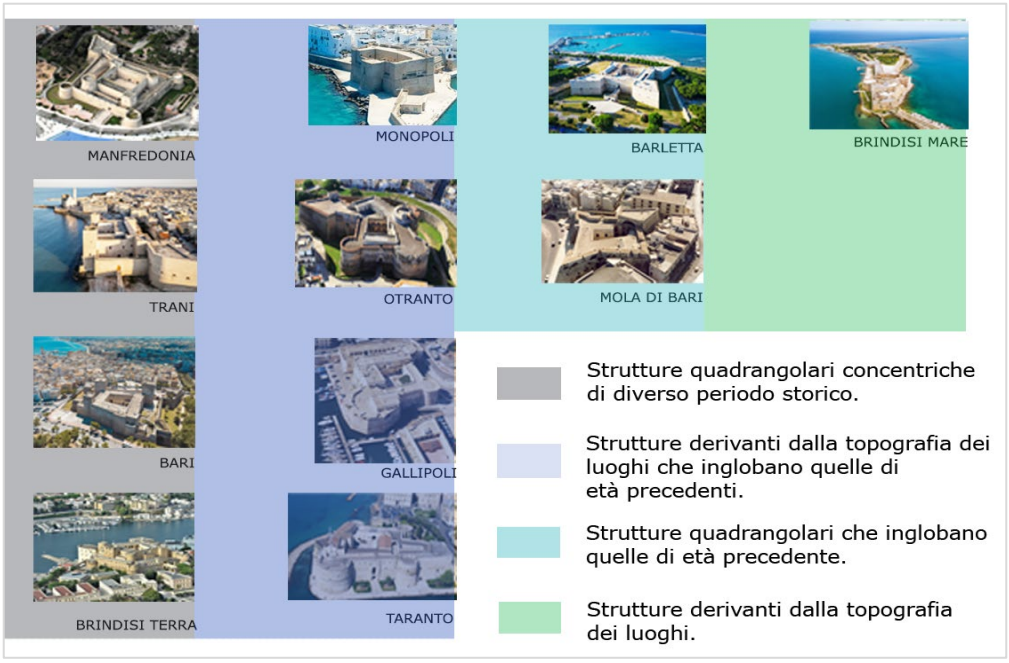


Fig. 12- Confronti tipologici dei castelli oggetto di indagine (a cura dell'autrice).

Bibliografia

Barletta, M., Papio, A. & Rotondo, S. (1991). *Historical-Critical Contribution to a Systematic Study on the Transformations of the Castle of Monopoli, Extract from Monopoli in Its Past*; n. 5; Monopoli, Prospero Rendella Municipal Library.

Brunetti, O. (2006). *L'ingegno delle mura. L'Atlante Lemos della Bibliothèque Nationale de France*, Firenze, Edifir.

Brunetti, O. (2007). Disegni di architetture militari del Viceregno di Napoli, dalla raccolta del cardinale Antonio Perrenot de Granvelle (1517-1586), in *Kronos*, 2007, 11, pp. 3-21.

Cadei, A. & Musca, G. (2002) Federico II e Carlo I costruttori a Brindisi e Lucera. In: Musca, G. (a cura di*), Le eredità normanno-sveve nell'età angioina. Persistenze e mutamenti nel Mezzogiorno: Atti delle quindicesime giornate normanno-sveve*, Bari, 22-25 ottobre 2002, Bari, pp. 235-302.

Calò Mariani, M. S., (1984). *L'Arte del Duecento in Puglia*, Torino, Istituto bancario San Paolo di Torino, pp.111-163.

Carrieri, M. (1987). Monopoli (Bari). Duomo. *Taras*, VII, Taranto, Scorpione Ed., Italy, 175-177.

Ceraudo, G. & Piccarete, F. (2000). Manuale di aerofotografi a archeologica. Metodologia, tecniche e applicazioni, Bari, Edipuglia.
De Vita, R. (1974) (a cura di), *Castelli, torri ed opere fortificate di Puglia*, Bari, Adda Editore.
Gelao, C. & Jacobitti G. M. (1999). *Castelli e cattedrali di Puglia*, Bari, Adda Editore.
ICCD. (2024) Archivio Aerofototeca Nazionale, available at: https://afn.cultura.gov.it/webgis/ (Accessed: December 2024).
Milella, M. (2000). Castello di Otranto. In Tocci, M. (a cura di), *Circuito dei castelli pugliesi*, Bari, Adda, pp. 60-69.
Ministero della Cultura (2024). Museo nazionale archeologico e Castello di Manfredonia, available at: https://cultura.gov.it/luogo/museo-nazionale-archeologico-e-castello (Accessed: December 2024).
Navarro, P., Giordano, A. & Zerlenga, O., (2023) Punti di vista dall'alto. *diségno*, 12/2023, 7-11.
Quarta, A. (2021). *Una città da difendere. Il castello di Gallipoli fra architettura militare e graffiti murali*, Monteroni di Lecce, Edizioni Esperidi.
Sciarra Bardaro, B. & Sciarra, C. (1981). *Il sistema difensivo di Brindisi*, Brindisi, Congedo.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20355

L'Isola d'Elba nella Seconda guerra mondiale. Studi e riflessioni a 80 anni dallo sbarco del 17 giugno 1944

Tommaso Empler[a], Ariana Caldarone[b]
[a-b] Sapienza Università di Roma, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Roma, Italia, [a] tommaso.empler@uniroma1.it, [b] adriana.caldarone@uniroma1.it

Abstract

The contribution presents the results of research conducted on the military posts of World War II on the Island of Elba, a territory that has been contested since ancient times due to its mineral resources and strategic position in maritime commercial traffic. Following World War I, the renewed geopolitical scenario within the Kingdom of Italy identified France as a potential enemy to defend against in the event of an invasion. For this reason, a defense process was initiated between 1920 and 1930, leading to the first plans for the construction of eight coastal batteries on the island. With Italy's entry into the war in 1940, the Royal Army began a fortification process that intensified from 1942 onwards. Subsequent events on the mainland led to the planning of Operation Brassard, the landing and liberation of the island, which commenced on June 17, 1944. One of the study's objectives is to enhance understanding of that part of Elba's history, 80 years after the Allied landing, which is known to few. It also aims to promote the recognition of those military structures that are still present and accessible, which form an integral part of the island's landscape and scenery. These structures tell their story and explain why they occupy some of the island's most spectacular and striking locations, often in dominant positions along the coast and in the inland areas.

Keywords: World War II, Isola d'Elba, batterie costiere, caposaldi difensivi.

1. Introduzione

Fin dall'antichità, l'Isola d'Elba è stata un territorio ambito per le sue preziose risorse minerarie e per la posizione strategica lungo le rotte commerciali marittime. Situata tra il Mar Ligure a nord, il Mar Tirreno a sud, l'Italia a est e la Corsica a ovest, l'isola ha rivestito un ruolo fondamentale per il controllo dei traffici nel Mediterraneo. Dopo la Prima guerra mondiale, il nuovo assetto geopolitico del Regno d'Italia individuò la Francia come potenziale minaccia, rendendo urgente l'adozione di misure difensive in caso di un'invasione dal mare proveniente dalla Corsica (Fig. 1).

Con la Legge n. 886 del 1° giugno 1931, denominata "Regime giuridico delle proprietà in zone militari importanti," l'Isola d'Elba venne riconosciuta come area fondamentale nella difesa del territorio italiano (Mussolini la definì "[…] una delle sentinelle avanzate dell'impero […]" (Felli, 2012).

Le iniziative di difesa erano già state avviate nel 1926 con l'elaborazione di progetti per otto batterie costiere a cura della Direzione Autonoma del Genio Militare per la Regia Marina di La Spezia. Quando l'Italia entrò nel secondo conflitto mondiale nel 1940, però, le installazioni difensive sull'Elba erano ancora limitate: erano assenti strutture difensive semi-permanenti come bunker in calcestruzzo, barbette in pietra o postazioni in caverna. Le prime opere difensive semi-permanenti, realizzate dal Regio Esercito a partire dal 1942,

BY-NC-SA

comprendevano i cosiddetti “Nuclei Fissi”, “Nuclei Mobili” e “Posti di Osservazione Costiera”, che segnarono un rafforzamento delle misure difensive dell’isola.

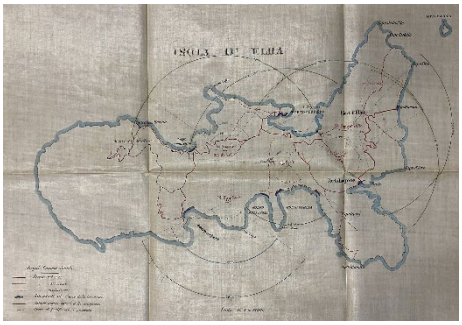


Fig. 1- Planimetria originale del sistema di fortificazione dell’Isola d’Elba previsto nel 1882 (Archivio dell’ISCAG, Istituto Storico e di Cultura dell’Arma del Genio, 1882-1888, Contenitore 36, Cartella 5).

L’Isola d’Elba fu coinvolta direttamente nella Seconda Guerra Mondiale dopo l'armistizio del 3 settembre 1943. Man mano che le forze alleate avanzavano sulla terraferma, con la rottura della Linea Gustav presso Montecassino, la presa di Roma e l’approssimarsi alla Linea Trasimeno (che includeva l’Elba nel settore strategico), l’intensità dei raid sull’Elba aumentava (Mariotti *et al*., 2018)

Dopo nove mesi di occupazione, il 16 giugno 1944 le forze francesi, supportate da mezzi navali e aerei britannici e statunitensi, avviarono l’Operazione Brassard per la liberazione dell’Elba. L’Operazione Brassard ebbe inizio alle 4:00 del 17 giugno, con lo sbarco delle truppe nel Golfo di Marina di Campo. Il 19 giugno l’Elba fu completamente liberata.

Da quel momento, tutte le batterie costiere e i capisaldi difensivi sull’Isola d’Elba furono abbandonati, con ciascuna struttura che seguì un destino diverso: alcune rimasero intatte, come sospese nel tempo; altre furono parzialmente riutilizzate, demolite o convertite per scopi turistici o agricoli. Oggi, il patrimonio militare realizzato sull’isola tra le due guerre è un esempio significativo di fusione tra natura e architettura: le strutture militari si integrano armoniosamente con il paesaggio naturale, in particolare con la macchia mediterranea, che ha ripreso possesso dell’isola e ha colonizzato aree un tempo coltivate a vigne e oliveti, prima della svolta turistica degli anni ‘60.

La ricerca intende rendere più accessibile, a ottant’anni dallo sbarco alleato dell’Operazione Brassard, una parte della storia elbana poco conosciuta. L’obiettivo è valorizzare le strutture militari ancora presenti e visitabili, che fanno parte del paesaggio dell’isola, raccontando la loro storia e il motivo della loro collocazione strategica in alcuni dei luoghi più suggestivi e panoramici dell’isola, sia lungo la costa, che nell’entroterra.

2. Metodologia

Per garantire una fruizione consapevole da parte di visitatori e studiosi, lo studio ha adottato un approccio multidisciplinare, che integra non solo aspetti architettonici e formali, ma anche elementi geologici, orografici, vegetativi, materiali di costruzione, tecniche edilizie e i contesti politico-militari e strategici di ciascun sito (Quendolo & Aldrighettoni, 2019).

Dal punto di vista metodologico di ricerca è articolata in diverse fasi:

1. analisi dell’organizzazione dei sistemi difensivi dell’Elba dal periodo dell’Unità d’Italia fino alla Seconda guerra mondiale, per ricostruire i piani e gli interventi eseguiti sull’isola fino al conflitto;

2. individuazione delle fonti che documentano lo stato delle difese elbane durante la Seconda guerra mondiale, tra cui i materiali conservati presso l’Istituto Storico e di Cultura dell’Arma del Genio (ISCAG), l’Ufficio Storico della Marina Militare (USMM), oltre agli archivi francesi, tedeschi, americani, inglesi e alcune raccolte private;

3. studio dell’organizzazione difensiva elbana, comprendente le batterie costiere e i capisaldi difensivi, con una narrazione storica che illustra l’esecuzione e lo sviluppo di tali strutture;

4. analisi dei progetti e rilievo delle strutture difensive presenti sull’isola, attraverso tecniche di acquisizione massiva di dati (laser scanner, fotogrammetria da drone georeferenziata, dati geografici e satellitari). Questo consente di rilevare sia aspetti geometrici tridimensionali delle strutture sia di identificare il sistema territoriale difensivo, composto da batterie,

postazioni mitragliatrici, punti di osservazione e altri elementi, confrontando i progetti originali con le realizzazioni effettive;

5. mappatura delle strutture difensive, con schede tecniche che illustrano le principali caratteristiche morfologiche e di gestione, compresi armamenti e personale necessario per il presidio;

6. studio delle cartografie predisposte durante l'Operazione Brassard, con dettagli sulla preparazione, avvicinamento, sbarco, azioni militari e completa liberazione dell'Elba, le quali forniscono indicazioni sul paesaggio e le coste elbane;

7. ricostruzione tridimensionale degli scenari bellici presenti sull'isola durante la Seconda guerra mondiale.

La ricerca (1) è stata possibile grazie alla collaborazione di associazioni culturali e studiosi locali, come il Gruppo Storico Culturale "La Torre" di Marina di Campo, il Circolo Culturale "Le Macinelle" di San Piero, l'Associazione di Promozione Sociale "Elbafortificata" e i Comuni di Marciana e Campo nell'Elba, con cui sono stati sottoscritti accordi di collaborazione scientifica.

L'attenzione, in questa sede, per motivi di spazio, viene concentrata sull' "Analisi dei progetti e rilievo delle strutture difensive presenti sull'isola" e sulla "Ricostruzione degli scenari bellici presenti sull'isola durante la Seconda guerra mondiale".

3. Analisi dei progetti e rilievo delle strutture difensive presenti sull'isola

I progetti e la costruzione delle batterie costiere da parte della Regia Marina e delle postazioni difensive da parte del Regio Esercito seguivano approcci differenti:

- la Regia Marina sviluppava piani esecutivi estremamente dettagliati, che prevedevano un lungo e complesso processo di pianificazione in tempo di pace, con tempi di progettazione e realizzazione che variavano tra i 4 e i 6 anni;

- il Regio Esercito, invece, adottava una pianificazione più rapida, strettamente legata al rapido evolversi della Seconda Guerra Mondiale. Le installazioni vengono progettate ed eseguite secondo una logica di sbarramento difensivo, applicando schemi predefiniti direttamente sui punti strategici dell'isola, ritenuti essenziali per la sua difesa complessiva.

Le batterie costiere e le postazioni del sistema difensivo dell'Isola d'Elba sono state rilevate per svolgere alcune valutazioni specifiche:

- verificare la loro effettiva conformazione e dimensione rispetto alle specifiche progettuali fornite dal Regio Esercito o dalla Regia Marina;

- analizzare l'introduzione di soluzioni costruttive locali, influenzate dall'uso di materiali autoctoni e dalla loro collocazione nel territorio;

- valutare lo stato di conservazione attuale.

Le acquisizioni avvengono mediante l'uso di rilievo integrato con TLS da terra e fotogrammetria da drone (2).

3.1. Progetti della Regia Marina

La progettazione e realizzazione delle otto batterie costiere sull'Isola d'Elba è curata dalla Direzione Autonoma del Genio Militare per la Regia Marina di La Spezia nel periodo tra le due guerre mondiali (1926-1932).

Queste batterie sono organizzate in base alla loro funzione: antiaerea, antinave o entrambe, così suddivise: Batteria di Capo d'Enfola "Ludovico De Filippi" (antinave, dotata di 5 cannoni) (Fig. 2); Batteria di Punta Penisola, Batteria di Capo Bianco e Batteria di Punta Grotte (tutte antiaeree, con 4 cannoni); Batteria

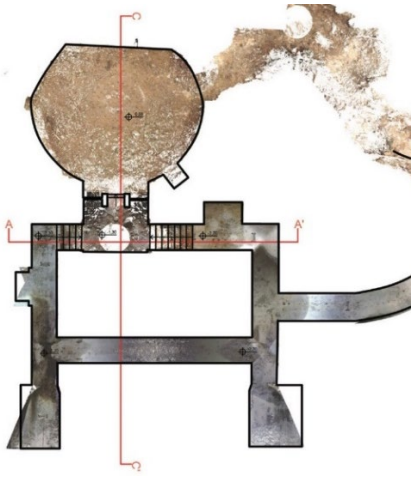


Fig. 2- Planimetria derivante dal rilievo del pezzo n. 5 della Batteria Costiera di Capo d'Enfola (elaborazione degli autori, 2024).

di Poggio Fortino (antiaerea e a protezione della rada di Portoferraio, inizialmente con 6 cannoni poi ridotti a 3); Batteria di Capo d'Arco (antiaerea e antinave, con 4 cannoni) (Fig. 3); Batteria di Punta dei Ripalti "Gino Fara Forni" (antinave, dotata di 4 cannoni); Batteria di Capo Poro (antiaerea e antinave, con 4 cannoni, rinforzata nel 1943 dai tedeschi).

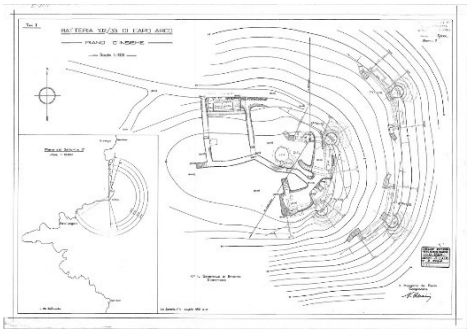


Fig. 3- Planimetria del progetto della Batteria Costiera di Capo d'Arco (Immagine da un archivio privato).

Ogni batteria comprende una stazione di tiro con telemetro, una centrale elettrica, una guardiola, edifici per gli alloggi del Capo Posto e della truppa, una cisterna, un sistema di illuminazione e, in alcuni casi, un deposito munizioni in caverna. Le postazioni di artiglieria sono collegate da un sistema di gallerie scavate nella roccia, dotate di riservette per munizioni e cariche.

La scelta della posizione strategica delle batterie si basa sulle carte dell'Istituto Geografico Militare (IGM) in scala 1:25.000. Tuttavia, data la necessità di una rappresentazione più dettagliata, i progetti esecutivi vengono sviluppati in scale maggiori (1:500, 1:200 e 1:100). Considerando che le batterie si trovano in aree orograficamente complesse, si procede a un'accurata definizione delle curve di livello del terreno, partendo dalle isoipse delle carte IGM con intervalli di 25 metri e integrandole con curve di livello ogni metro nelle nuove scale, richiedendo un rilievo topografico accurato direttamente sul posto.

3.2. Progetti del Regio Esercito

Le modalità generali per l'organizzazione delle difese del Regio Esercito sono elaborate dall'Ispettorato dell'Arma del Genio a Roma. I documenti ufficiali contengono schemi operativi per la difesa del territorio e diverse tipologie di strutture, come esemplificato nel documento di marzo 1941, che presenta soluzioni per: batterie e pezzi; postazioni per mitragliatrici (Fig. 4); postazione per obici su rovescio di altura ed in terreno pianeggiante; osservatori; postazioni per cannone in caverna ed in calcestruzzo; postazioni per mortai (anch'essi su rovescio di altura ed in terreno pianeggiante); ostacoli e ostruzioni anticarro.

Tra i documenti, degno di nota è quello del 26 giugno 1942, in cui l'Ispettorato, vista la scarsità di materiali disponibili per la difesa del territorio italiano, raccomanda di sostituire, ove possibile, la muratura in mattoni con pietrame e malta cementizia, utilizzando il calcestruzzo solo quando strettamente necessario. Queste indicazioni portano alla costruzione di strutture difensive che impiegano blocchi di granito elbano, con soluzioni alternative rispetto agli schemi originari forniti dall'Ispettorato.

Nel 1948, il Comando Territoriale di Firenze censisce le strutture militari residue sull'isola, suddividendo le tipologie in "muratura" o "muratura di pietrame" (strutture in granito provenienti dalle cave nel lato occidentale dell'Isola) e in "calcestruzzo".



Fig. 4- Immagine scattata durante un rilievo di una postazione per mitragliatrice in località "Monumento", Monte Cocchero in calcestruzzo armato (foto degli autori, 2024).

4. Ricostruzione degli scenari bellici presenti sull'isola durante la Seconda guerra mondiale

La ricomposizione virtuale del paesaggio bellico nella Seconda guerra mondiale richiede un approccio olistico alla materia ed un'attenta analisi ricostruttiva, anche in quanto questi siti sono spesso frammentati e deteriorati e pongono, dunque, sfide alla loro comprensione ed alla loro valorizzazione.

In questa sezione si descrive una procedura per ricostruire il paesaggio elbano tra il 1942 e il 1944, valorizzando i siti militari attraverso vari interventi: il ripristino virtuale dell'integrità visiva delle fortificazioni, il miglioramento della fruibilità per un pubblico ampio, il supporto alla didattica e alla ricerca sul periodo bellico, e la promozione della tutela e valorizzazione del paesaggio.

La ricostruzione del paesaggio segue un approccio di lettura duale: da un lato, l'osservazione diretta, con rilievi sul campo, acquisizione di dati geometrici e analisi delle caratteristiche fisiche e antropiche del paesaggio; dall'altro, l'osservazione indiretta, che comprende l'analisi di fonti storiche e documentali per contestualizzare le osservazioni dirette (Spallone, 2023).

L'eterogeneità dei dati derivanti da queste letture richiede una raccolta sistematica che consenta di gestire simultaneamente molteplici variabili per analisi interpretative affidabili e una visualizzazione organizzata e immediata.

A questo scopo, si segue una metodologia di indagine articolata in più fasi:

1. analisi delle strategie difensive e delle linee di resistenza della Regia Marina e del Regio Esercito;

2. studio degli insediamenti militari in relazione all'ambiente e alle sue risorse;

3. consultazione della documentazione cartografica militare;

4. ricerca iconografica tramite fotografie e immagini storiche del paesaggio;

5. acquisizione di immagini aeree storiche e attuali;

6. rilevamenti tridimensionali architettonici tramite laser scanner e fotogrammetria da drone georeferenziata;

7. analisi critico-interpretativa delle interazioni tra componenti naturali e antropiche del paesaggio per ricostruire il sistema territoriale;

8. creazione di modelli tridimensionali architettonici basati sui rilievi, planimetrie d'archivio e analisi spaziale per rappresentare i sistemi difensivi;

9. produzione di immagini (2D e 3D) per la visualizzazione e comunicazione dei dati.

Se le prime fasi sono già state analizzate nei paragrafi precedenti, o per brevità si omettono, ci si concentra, in questa descrizione, sulle analisi critico-interpretative del paesaggio e sulla produzione di immagini e modelli per la disseminazione e la valorizzazione. Infatti, la rappresentazione grafica del paesaggio elbano rappresenta il culmine di questo percorso di studio e analisi, articolandosi in due modalità: la creazione di immagini territoriali a piccola scala con linguaggio sintetico-critico per descrivere la complessità territoriale e la produzione di immagini tridimensionali dettagliate in stile fotorealistico per illustrare i sistemi difensivi nel loro contesto (Lugini, 2020).

In tal modo, si avvia un processo di valorizzazione del paesaggio bellico dell'Elba, che contribuisce alla conoscenza della storia locale e promuove un turismo consapevole e rispettoso del patrimonio culturale.

4. 1 Le analisi critico-interpretative

Le analisi critico-interpretative sono mirate a comprendere le relazioni tra la conformazione geografica dell'isola ed i motivi della distribuzione delle forze difensive, al fine di ricostruire il paesaggio naturale ed antropico, il quale si presenta molto variato in seguito alla fine delle guerre e all'avvento del turismo di massa. Allo scopo, si rivelano molto utili le cartografie storiche denominate "carte di invasione" e la consultazione dell'iconografia attraverso immagini aeree e/o di repertorio, le quali sono comparate con fotografie attuali, permettendo così la ricostruzione virtuale di camminamenti, architetture e aree naturali.

Le “carte di invasione”, realizzate dalla Francia con lo scopo di mappare le linee difensive sotto il controllo tedesco, prevedevano una rappresentazione simbolica delle vie di comunicazioni civili e militari, della conformazione del terreno e delle coste e della eventuale presenza di cave, nonché contenevano annotazioni sulle aree presidiate su base territoriale. Lo studio di queste carte consente di dare una prima traccia, con media accuratezza, della struttura del paesaggio elbano: nell’area orientale e mediana, sulle alture centrali, la vegetazione è prevalentemente costituita da macchia mediterranea (con differenti gradi di densità) intervallata da terrazzamenti agricoli, coltivazioni intensive e vigneti lungo le coste. Nell’area occidentale, gli aspri pendii rocciosi di natura granitica lasciano spazio ad aree boschive e incolte. Tuttavia, ai fini di una ricostruzione storica, rimangono da verificare le fonti secondo cui tali carte sono realizzate, per determinarne l’affidabilità. Per tale motivo diviene determinante il confronto con ulteriori fonti, come foto aeree ed immagini di repertorio (Gentile, 1996). Si procede, dunque, attraverso la fotointerpretazione integrata tra immagini storiche ed attuali. Allo scopo sono consultate orto immagini eterogenee, acquisite dalla Royal Air Force (RAF) Britannica o la Regia Aeronautica, che si presentano in B/N. Al fine di ridurre ulteriormente il livello di soggettività presente in una fotointerpretazione di immagini in bianco nero, sono seguiti specifici principi e metodologie con il fine di estrarre informazioni dettagliate su una varietà di aspetti, come la tipologia di copertura vegetale, la presenza di infrastrutture e l’uso del suolo. Tali principi si basano su caratteristiche di tonalità, tessitura e struttura delle immagini (Platì, 2015).

Infine, le immagini di repertorio costituiscono testimonianza tangibile di conoscenza grazie al loro valore di fedeltà al reale. Pertanto, le immagini reperite sono per lo più utilizzate come documentazione complementare a supporto delle interpretazioni derivanti da immagini aeree e cartografie.

4. 2 Gli scenari ricostruiti

La ricostruzione grafica tramite immagini statiche e/o dinamiche del paesaggio elbano modificatosi nel tempo è l’ultimo passaggio di un repertorio di studi e dati acquisiti. Il livello di accuratezza e di oggettività della ricostruzione dipende in larga misura dalla qualità e quantità di dati raccolti in situ, dalla documentazione reperita e dalla rilettura critica del materiale documentario raccolto. I dati e le interpretazioni da essi derivanti sono concretizzate in immagini, che possono essere di due differenti tipologie: immagini territoriali a piccola scala con un livello di dettaglio basso, finalizzate a descrivere, con un linguaggio sintetico-critico, la complessità territoriale; immagini tridimensionali di dettaglio, focalizzate sulla ricostruzione dei sistemi difensivi e del contesto in cui sono inseriti, volte a illustrare visivamente, con un linguaggio fotorealistico, fattori antropici e naturali. A livello territoriale la posizione degli elementi scomparsi, così come di quelli modificatisi nel tempo, è desunta da dati incrociati, al fine di trarre conclusioni sui modelli insediativi (studi orografici, analisi dei documenti testuali, analisi cartografica, resti visibili dal rilievo e dalle foto aeree, ecc.) (Hodder & Orton, 1976).



Fig. 5- Gestione su Unreal di dati satellitari per ottenere una morfologia del terreno affidabile. (elaborazione degli autori, 2024).



Fig. 6- Ricostruzione del paesaggio naturale ed antropico con alto livello di dettaglio (camminamenti e trincee) (elaborazione e restituzione grafica degli autori, 2024).

Per i singoli elementi architettonici l'intera metodologia si basa su un approccio deduttivo e comparativo, confrontando i dati raccolti con casi simili risalenti allo stesso periodo storico.

L'analisi deduttiva viene applicata attraverso lo studio delle forme geometriche precedentemente acquisite e delle tecniche costruttive basate sui principi della statica. Si ottiene un modello 3D che facilita anche la comprensione dell'equilibrio statico delle forme, della disposizione dei volumi e dell'applicazione delle leggi costruttive, permettendo di individuare eventuali incongruenze o errori nella ricostruzione. Il modello risultante è poi texturizzato attraverso l'impiego di elementi fotorealistici, ovvero tramite immagini digitali ad alta risoluzione che riproducono fedelmente le caratteristiche visive di materiali reali, che conferiscono al modello un elevato grado di realismo (Figg. 5, 6 e 7).



Fig. 7- Ricostruzione virtuale della batteria di Capo Bianco (elaborazione e restituzione grafica degli autori, 2024).

5 Conclusioni

Per un'efficace valorizzazione dei paesaggi bellici elbani attraverso la ricostruzione virtuale 3D, è necessario un approccio metodologico rigoroso che coniughi l'accuratezza storica alla qualità della rappresentazione visuale.

La fondatezza scientifica delle ricostruzioni virtuali è direttamente proporzionale alla ricchezza e alla varietà delle fonti documentarie a disposizione. Pertanto, l'indagine archivistica e l'analisi critica delle fonti storiche rappresentano un presupposto indispensabile per garantire l'attendibilità delle rappresentazioni digitali.

È fondamentale sottolineare che le visualizzazioni grafiche, pur essendo strumenti potenti per la comunicazione e la divulgazione, presentano intrinsecamente un margine di semplificazione e astrazione. È quindi cruciale che la realizzazione delle ricostruzioni virtuali sia guidata da un approccio critico, privilegiando l'accuratezza dei contenuti rispetto all'impatto visivo immediato.

Nonostante le limitazioni intrinseche, le rappresentazioni grafiche offrono un indubbio vantaggio in termini di comprensibilità, soprattutto per un pubblico non specializzato (Parrinello, 2019). Un approccio ottimale dovrebbe quindi mirare a un equilibrio tra rigore scientifico e capacità comunicativa, al fine di favorire un'ampia diffusione della conoscenza relativa all'evoluzione storica del paesaggio elbano.

Notes

(1) L'articolo è il frutto del lavoro collaborativo e della ricerca svolta da entrambi gli autori. Nello specifico testo, Tommaso Empler si è occupato dei paragrafi n. 1, 2, 3; Adriana Caldarone si è occupata dei paragrafi n. 4 e 5.

(2) Le modalità di acquisizione del TLS e della fotogrammetria da drone sono ampiamente note. Alcuni riferimenti bibliografici sono Barba *et al*, 2020 e Quattrini *et al*, 2022.

Bibliografia

Barba, S., Di Filippo, A., Ferreyra, C. & Limongiello M. (2020) A pipeline for the integration of 3D data on aerophotogrammetric frameworks. The case study of Villa Rufolo. In: Barba S., Limongiello M., Parrinello S., Dell'Amico A. (eds.). *D-SITE Drones - Systems of Information on culTural hEritage. For a spatial and social investigation.* Pavia, Pavia University Press*,* pp. 32-39.

Felli, R. E. (2012) La sentinella avanzata. Le difese costiere dell'isola d'Elba nel secondo conflitto mondiale. Pontedera, Bandecchi e Vivaldi.

Gentile, C. (1996) Il fondo fotografico delle PK presso il Bundesarchiv di Coblenza. In: Mignemi A., (ed), *L'Italia s'è desta. Propaganda politica e mezzi di comunicazione di massa tra fascismo e democrazia*. Torino, EGA edizioni, pp. 129-132.

Hodder, I. & Orton, C. (1976) *Spatial Analysis in Archaeology*. Cambridge, Cambridge University Press.

Luigini, A., Parricchi M., Basso A., Basso, D. (2020) Immersive and participatory serious games for heritage education, applied to the cultural heritage of South Tyrol. *In Interaction Design and Architecture(s) Journal,* 43. pp. 42-67.

Mariotti, C., Ugolini, A. & Zampini A. (2018) I bunker tedeschi a difesa della Linea Galla Placidia. Conservare un patrimonio dimenticato. In: *ArcHistoR, Anno V, n. 9*. Reggio Calabria, Università Mediterranea di Reggio Calabria.

Parrinello, S. (2019) Preserving memory through image: landscapes and digital databases for documentation. In Parriello, S. (eds) *Digital and Documentation. Databases and models for the enhancement of Heritage.* Pavia: Pavia University Press. pp. 19-34.

Platì, A. (2015) *Fotointerpretazione di una foto aerea in B/N del 1991 tramite ArcGIS.* Roma, ESRI Italia.

Quattrini, R., Angeloni, R. & Di Leo, B. (2022) Data integration and optimization for Cultural Heritage fruition. The case study of the Rail to Land Project. In: Parrinello S., Dell'Amico A., Barba S., Limongiello M., (eds.). *D-SITE Drones - Systems of Information on culTural hEritage. For a spatial and social investigation.* Pavia, Pavia University Press*,* pp. 38-47.

Quendolo, A. & Aldrighettoni, J. (2019) Leggere Un Paesaggio Militarizzato. Temi E Approcci Metodologici Per Il Riconoscimento Delle Stratificazioni. In Fumo, M., Ausiello, G. (eds) *Riconoscere E Far Conoscere I Paesaggi Fortificati, International Congress*. Napoli, Luciano Editore. pp.161 – 168.

Spallone R. (2023) Modellazione tridimensionale e presentazione del patrimonio culturale: esperienze di realtà aumentata (AR) e realtà virtuale (VR). In: Zerlenga, O., Cirafici A., (eds) *Nuove frontiere nel Disegno | New frontiers in Drawing.* Napoli, Dipartimento di Architettura e Disegno Industriale University Press. pp. 55-73.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20356

Torri costiere della Calabria Citra. Il caso della Torre-Isola Talao a Scalea (CS)

Francesca Fatta[a], Lorella Pizzonia[b], Francesco Stilo[c]
Università degli Studi Mediterranea, Reggio Calabria, Italia, [a] ffatta@unirc.it, [b] lorella.pizzonia@unirc.it, [c] francesco.stilo@unirc.it

Abstract

The proposed contribution, within the framework of a survey of the coastal defence system of northern Tyrrhenian Calabria – currently concentrated in the border territory between Calabria and Basilicata – proposes as a case study the digital survey of Torre Talao in Scalea (CS). The tower, built following the order of the viceroy Don Pedro Afán de Ribera in 1563, is located on a rock, previously surrounded by the sea, called *insula parva*, already inhabited in prehistoric times and now incorporated following the advancement of the coastline. The structure has a quadrangular plan and is developed on three levels above ground. The tower has a truncated pyramid shape, with a side of approximately 14.5 m at the base and 10 m at the top. The survey, carried out through digital photogrammetry, involved the integration of shots acquired by drone and images from terrestrial photogrammetry. On the basis of the survey, a digital model was produced.

Keywords: torri costiere, Calabria Citra, digital survey, digital heritage.

1. Introduzione

1.1 Il Codice che non c'è

Il tema delle architetture storiche costruite sulle rive del mare riveste sempre un'aura di fascino per il loro dialogo diretto con il più potente degli elementi naturali.

Le torri calabresi, per loro natura architettonica, disegnano il panorama costiero dell'intera penisola, data la puntuale e ripetitiva funzione per la quale sono state realizzate. Esse costituiscono una rete distintiva del paesaggio in grado di evocare nell'osservatore gli stessi principi fondanti che ne sono stati all'origine: quello della difesa, espresso puntualmente dall'elemento alto fortificato, e quello della comunicazione, rappresentato dal legame che connette due o più manufatti consecutivi. Esse furono costruite in larghissima parte nell'ambito territoriale dell'allora Regno di Napoli nel corso del '500 (1), sulla base di una preesistente, ma discontinua ed inefficiente infrastrutturazione, ideata per arginare le incursioni saracene. Da ogni torre era possibile tenere sotto controllo il tratto di mare di competenza, e comunicare tempestivamente alle due torri adiacenti ed ai centri dell'entroterra, ogni eventuale avvistamento. Le torri, spesso posizionate in luoghi strategici quali porti, approdi, centri abitati, etc., erano generalmente munite di pezzi di artiglieria in grado di proteggere gli stessi e di scoraggiare l'avvicinamento.

Da anni ci occupiamo in modo coordinato di ricerche su questo argomento, dai fari del Mediterraneo alle torri della Calabria ultra, e in particolare del Codice Romano Carratelli, più volte oggetto di studio anche nell'ambito di varie edizioni di FortMed.

In questo contesto vorremmo spingerci oltre il famoso Codice cinquecentesco, sempre fonte di ispirazione per progetti legati alla valorizzazione e alla fruizione del patrimonio fortificato costiero,

CC BY-NC-SA

immaginando che debba esistere, chissà dove, un secondo volume del Codice che completi la descrizione degli insediamenti di difesa sulle coste della Calabria Citra, ovvero quella parte del Regno di Napoli che riguarda la parte nord della Calabria, a confine con la Basilicata.

Su questa suggestiva idea del 'Codice che non c'è più' abbiamo voluto riprendere il "viaggio" che si interrompeva a Gizzeria, per leggere con lo stesso metodo le torri ancora presenti sul litorale tirrenico della Calabria settentrionale, classificandole secondo un principio tipologico (a base circolare e a base quadrangolare) per riconnetterle alla Calabria Ultra.

L'affondo su una delle torri più qualificanti della costa scaleota, la Torre Talao, rappresenta un paradigma del metodo già collaudato nella analisi scientifica del Codice Romano Carratelli e si può applicare al censimento delle numerose costruzioni fortificate presenti in tutto quel tratto di costa. Lo strumento del rilievo, comparato con gli scarsi documenti che la storia ci trasmette, ci porta a fare delle ipotesi adatte ad una narrazione di ciò che questo luogo può esprimere in continuità e in analogia con la rete delle strutture difensive della Calabria Ultra.

2. Le torri costiere della Calabria

La Calabria Citra non dispone ad oggi di una documentazione grafica unitaria analoga a quanto disponibile per la Calabria Ultra. Il sistema difensivo costiero della Calabria meridionale, infatti, è descritto nel manoscritto illustrato conosciuto con il nome di Codice Romano Carratelli, databile alla fine del XVI secolo. Il codice consta di 99 tavole acquarellate, che oltre a 'fotografare' lo stato di fatto, propongono l'individuazione di punti adatti alla costruzione di nuove torri; le torri di progetto, rappresentate mediante l'espediente grafico dell'acquarello azzurro (2), si sarebbero venute a collocare in punti in cui la difesa era giudicata carente. Il ritrovamento di un tale documento ha prodotto un significativo apporto ed un conseguente impulso negli studi sul sistema di difesa costiero della Calabria meridionale (3); un tale ausilio, per la Calabria settentrionale, è oggi assente.

Lo studio delle torri costiere della Calabria settentrionale, dal punto di vista della rappresentazione, trova quindi nel rilievo architettonico il proprio principale elemento fondante. Il rilevamento delle tracce presenti sul territorio rappresenta non soltanto uno strumento descrittivo, ma conduce verso un approfondimento di tipo analitico, finalizzato alla comprensione dei manufatti stessi e della loro storia evolutiva. In questo senso, la misurazione e la rappresentazione dei monumenti, vengono accompagnate dalla ricerca relativa agli studi precedentemente svolti, tanto su scala territoriale che relativamente al singolo manufatto ed al contesto che lo ospita. Da articoli e volumi di taglio scientifico, fino a ricerche di tipo documentario e archivistico, diviene possibile costruire quel dossier informativo e descrittivo finalizzato alla comunicazione ed alla narrazione di quel *cultural heritage* che i luoghi e gli oggetti indagati esprimono.

3. Il censimento delle torri costiere della Calabria Citra – litorale tirrenico

L'area attualmente presa in esame comprende la fascia costiera tirrenica della Calabria settentrionale. Questa zona, che ha inizio a sud con le pendici occidentali della catena costiera paolana, trova nel Golfo di Policastro la propria delimitazione settentrionale; si tratta di un ambito geografico entro cui si incontrano tre regioni italiane: la Calabria, la Basilicata e la Campania.

Anticamente denominato *Sinus Laus*, dal nome della *polis* magnogreca *Laos*, fondata sulla riva destra del fiume *Laus* dagli abitanti di Sibari fuggiti alla distruzione della propria città, avvenuta nel 510 a.C. per mano crotoniate, il Golfo di Policastro in epoca preromana era terra di confine tra *Bruttii* e *Lucani*. Secondo gli antichi i confini del golfo si estendevano da Capo Palinuro a Capo Bonifati, diversamente, secondo le convenzioni attuali, si tende a circoscriverlo tra Punta degli Infreschi e Capo Scalea.

In questo studio viene proposto un censimento che tiene conto dei limiti territoriali rappresentati a nord dal confine dell'attuale Basilicata con la Campania, e a sud dal limite in cui la ricognizione offerta dal Codice Romano Carratelli si interrompe, ovvero presso il comune di Gizzeria con la torre detta Suvaro.

La fase di inquadramento ha previsto la ricognizione del sistema difensivo costiero dell'area. Lo studio bibliografico ha consentito l'individuazione di alcuni elementi, lo stesso è stato utile a verificare la corretta interpretazione dei manufatti individuati (4). I sopralluoghi sul campo, effettuati anche mediante l'ausilio di

Aeromobile a Pilotaggio Remoto (APR), ed accompagnati da un'attenta ispezione visiva delle immagini aeree e satellitari del tratto di costa considerato, hanno determinato l'individuazione e la geolocalizzazione registrata su piattaforma GIS. Lungo il tratto di costa esaminato, sono presenti torri costiere difensive appartenenti ad un periodo compreso tra i secoli XI e XVIII.

Sono gli stessi caratteri morfologici dei manufatti esaminati, a suggerire l'epoca di costruzione: le torri che precedono l'epoca moderna sono prevalentemente cilindriche, diversamente, le torri del sistema di difesa costiero del Regno di Napoli presentano forma cilindrica su base troncoconica o forma troncopiramidale, caratterizzandosi per la conformazione del basamento o dell'intera torre a scarpata. Nella compilazione del censimento sono stati altresì segnalati i castelli; si tratta generalmente di strutture rimaneggiate in più fasi, di origine bizantina o normanno-sveva (5). Nella carta (Fig. 1), realizzata attraverso l'utilizzo del software Qgis, vengono indicate con icona a cerchio le torri a pianta circolare, con icona a quadrato le torri a pianta quadrangolare, con icona a stella i castelli. Allo stato attuale della ricerca, per il solo territorio della Calabria (6) stati censiti complessivamente 49 elementi; sono state individuate 12 torri aventi pianta circolare, 25 torri aventi pianta quadrangolare (7), e 12 castelli. La tabella attributi, su piattaforma GIS, è stata costituita inserendo un numero identificativo (ID) per ogni elemento censito, la denominazione, la datazione proposta, la provincia e la città di appartenenza. La carta, dal punto di vista grafico, è stata realizzata sulla base del modello di elevazione digitale (DEM) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

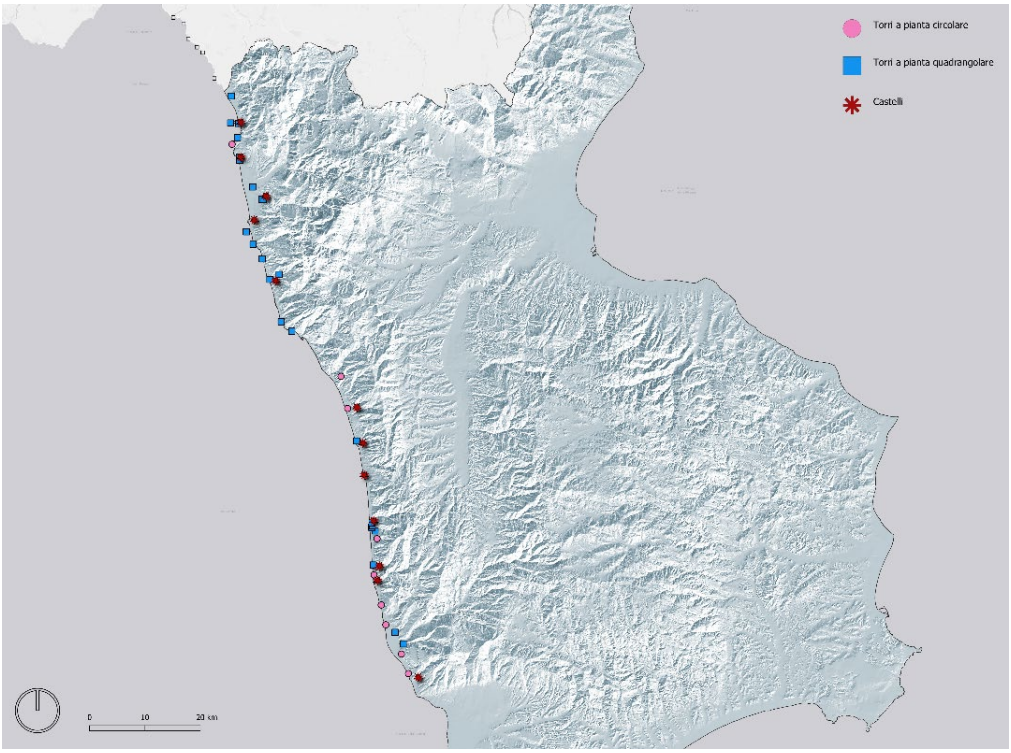


Fig. 1- Carta del censimento generale delle fortificazioni costiere della Calabria settentrionale tirrenica (elaborazione grafica degli autori, 2024).

4. L'*insula parva* e *a Turre i Mare* detta Talao

Torre Talao, chiamata dagli abitanti di Scalea *a Turre i Mare*, si colloca alla sommità di un piccolo promontorio roccioso un tempo isolato – da cui il nome *insula parva* (8), isola piccola – oggi inglobato nel litorale a seguito dell'avanzamento della linea di costa.

Le foto di inizio ‘900 dimostrano come tale processo di interramento, risultato dell’apporto di depositi alluvionali da parte del fiume Lao (9), sia relativamente recente. Se l’isola piccola risulta essere circondata dal mare nel portolano di Piri Reìs (Fig. 3), datato nelle sue due edizioni principali agli anni ’20 del 1500, il promontorio risulta essere già penisola (Fig. 4) nell’atlante del Rizzi Zannoni pubblicato nel 1812.

Le ricerche archeologiche hanno documentato come l’isola sia stata abitata già da epoca preistorica. Sono presenti grotte e cavità artificiali utilizzate nel corso del tempo da parte dall’uomo. Anche nelle successive epoche l’azione dell’uomo ha marcato il suolo della piccola isola, si segnalano tracce di epoca greca e romana; in particolare, relativamente al periodo romano, si possono rilevare consistenti porzioni di muratura in laterizio, forse riconducibili alla presenza di un ninfeo.



Fig. 2- L’*insula parva* in una cartolina degli inizi del ‘900.

La storia della torre comincia nel 1563, quando, per ordine di Pedro Afán de Ribera d'Alcalà, viceré del regno di Napoli, la stessa venne edificata. La torre è stata costruita a carico della popolazione di Scalea, la quale venne chiamata ad una contribuzione in denaro o alla prestazione gratuita di mano d’opera. Sembra che la torre venne privata dei pezzi di artiglieria verso la fine del XVII secolo, avendo ormai perso la propria funzione strategica di difesa. Nei decenni successivi la torre è passata di proprietà, rimanendo in mano a importanti casate.

Alla fine del primo decennio del XX secolo la torre viene dapprima affittata e poi acquistata da Amedeo Rocco Armentano (1886-1966), esoterista italiano che vi eresse la sede di una Scuola Pitagorica, la *Schola Italica*. Soltanto recentemente la torre è entrata nella sfera dell’interesse collettivo e pubblico. Gli accessi all’isola sono gestiti dalla pro loco cittadina (9), che organizza le visite di turisti e studiosi.



Fig. 3- Dettaglio del portolano di Piri Reìs in cui appare il tratto di costa studiato. Evidenziata in rosso la posizione dell’*insula parva*.



Fig. 4- Dettaglio di Scalea e la sua torre nell’atlante del Rizzi Zannoni.

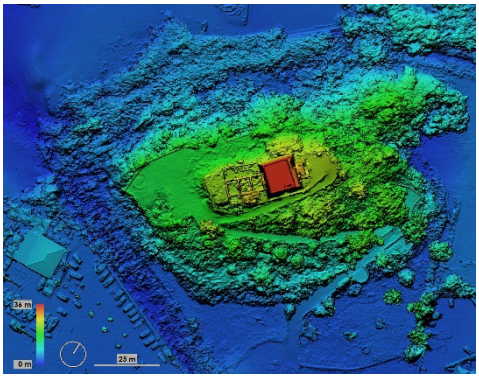


Fig. 5- *Digital Elevation Model* (DEM) dell’*insula parva* da cui si evidenzia l’originaria morfologia dell’isola, calcolato sulla base del rilievo eseguito da drone (rilievo ed elaborazione grafica degli autori, 2024).

5. Le operazioni di rilievo e restituzione

Al fine di fornire delle rappresentazioni ad una scala tale da consentire la lettura del rapporto esistente tra la torre e l’isola, è stato progettato un

rilievo da eseguirsi mediante l'impiego di Aeromobile a Pilotaggio Remoto (APR). Il rilievo è stato effettuato attraverso l'acquisizione di pose fotografiche. Sono state acquisite 432 fotografie ad una risoluzione di 5280x2970 pixel. È stato utilizzato un APR DJI Mavic 3 Classic equipaggiato da fotocamera Hasselblad L2D-20C dotata di sensore CMOS 4/3 da 20 megapixel, lunghezza focale pari a 24 mm equivalenti al formato *Full Frame*, ed apertura regolabile tra f/2.8 e f/11.

Durante le operazioni di acquisizione, al drone è stato fatto seguire un percorso di volo misto, a serpentina per le immagini nadirali, circolare (a spirale) per le immagini a 45 gradi finalizzate ad una maggiore definizione dei prospetti. Per l'allineamento e la produzione degli elaborati successivi, è stato utilizzato il software Agisoft Metashape. È stata prodotta una nuvola di punti densa composta da 85.521.155 punti. La nuvola di punti ha permesso la generazione di una *mesh* di tipo TIN (*Triangulated Irregular Network*) successivamente texturizzata sulla base delle immagini ad alta definizione. È stato inoltre realizzato il calcolo del *Digital Elevation Model* (DEM), utile a rappresentare l'originaria morfologia dell'isola attraverso l'estrazione delle quote altimetriche (Fig. 5).

Le immagini generate hanno portato alla realizzazione di elaborati di rilievo restituiti in ambiente CAD, in scala 1:200. Sulla base delle proiezioni parallele texturizzate sono stati disegnati la planimetria generale dell'isola (Fig. 6) ed il prospetto sud della stessa (Fig. 7).

L'alta risoluzione del modello prodotto permette l'esplorazione del modello e l'acquisizione delle diverse viste (Fig. 8).



Fig. 6- Planimetria dell'insula parva, restituzione vettoriale su mesh texturizzata (elaborazione grafica degli autori, 2024).



Fig. 7- Prospetto sud: in alto, restituzione vettoriale; in basso mesh texturizzata (elaborazione e restituzione grafica degli autori, 2024).



Fig. 8- Proiezioni parallele della mesh texturizzata, viste angolari (elaborazione e restituzione grafica degli autori, 2024).

6. La modellazione tridimensionale

Occorre segnalare come ad oggi la torre sia inaccessibile nei suoi ambienti interni, pertanto la modellazione tridimensionale del manufatto, eseguita in ambiente CAD, ha tenuto conto per le superfici esterne del rilievo aggiornato eseguito attraverso drone, mentre per la modellazione degli ambienti interni, ed in particolare per il livello terra, totalmente inaccessibile, si è potuto fare ricorso ad un rilievo esistente (10).

L'integrazione tra rilievo digitale e ridisegno, ha consentito la restituzione di torre Talao alla scala 1:100; alla medesima scala è stata eseguita la modellazione 3D in ambiente CAD (Figg. 9-10).

7. le caratteristiche del sito e la sua fruizione

Lo studio della Torre Talao mette in evidenza diversi aspetti: la identificazione di un punto cospicuo della costa adatto a definire un luogo di difesa che possa dialogare con manufatti analoghi posti sui promontori vicini; i sistemi tipologici e costruttivi analoghi al resto della Calabria; e ancora la modificazione della linea di costa in presenza di un corso fluviale che determina una diversa fruizione del sito, dato l'interramento avvenuto nel corso dei secoli che ha trasformato l'isolotto in penisola. Inoltre, la morfologia della piccola rocca, ricca di grotte e anfratti, riprende uno dei temi emersi nel Codice Romano Carratelli, nel quale a volte per alcune torri,

l'aspetto descrittivo si sofferma sulla necessità di tenere sotto controllo certe cavità poste sotto le torri che possono costituire occasione di ulteriore pericolo per la difesa.

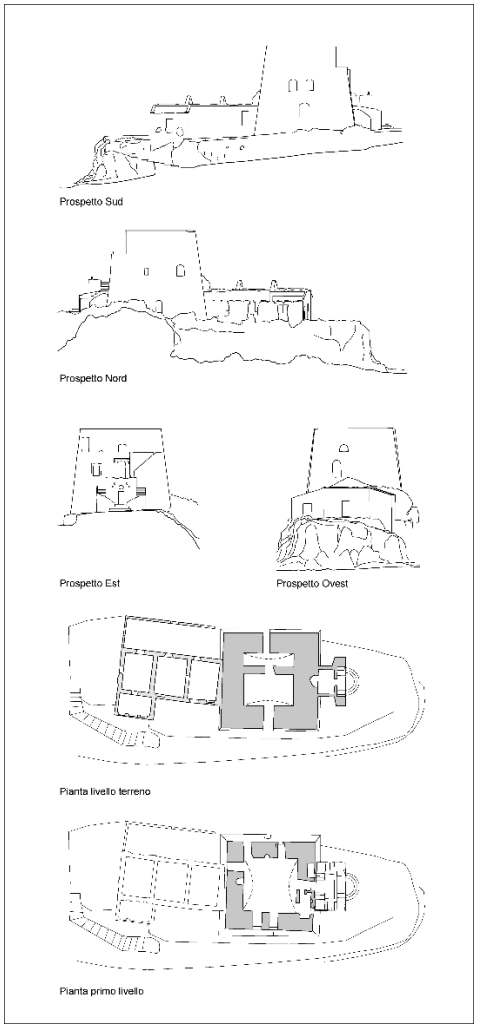


Fig. 9- Restituzione del rilievo (elaborazione grafica degli autori, 2024).

8. Conclusioni

L'esempio della Torre Talao risulta un paradigma ideale per la narrazione di un territorio ricco di segnali spesso muti che hanno bisogno di essere riconosciuti e riconnessi sia in ambito storico che topografico.

La linea di costa, intesa come confine ultimo tra terraferma e mare, è un riferimento in continua evoluzione e i manufatti che nel tempo sono stati realizzati mantengono con essa un rapporto di vicinanza più topologica che reale. L'analisi estesa ad un arco temporale di oltre tre secoli mostra delle variazioni della riva in avanzamento e in arretramento assai notevoli.

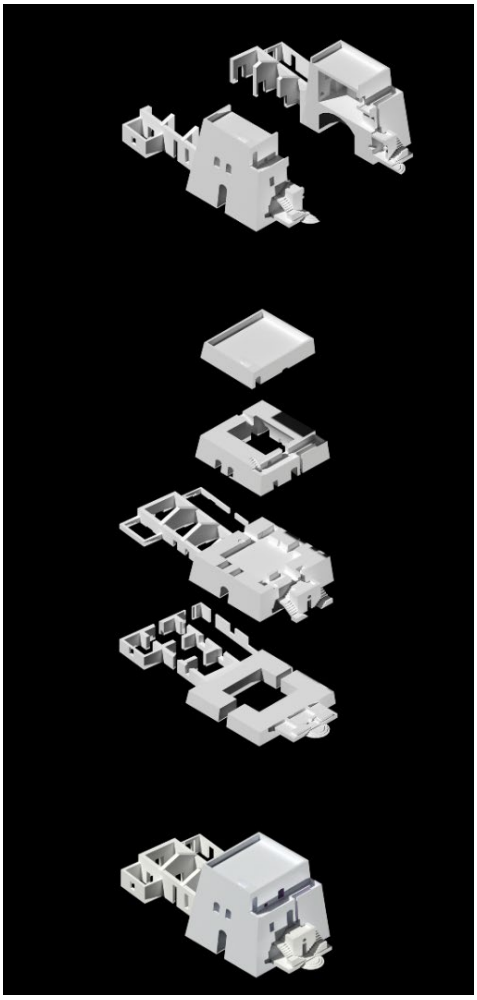


Fig. 10- Modellazione 3D della torre (elaborazione e restituzione grafica degli autori, 2024).

Pertanto, occorre anche considerare quanto il sistema di comunicazioni e l'approdo siano cambiati. Nella fruizione di tali beni culturali ciò che determina una effettiva ricaduta nel territorio è creare negli abitanti e nei viaggiatori una nuova sensibilità verso il patrimonio culturale, artistico e paesaggistico che li circonda attraverso la conoscenza diretta in chiave esperienziale di

questi manufatti. Il filo conduttore rimane il recupero del territorio in visione storica con l'analisi del rapporto fra forme antiche e persistenze ancora oggi individuabili e identificabili come le torri e le fortificazioni costiere, spesso valorizzati in maniera singola e non integrata.

Note

(1) La tipologia architettonica della torre costiera trova esempi fin dall'antichità. È con i secoli XI e XII, che le torri costiere iniziano ad avere una connotazione anti-saracena. Un tentativo di realizzazione di una rete organica si deve agli angioini, ma è soltanto con le ordinanze vicereali di Pietro di Toledo (1532) e Pedro Afan de Ribera (1563) che il sistema si struttura.

(2) Le torri esistenti sono acquarellate di un colore rosa aranciato.

(3) Nell'ambito della rappresentazione si segnalano in particolare le ricerche del laboratorio di Disegno e Rilievo dell'Architettura dell'Università degli Studi 'Mediterranea' di Reggio Calabria.

(4) Si fa riferimento al volume del Valente (1972) sulle torri costiere della Calabria, e alla consultazione di articoli e studi su ambiti locali, ed alle risorse on line del Ministero della Cultura, di altri enti pubblici e privati che conservano banche dati relative ad architetture militari.

(5) Vi sono tracce, in alcuni casi, riconducibili a al processo di spostamento degli insediamenti in altura attestato a partire dalla fine del VII sec. d.C.

(6) Si segnalano inoltre sei torri costiere individuate presso il territorio della Basilicata.

(7) Il dato relativo alla forma di Torre Misa, frazione di Torremezzo nel comune di Falconara Albanese (CS), oggi totalmente scomparsa, è stato tratto dall'atlante geografico del Regno di Napoli di Rizzi Zannoni completato nel 1812.

(8) La denominazione *insula parva* comparirebbe per la prima volta in un documento relativo al passaggio di Riccardo I 'Cuor di Leone' da Scalea, avvenuto il 18 settembre 1190. Il re era in viaggio da Marsiglia a Messina per partecipare alla terza crociata. Vedi (Valente 2021, p. 95.)

(9) Si avanza qui l'ipotesi che ciò sia da ricondursi all' aumento dell'estrazione del legname dovuto allo svilupparsi della rivoluzione industriale.

(9) Si ringrazia la pro-loco di Scalea.

(10) (Si veda) Si fa riferimento a Valente 2021, pp. 228-293.

Bibliografia

Bixio, A. (2008) *Torri di mare e osservatori di paesaggi costieri: disegni, documenti ed immagini delle torri costiere lucane*. Potenza, Grafie.

Cassi Ramelli, A (1964). *Dalle caverne ai rifugi blindati*. Milano, Nuova Accademia.

Cataldo, V. (2014) *La frontiera di pietra. Torri, uomini e pirati nella Calabria moderna*. Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane.

Fara, A. (1993) *La città da guerra*. Torino, Einaudi.

Fatta, F., Marraffa, A. & Patanè, C. (2020) Geometrie dello sguardo nel paesaggio calabrese. In: Navarro Palazón, J. & Garcia-Pulido, L. J. (eds.) *Defensive Architecture of the mediterranean*. Universidad de Granada, Universitat Politècnica de València, Patronato de la Alhambra y Generalife, pp. 899-906.

Martorano, F. (2015) *Progettare la difesa, rappresentare il territorio. Il Codice Romano Carratelli e la Fortificazione nel Mediterraneo secoli XVI-XVII*. Reggio Calabria, Edizioni Centro Stampa d'Ateneo.

Tarquini, S., Isola, I., Favalli, M., Battistini, A. & Dotta, G. (2023) TINITALY, a digital elevation model of Italy with a 10 meters cell size (Version 1.1). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). https://doi.org/10.13127/tinitaly/1.1.

Tarquini, S., Isola, I., Favalli, M., Mazzarini, F., Bisson, M., Pareschi, M.T. & Boschi, E. (2007) TINITALY/01: a new triangular irregular network of Italy. Annals of Geophysics. https://doi.org/10.4401/ag-4424

Valente, A. V. (2021) *L' insula parva di Scalea e la Torre di Mare detta Talao*. Scalea, Gridei.

Valente, G. (1972) *Le torri costiere della Calabria*. Chiaravalle, Frama's.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20357

Scan-to-BIM strategies and standards for HBIM purposes. A case study

Enrique José Fernández-Tapia[a], José Antonio Benavides-López[b], José Antonio Barrera-Vera[c]

[a] Universidad de Alcalá de Henares, Alcalá de Henares, Spain, fernandez.tapia@uah.es, [b] Universidad de Granada, Granada, Spain, jbenavid@go.ugr.es, [c] Universidad de Sevilla, Sevilla, Spain, barrera@us.es

Abstract

Today, when planning graphic documentation for architectural heritage, there are many tools – both hardware and software – that we can consider using to complete the work. In the past decade, there has also been a significant scientific output related to the popular concept of "Scan-to-BIM".
However, most publications focus, in some cases, on outcomes aimed at achieving a BIM model with a certain Level of Detail (LOD) and, in others, on the theoretical aspects of the workflow to be followed. In this paper, we aim to address the lack of works that discuss the different strategies that can be implemented in specific cases, depending on the various purposes for which this documentation will be used, while considering the standards that can be derived from existing epistemology.
This work includes a reflection on the different workflow options and techniques to be applied to the same case study based on the intended purpose of the HBIM model. The specific case study is the documentation of an Almohad tower located in the Alcázar of Seville (Spain), showcasing and discussing some of the results obtained.

Keywords: HBIM, Scan-to-BIM, Heritage, 3D modelling.

1. Introduction

Graphic documentation plays a pivotal role in the conservation and management of architectural heritage. Not only do ancient buildings possess unique geometries, but as historical structures age, they are also subject to various forms of deterioration, ranging from environmental factors to human intervention. As a result, these geometries are often particularly singular and uneven. Accurate and detailed documentation of these buildings is a challenging but essential task, not only for preserving their cultural and historical significance but also for guiding restoration and conservation efforts. Traditional methods of documentation, such as hand-drawn plans and photographic records, have long been employed to capture the complexities of heritage sites. However, with the advent of modern technologies, the field has undergone a transformative shift towards more precise and comprehensive techniques.

Digital tools such as laser scanning, photogrammetry, and Building Information Modelling (BIM) have revolutionized the way we document, analyse, and interpret heritage structures. These tools enable the creation of highly accurate 3D models that can be used for a variety of purposes, including structural analysis, restoration planning, and virtual tourism. The integration of these technologies into the documentation process ensures that even the most intricate details of a structure are preserved, allowing a more informed approach to its conservation.

In this context, numerous case studies applying digital techniques have been published over the

CC BY-NC-SA

last two decades. In the past decade, Scan-to-BIM has emerged as a trending topic in academic papers. According to recent research (Coldwell, 2024) the applications of Scan-to-BIM are: facility management, digital twins, digital assets, pre-construction scans, HBIM, Scan-vs-BIM, inspections, and construction progress monitoring. Despite the vast diversity of focuses and workflow proposals, there is no general agreement on the specific workflows and standards to follow.

Therefore, in this work, we aim to reflect on this issue and propose different workflows that must be linked to the documentation process. This case study serves as an exemplary illustration of different methodologies that depend on the geometry of the object and the purpose of the documentation process. The following sections will delve into the specific methodologies employed in this project, showing the critical role that accuracy and detailed graphic documentation play in different cases.

2. Rise of Scan-to-BIM. A review

Scan-to-BIM is now a common object of research. There are several knowledge areas where Scan-to-3D model, and consequently Scan-to-BIM, have been implemented since the inception of 3D scanning technology.

In fact, according to professionals involved in the launch of the first 3D laser scanner, at product launch, the only workflow for processing point clouds into deliverables was to model point clouds into simple geometric objects and then export those models via DGN to CAD applications" (Jacobs, 2020).

This was at the very end of the 20th century. Immediately thereafter, the earliest releases of scanning software, such as Cyclone by Leica, at the beginning of the 21st century, already included automatic modeling of point clouds, focusing primarily on piping. The advances since then have been extraordinary. Currently, many features aim to fulfill the Scan-to-BIM process automatically, albeit with modest results. Specifically, Leica Cyclone 3DR (formerly 3DReshaper) includes classification, segmentation, and automatic feature extraction.

Many other software and plugins have developed similar features and further integration with BIM suites. Among them, widely used in Architecture, Engineering, and Construction (AEC) are EdgeWise by ClearEdge (EdgeWise, 2024) or usBIM.scan2IFC by ACCA software.

Regarding open-source attempts, we can mention the Scan-to-BIM tool that generates BIM models, following the IFC standard, from point clouds. This tool belongs to the BIMERR project (BIM-based holistic tools for Energy-driven Renovation of existing Residences) (BIMERR Consortium, 2024).

As for recent research advances, efforts have primarily focused on three techniques: mathematical algorithms, deep learning, and machine learning (Kufuor, 2021). One of the challenges in analyzing the results of different research works lies in the heterogeneous origin of the point cloud data, not only in terms of density, accuracy, or structured features but also coverage. This last weakness, the lack of information due to occlusions, poses a significant problem in Scan-to-BIM. Some studies have addressed this issue, but further research is needed, as established workflows in 3D scenarios remain lacking (Cabrera Revuelta, 2021).

It is fair to say that the advancements in capture systems in recent years have dramatically increased capture speed, quality, and flexibility, resulting in more complete and homogeneous point clouds. Furthermore, the HDR capabilities of cameras, along with the high density of points provided by sensors, pave the way for outstanding representations, barely by means of the point cloud. Consequently, the options of scan-to-BIM automation are becoming greater and greater.

In fact, the field of point cloud processing has experienced significant advancements through the integration of deep learning techniques, particularly within Computer Vision (CV) applications. This evolution has substantially enhanced Scan-to-BIM capabilities by providing improved semantic understanding tools. The key technological developments are as follows:

2.1. Point Cloud Registration

DNNs have enabled sophisticated feature learning capabilities, facilitating the correspondence matching between multiple scans improving registration processes (Aoki, 2019).

2.2. Floor Plan Generation

Recent research has explored top-view analysis of point clouds, achieving simultaneous semantic

extraction for floor plan reconstruction and integration of spatial and semantic information (Liu, 2018); (Chen, 2019).

2.3. 3D Semantic Segmentation

A pivotal advancement has emerged through the development of DNNs for three-dimensional semantic segmentation. By leveraging extensive public 3D datasets ((Armeni, 2016); (Dai, 2017), sophisticated architectures such as PointNet++ (Qi C. R., 2017) and KPConv (Thomas, 2019) have been developed. These systems effectively process point clouds from building interiors, predict the semantic categories for individual points, and segment scans into clusters corresponding to distinct physical objects.

2.4. Object Detection and Recognition

In parallel to semantic segmentation, 3D object detection has emerged as a significant research direction (Qi C. L., 2018). This approach has proven particularly valuable for furniture recognition in interior spaces, small object reconstruction and enhanced modeling of building interiors.

3. Remaining Challenges

The integration of deep learning with point cloud processing has substantially improved our capacity to understand and model-built environments through automated processes. However, despite rapid advancements in 3D scanning and DNNs, fully automated Scan-to-BIM (Building Information Modeling) still faces several challenges. To effectively leverage DNNs for automation in this context, careful design is essential to address issues related to data quality in real-world industry scenarios. Additionally, a robust Scan-to-BIM pipeline based on DNNs relies on the appropriate selection or adjustment of network architectures, as well as the seamless transition from DNN predictions to the target BIM reconstruction (Yijie Wu, 2023).

The challenges in(with) Scan-to-BIM approaches become even more pronounced when focusing on heritage architecture.

Nonetheless, significant progress has been made thanks to the aforementioned machine learning techniques. For instance, *Support Vector Machine* (SVM) algorithms have effectively extracted key structural components such as floors, ceilings, roofs, walls, and beams, even in the presence of substantial clutter and occlusions, using real data from various existing buildings (Bassier, 2017).

Although we cannot yet consider a fully operational Scan-to-BIM solution, this approach marks a fundamental step forward in the semantic classification and labeling of extensive datasets, enabling experts to better document and manage heritage assets.

In summary, neither commercial software nor research initiatives have decisively resolved the primary issue in Heritage Building Information Modelling (HBIM): determining the most appropriate geometric representation for a specific project unit or artifact.

This representation could take the form of a simple geometric primitive, a Non-Uniform Rational B-Spline (NURB), a Triangulated Irregular Network (TIN), or even a point cloud. Moreover, it may involve a combination of these formats, as each can contribute differently to the definition of the BIM model depending on the Level of Detail (LOD) or Level of Information (LOI) required for the project. Current BIM platforms offer various tools and procedures to manage different LODs.

However, they often lack the capabilities to handle these multiple representation formats. Notably, one of the most effective BIM tools has emerged not from the native BIM domain, but rather from general-purpose 3D computer graphics applications: Blender. With the aid of the Bonsai add-on (formerly known as BlenderBIM), Blender can manage diverse formats, from point clouds to Industry Foundation Classes (IFC).

Blender is an open-source 3D design software that supports both organic and parametric modelling, featuring a customizable OpenGL graphical interface with Python scripting for the development of extensions to enhance application functionalities. Python is an interpreted, cross-platform, high-level programming language (Pérez-García, 2024).

There are several case studies that relay in Blender due to the fact that being an open-source software, it can handle point data, advanced modeling features, and the ability to adapt to the specific requirements of a BIM project (Blaszczak-Bak, 2024).

Despite the effectiveness of these new approaches, many case studies have relied on conventional AEC and BIM software, with numerous papers documenting Scan-to-BIM strategies (Rocha, 2020) (Baik, 2017) (Moyano, 2022).

4. BIM Standard workflow

Acknowledging that there is no established agreement on an automated workflow for Scan-to-BIM applied to heritage, we will focus on the as-built goal by utilizing commercial and widely tested software. The acquisition workflow and standards have been described in previous works (Rodríguez-Navarro & Gil-Piqueras, 2024).

Additionally, cleaning and segmentation operations must be completed beforehand, either through the automatic or semi-automatic methods mentioned earlier or manually using point cloud editing software.

The input data should include both the entire point cloud and the segmented point cloud for each individual constructive element that can be modeled as a BIM family. Consequently, after obtaining the point cloud, the following steps must be taken:

1. Total cloud registration: register the entire cloud according to the parameters set in the previous section. To verify this, it is advisable to create sections strategically placed in at least three perpendicular directions to ensure there are no gaps between scans or errors in registration.
2. Georeferencing Verification: check the georeferencing, and if it is not available, georeference the data, indicating the precision of the process.
3. Translation and Rotation: translate and rotate the data to the local coordinate system relevant to the project. It is crucial to preserve and document the transformation matrix of the rotation and translation during this operation.
4. Cleaning: remove all moving parts, noise, and other irrelevant data.
5. Cloud Decimation: eliminate redundant points to reduce the file size. The decimation process must always respect the provisions outlined in the initial section.
6. Backup: create a copy of the original point cloud to maintain it as a reference, and work with the copied version from this point forward.
7. Segmentation: segment the point cloud into building elements. This phase is fundamental, and the author's knowledge of construction and heritage architecture plays a crucial role.

Focusing on the process within the BIM application and bypassing the acquisition, cleaning, and segmentation stages, we believe there is a general consensus on the workflow followed in our case study. Below, we summarize the key stages involved in this approach:

Stage 1: Project Setup

- Create a New Project: select the appropriate template from the BIM app library based on project requirements.
- Insert Point Cloud Data: import the captured point cloud data into the BIM app (Revit in our case).
- Map and Adjust Coordinates: align the point cloud with the project's coordinate system and establish project north.
- Set Floor Levels: define the project origin at level 0 and create the necessary floor levels.
- Establish Plan Views and Grids: organize views based on the created levels and finalize metrics for any deviations in walls and floors (Fig. 1).

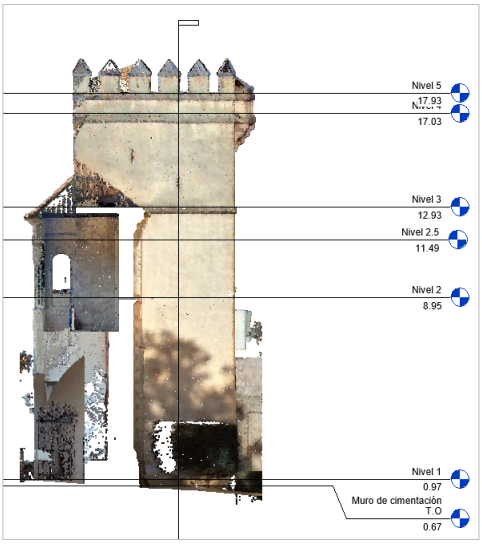


Fig. 1- Point cloud and BIM levels (graphic elaboration by the authors, 2024).

Stage 2: Modeling

- Create Work Sets: organize different building components into separate work sets.
- Define Materials: specify wall, floor, and roof, and add components like arches, alcoves, and columns.
- Verify Elements: after modeling, check the created elements in different views (section, elevation, 3D) against the point cloud.

Stage 3: Quality Check

- Run Checks: create horizontal and vertical sections to identify any errors or deviations.
- Maintain Tolerance Accuracy: establish filters to monitor element categories and functions, ensuring they meet specified tolerances.
- Clash Detection: It can be done visually, by playing whit different colors that highlight the mismatching areas, o automatizing the process by using clash detections software such as Autodesk Navisworks, to identify and resolve clashes between modeled entities and original point clouds (Fig. 2).

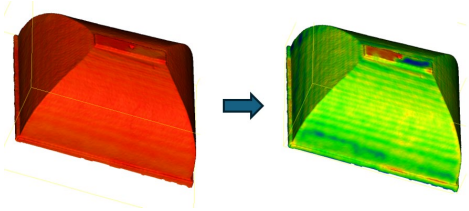


Fig. 2- Quality check of a vault (graphic elaboration by the authors, 2024).

Stage 4: Final Output

- Extract Output: produce the final models and deliverable documentation from BIM app, analysis, and related software (database, image editors, VR, etc.)
- Reduce Rework & Enhance Accuracy: ensure the final models enhance the accuracy, usability and effectiveness of the project.

This structured approach significantly improves efficiency and reduces errors, leading to better budget and schedule control. However, there are two weak points when focusing on heritage documentation.

The first one concerns how to define the standards to apply for model validation, for instance, Stage 3 above. The quick advance in both hardware and software allows us to achieve more and more accuracy and resolution. A validation parameter must be included in the BIM model. However, no commercial software nor specifications managed in different countries by building institutions and companies encourage this, despite there is some interesting proposals in this direction (Bonduela, 2017).

The second challenge relates to Stage 3 of the workflow: the usability and effectiveness of the model. At the same time, effectiveness is closely linked to the modeling strategy (Stage 2).

This issue is crucial in the workflow, as the entire process must align with the BIM goals. This statement is particularly significant in Heritage Building Information Modeling (HBIM) projects.

Therefore, we will describe the decision-making process regarding the modeling strategy in our case study.

5. Decision-making in BIM object typology: HBIM modelling strategies.

Heritage buildings typically have very few components that can be assimilated to existing families in BIM libraries.

Moreover, there are few (if any) libraries of families that adequately represent the constructive elements of heritage buildings. This is due to the unique nature of these buildings and their components.

The challenge in creating such a library stem from the limited versatility of work units, as the variety of architectural styles and lack of standardization hinder the systematization and parameterization of a BIM model.

This is why Stage 2 (Modeling), mentioned above, is one of the most challenging aspects of the process, which we will discuss below.

Component modeling in HBIM must be approached differently depending on the model's purpose and the required LOD. Typically, the resolution should be no less than 1 point/cm², which corresponds to a resolution of approximately 8.49 mm/pixel (calculated as Res = 1/0.1178) according to stated standards (Rodríguez-Navarro & Gil-Piqueras, 2024). The point cloud must have an appropriate density for the characterization of:

- geometries of all the elements, both structural and decorative
- lack of verticality in walls, deflections in beams, and general deformations.
- Pathologies of structures and materials

The textured point cloud must be the main reference element that must not be detached at any time from the model, so that it is always possible to query the original cloud from which the family generation was started.

However, to enhance usability in BIM, it is essential to decide the most appropriate type of entity to represent each component as a BIM family or instance.

A BIM object contains detailed information about a component and its geometry representing its physical characteristics and any other information available. Furthermore, especially in HBIM, it must be a tool to analyze and research the component structure and construction process.

Considering these requirements there are the following options to proceed:

1. Create a NURBS (non-uniform rational B-spline) surface from point clouds and import it into the family. In this case, additional software is required because the point cloud must first be transformed into a triangulated mesh, which is then retopologized into a quad mesh or NURBS suitable for import as a lightweight geometric entity into the BIM family. (Figs. 3, 4)

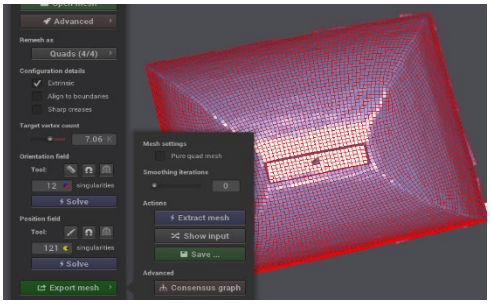


Fig. 3- NURBS model obtained from a point cloud (graphic elaboration by the authors, 2024).

The NURBS model is the most immediate solution to fit perfectly to the shape of the depicted element, including the real texture and color. It combines geometric fidelity to the point cloud with the lightness of file weight or space occupied in computer memory. However, the drawback is that it lacks parametric features, making it impossible to reuse as different instances.

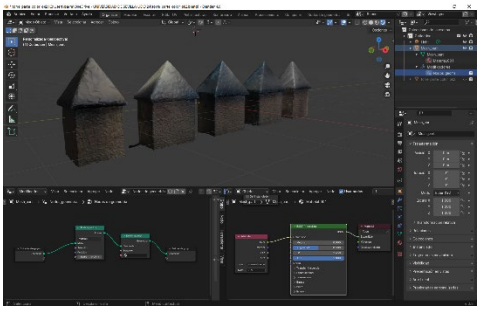


Fig. 4- Textured NURBS models of Crenellations (graphic elaboration by the authors, 2024).

2. Create a 3D model from scratch adapting its geometry to point cloud.

   This procedure is initially tedious because current BIM applications often lack user-friendly modeling interfaces, and the communication between BIM and specialized modeling apps is not optimal for transferring geometric parameters. So, the usual process consists of modeling families directly inside the BIM app. However, this method allows us to analyze the asset or artifact while also enabling adaptation to different versions of the elements by simply modifying the geometric parameters. Furthermore, this procedure allows us to create a repository of HBIM families which is the main scarcity that the HBIM community suffers nowadays (Fig. 5).

At this point, we can assess the degree of alignment between the theoretical vault and the actual one. From this comparison, metric and graphic data should be obtained and included in the definition of the instance representing the roof for subsequent analysis (Fig. 6).

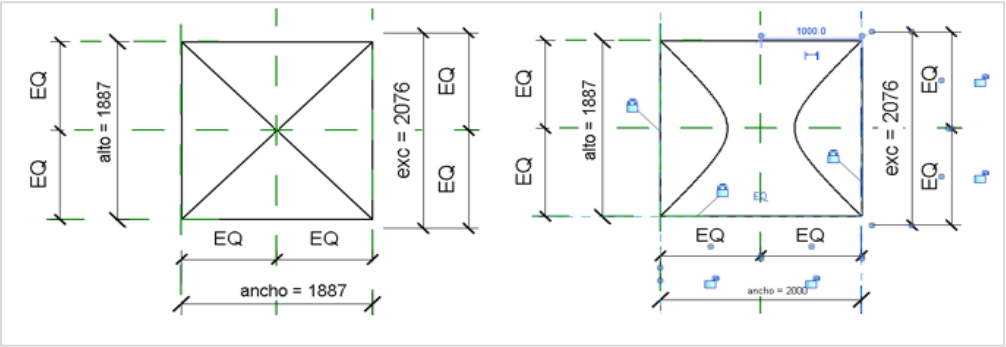


Fig. 5- Two instances of the same family that produce two different vaults existing in the tower just playing with parameters: a cloister corner vault and a barrel vault with cloister heads (graphic elaboration by the authors, 2024).



Fig. 6- Vault family laid over the point cloud (graphic elaboration by the authors, 2024).

6. Conclusions.

In creating families, it is essential to maximize geometric parameterization to standardize elements while ensuring fidelity and ease of placement in the model. Strategies can vary, but it is crucial to avoid the singular modelling of elements, such as in-situ families and mass elements, whenever possible.

Importantly, each family instance should adapt comfortably to the point cloud.

This requires utilizing as many reference planes and parametric dimensions as necessary, or, in the case of adaptive families, as many operational adaptive points as needed.

A balance must be achieved between the fidelity of representation and the actual geometry and functionality of the model or digital clone.

The use of geometric modelling tools should always prioritize parameterization and usability in other projects. Geometric modelling must be grounded in a comprehensive understanding of the element represented and the architectural characteristics involved. Therefore, it is a priority to assess the degree of alignment between the real geometry and the theoretical model.

Acknowledgment.

This study is part of the R& D&i project PID2020-119469RB-I00", funded by the Ministry of Science and Innovation/State Research Agency/10.13039/50110001103.

References

Aoki, Y. G. (2019) Pointnetlk: Robust &efficien tpointcloud registration using pointnet. *IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 7163–7172.

Armeni, I. S. (2016) 3d semantic parsing of large-scale indoor spaces. *IEEEconference on computer vision and pattern recognition*, pp. 1534–1543.

Baik, A. (2017) From point cloud to Jeddah Heritage BIM Nasif Historical House – case study. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 1-18.

Bassier, M. V. (2017) AUTOMATEDCLASSIFICATIONOFHERITAGEBUILDINGSFORAS-BUILTBIM USING MACHINE LEARNING TECHNIQUES. *26th International CIPA Symposium.* Ottawa, Canada. doi:doi:10.5194/isprs-annals-IV-2-W2-25-2017

BIMERR Consortium. (2024, 8 30) Retrieved from https://bimerr.eu/,

Blaszczak-Bak, W. M. (2024) Integrating Data from Terrestrial Laser Scanning and Unmanned Aerial Vehicle with LiDAR for BIM Developing. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLVIII-1*, 25–30. doi:https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-2024-25-2024, 2024

Bonduela, M. B. (2017) scan-to-BIM output validatión: towards a standarized geometric. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,*, *Volume XLII-2/W8.* Hamburg, Germany.

Cabrera Revuelta, E. C.-J. (2021). Optimization of laser scanner positioning networks for architectural surveys through the design of genetic algorithms. *MEASUREMENT: Journal of the International Measurement Confederation,*(174). doi: https://doi.org/10.1016/J..2020.108898

Chen, J. L. (2019). Floorsp: Inverse cad for floorplans by sequential room-wise shortest path. *IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*, pp. 2661-2670.

Coldwell, H. Q. (2024) A REVIEW OF SCAN-TO-BIM TECHNOLOGIES IN ASSISTING PROJECT COORDINATION AND MANAGEMENT. *Transforming Construction with Off-site Methods and Technologies (TCOT) Conference: Designing Tomorrow's Construction, Today.* New Brunswick, Canada.

Dai, A. C. (2017) Scannet: Richly-annotated 3d reconstructions of indoor scenes. *IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 5828–5839.

EdgeWise. (2024, 8 30) Retrieved from ClearEdge3D: https://www.clearedge3d.com/edgewise/

Jacobs, G. (2020) The Early Days of 3D Scanning, Part 6. *xyHt*. Retrieved 08 29, 2024, from https://www.xyht.com/energyutilities/the-early-days-of-3d-scanning-part-6/

Kufuor, J. M. (2021) Automatic MEP Component Detection with Deep Learning. In: Del Bimbo, A., et al. Pattern Recognition. *ICPR International Workshops and Challenges. ICPR 2021. Lecture Notes in Computer Science(), vol12667.* Springer, Cham. . doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-68787-8_28

Leica Cyclone 3DR - All-in-one Deliverable Solution. (2024, 8 30). Retrieved from https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/leica-cyclone-3dr?utm_source=youtube&utm_medium=social&utm_content=youtube-playlist&utm_campaign=Global_EN_2023_TLS_Social

Liu, C. W. (2018) Floornet: A unified framework for floorplan reconstruction from 3d scans. *European Conference on Computer Vision (ECCV)*, pp. 201–217.

Moyano, J. N.-J. (2022) Operability of Point Cloud Data in an Architectural Heritage Information Model. *International Journal of Architectural Heritage,16(10),, 16*(10), 1588–1607.

Pérez-García, A. M.-D.-D. (2024). IFC CLASS ASSIGNMENT ADD-ON: BIM MODELLING FOR ARCHITECTURAL AND ENGINEERING PROJECTS USING BLENDER. *DYNA 99(5)*, 481-486. doi: https://doi.org/10.52152/D11029

Qi, C. L. (2018) Frustum pointnets for 3d object detection from rgb-d data. *IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 918–927.

Qi, C. R. (2017) Pointnet++: Deep hierarchical feature learning on point sets in a metric space. *Advances in neural information processing systems, 30 (NIPS 2017).*

Rocha, G. M. (2020) A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings. *Heritage*, 47-67.

Rodríguez-Navarro, P., & Gil-Piqueras, T. (2024). Estándares y métodos para optimizar la digitalización 3D de las fortificaciones. *Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XVII ,* pp. 555-562. Tiranës: edUPV. doi:DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2024.2024.18097

Thomas, H. Q.-E. (2019) Kpconv: Flexible and deformable convolution for point clouds. *IEEE/CVF international conference on computer vision, pages 6411–6420.*, pp. 6411–6420.

Yijie Wu, M. L. (2023) Towards fully automatic Scan-to-BIM: A prototype method integrating deep neural networks and architectonic grammar. *European Conference on Computing in Construction 40th International CIB W78 Conference.* Heraklion, Crete, Greece.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20358

Torre di Santa Maria dell'Alto, Nardò (LE): studio architettonico per la conoscenza e la conservazione

Ivan Ferrari[a], Francesco Giuri[b], Alessandro Giuri[c]
[a-b] Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale del Consiglio Nazionale delle Ricerche, ISPC-CNR, Lecce, Italia, [c] Architetto libero professionista, Nardò, Italia, e-mail: [a]ivan.ferrari@cnr.it; [b]francesco.giuri@cnr.it, [c]alessandrogiuri@gmail.com

Abstract

The paper presents an architectural study of the 16th-century Santa Maria dell'Alto tower in Nardò, Lecce, Italy, one of the main fortifications in the coastal defense system of the lower Ionic Salento against constant attacks from the sea that threatened the inland populations. Through 3D instrumental surveys using an integrated approach of digital photogrammetry and laser scanning techniques, all the metric data were acquired, which in association with historical notes, allowed an organic analysis of the property, preparatory and functional for future recovery and enhancement projects.

Keywords: torre Santa Maria dell'Alto, Nardò, torri costiere, rilievo architettonico, laser scanner.

1. Introduzione

Il contributo presenta uno studio storico-architettonico sulla torre costiera di Santa Maria dell'Alto in località Portoselvaggio a Nardò (LE) (Fig. 1). Le indagini, condotte dal DHILab dell'Istituto di Scienze per i Beni Culturali del Consiglio Nazionale delle Ricerche di Lecce (ISPC-CNR) in cooperazione con un gruppo di liberi professionisti, hanno riguardato l'indagine storica del bene, la realizzazione del rilievo strumentale per la documentazione dello stato di fatto, lo studio delle sue caratteristiche costruttive e la verifica delle attuali condizioni strutturali, con l'obiettivo di fornire quanti più dati possibili per un futuro progetto di restauro e fruizione.

La prima campagna di rilievo realizzata nel 2018 ha interessato l'esterno della torre e i tre vani interni (Gabellone et al. 2019).

Contestualmente sono state eseguite ulteriori indagini non invasive con il georadar e con la termocamera per verificare alcune criticità emerse dal rilievo. Nel 2024 la seconda campagna di acquisizioni metriche ha riguardato le cisterne del piano terra: vani parzialmente o totalmente inaccessibili impossibili da rilevare con la vecchia strumentazione.

I risultati ottenuti hanno portato alla completa ed esaustiva lettura tecnico-strutturale della torre, focalizzandosi sulle sue peculiarità e cercando di ripercorrere le modifiche avvenute nel corso del tempo.

2. Inquadramento storico

La torre di Santa Maria dell'Alto (d'ora in avanti indicata con la sigla S.M. dell'Alto) è situata all'interno del parco naturale regionale di Portoselvaggio in territorio di Nardò (LE), su un promontorio costiero alto 51 m s.l.m. che domina l'ampio orizzonte marino a nord di Gallipoli sino a Torre Inserraglio. La costruzione avvenne in un contesto storico che vide il Regno di Napoli sempre più esposto ai pericoli provenienti dal mare. Già fra il XII sec. e la prima metà del XV sec. sotto le dominazioni normanne, sveve e angioine, si intervenne fortificando i centri abitati dell'entroterra (Caprara, 1994: p. 227), ma fu con l'avvento degli Aragonesi e l'acutizzarsi della

BY-NC-SA

minaccia turca - culminata nel Salento con la conquista di Otranto nel 1480 (Houben, 2008) e seguita da una lunga serie di incursioni in diverse località costiere (Cosi, 1989: pp. 14-15), che si attuò un organico piano di difesa delle coste del Regno. Fu così che con le disposizioni nel 1553 del viceré Pedro Álvarez de Toledo e quelle successive di Fernando Afán de Ribera, si promulgò l'ordine generale di erigere le torri litoranee (Caprara, 1994). La costruzione di torre di S.M. dell'Alto iniziò nel 1568 e terminò nell'estate del 1569 grazie ai fondi stanziati dall'*Universitas* di Nardò, cui per territorialità ricadevano le competenze per sovvenzionare anche la stessa guarnigione. Il 10 settembre dello stesso anno il viceré dispose che le torri appena erette, fra cui torre dell'Alto (Pasanisi, 1926), fossero munite senza indugio "di alcuni pezzi d'artiglieria de mitallo" (Coco, 1930: p. 111). Anche per via delle sue dimensioni, essa costituì uno dei capisaldi delle dieci torri d'avvistamento erette nell'allora territorio neretino (partendo da sud: Fiume, Santa Caterina, S.M. dell'Alto, Uluzzo, Inserraglio, Sant'Isidoro, Squillace, Cesarea, Lapillo, Chianca) che al tempo comprendevaanche l'attuale comune di Porto Cesareo.



Fig. 1- La torre di S.M. dell'Alto a Nardò (LE) (foto di Sergio Fai, 2022).

Le fonti storiche attestano una riparazione nel 1596 (Cosi, 1989: p. 18) e il protarsi delle sue funzioni militari per tutto il XVIII secolo. Un atto del notaio Bonvino di Nardò certifica che dal 1706 le torri S.M. dell'Alto e S. Caterina assolsero anche la funzione di lazzaretto, per prevenire focolai di malattie infettive da quanti essendo a bordo di imbarcazioni turche o piratesche (sia pirati che cristiani in schiavitù) o si arrendevano oppure erano stati sbarcati poiché malati (Leopizzi, 1984). Nel 1730 la fortificazione risulta custodita dal caporale Felice Verri e dal torriero Giovanni Giorgetta, mentre nel 1777 si attesta l'avvenuto passaggio in custodia al Real Battaglione degli Invalidi (Bruno et al. 1978), corpo militare borbonico costituito da uomini non più abili al servizio attivo, cui gradualmente fu destinato il controllo delle torri costiere. Un dettagliato rapporto militare della dodicesima Direzione del Genio di Taranto sulle condizioni delle torri del litorale ionico salentino trasmesso nel febbraio 1820 al Ministero della Guerra e Marina denunciava il pessimo stato di conservazione e di abbandono di torre S.M. dell'Alto (Leopizzi, 1984), situazione confermata ancora nel 1825 (Coco, 1930).

Poco dopo la struttura venne riabilitata ed assegnata alla guardia doganale, ma già nel 1842 fu nuovamente abbandonata per la sua posizione giudicata troppo distante dal mare. Da fonti orali si apprende che la torre nella prima metà del '900 fu dimorata dai religiosi del monastero di S.M. dell'Alto, sino agli anni della Seconda Guerra Mondiale quando fu requisita della Marina Militare.

Le prime rappresentazioni fotografiche della torre sono rintracciabili in modo indiretto nello sfondo di due istantanee private del 1929 e 1963, e poi in due pubblicazioni del 1974 **(**De Vita, 1974: p. 165) e del 1986 (Gaballo & Fai, 1974: p. 57), dove appare in uno stato di conservazione definito "mediocre" dal censimento del 1978, da cui risulta ancora di proprietà privata (Bruno et al. 1978: p. 144) (Fig. 2). Nel 1980 con l'istituzione del parco naturale regionale attrezzato di "Porto Selvaggio - Torre Uluzzo", poi confluito in quello di "Porto Selvaggio e Palude del Capitano" con la legge regionale n. 6 del 15 marzo 2006, si preservò il contesto naturalistico/paesaggistico in cui insiste il monumento, a sua volta divenuto di proprietà pubblica con il D.M. del 11.12.1986, quando la gestione e custodia della struttura fu trasferita dapprima alla Regione Puglia e successivamente nel 2010 all'Agenzia Regionale per le Attività Irrigue e Forestali (ARIF).

3. Rilievo strumentale

Il rilievo realizzato con sensori attivi e passivi ha consentito di ottenere ottimi risultati in termini di accuratezza metrica e riproduzione fotorealistica delle superfici. Una prima acquisizione laser scanner è stata effettuata nel 2018 con il Leica P20, con una risoluzione di 6 mm su una *dome* di 10 m per gli ambienti interni e una risoluzione di 3 mm su una *dome* di 10 m per le superfici esterne e una risoluzione di 3 mm su una *dome* di 10 m per le superfici esterne (Leucci et al. 2019; De

Giorgi et al. 2021; Scardozzi, Ferrari & Giuri, 2023; Ferrari et al. 2023).

Nel 2024, ad integrazione del precedente lavoro, sono state rilevate le cisterne - una delle quali ispezionabile solo da una piccola botola - grazie al Leica BLK 360 (risoluzione 6 mm a 10 m), per la sua caratteristica di poter essere utilizzato in modalità *upside down* (Fig. 3).

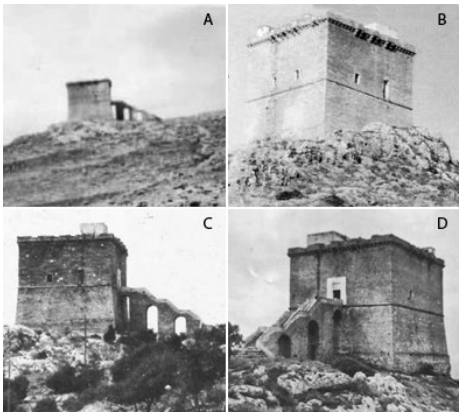


Fig. 2- Fig. 2- Torre S.M. dell'Alto, foto storiche: A) 1929 (coll. priv. Fam. Zuccaro); B) 1963 (coll. priv. Fam. Longo); C) 1974 (De Vita, 1974); D) 1986 (Gaballo, 1986).



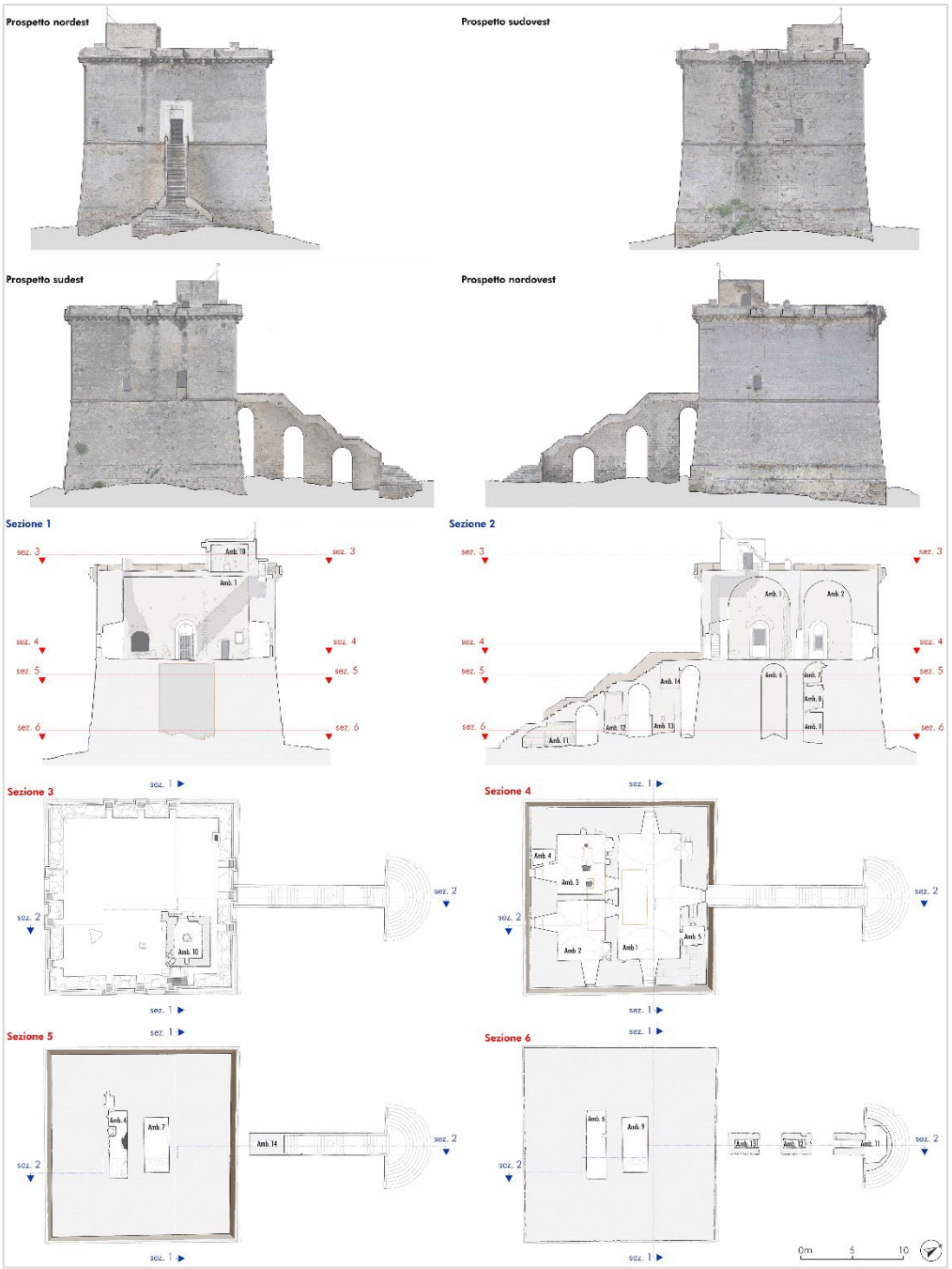
Fig. 3- Fig. 3- Rilievo laser scanner: A) Leica P20 (foto di I. Ferrari, 2018); B) Leica BLK 360 (foto di I. Ferrari, 2024).

Il *matching* delle nuvole di punti ottenute dalle 75 stazioni laser è stato realizzato in modalità *cloud to cloud* in *Cyclone Register* con un errore finale di 0.6 mm. La nuvola di punti generale è stata filtrata e trasformata in una maglia di sette milioni di poligoni in *Geomagic*, con un livello di dettaglio tale da garantire una lettura ottimale delle superfici architettoniche. Il rilievo fotogrammetrico - indispensabile per la rappresentazione cromatica delle superfici - è stato realizzato con il quadricottero Italdron Scrabble 4HSE equipaggiato con la camera digitale Panasonic DMC-GH4 (16 Mpx, con obiettivo 28 mm). Le immagini sono state acquisite con tre sorvoli in modalità automatica e ad un'altezza di circa 30 m s.l.m., il primo con camera nadirale e i restanti incrociati con camera ruotata a 45°. Ulteriori voli, in modalità manuale con camera frontale, sono stati necessari per le superfici verticali e le aree con maggiore articolazione architettonica. Il data set finale di 380 foto è stato processato all'interno di *Agisoft Metashape Pro*, da cui si è ottenuto un modello 3D georeferenziato, scalato sulla base di sei punti di controllo a terra (target 60 x 60 cm) rilevati con strumentazione GNSS nel sistema UTM-WGS84.

4. Caratteristiche tecnico-costruttive

Da un punto di vista costruttivo la torre rientra nella tipologia definita "serie di Nardò", con peculiarità tecnico-progettuali riscontrabili anche in altre sette torri neretine (Colimena, Lapillo, Chianca, Cesarea, Squillace, Sant'Isidoro, Santa Caterina): il medesimo orientamento, la scala monumentale d'accesso sul lato dell'entroterra e il fronte cieco verso il mare, un basamento troncoconico a sostegno di un piano superiore dalla forma parallelepipeda a base quadrata e un toro marcapiano esterno che separa i due livelli (Schipa & Venneri, 2016; Errico, 2018; Tricarico, 2020) (1). Il rilievo strumentale, tuttavia, ha evidenziato delle peculiarità della struttura derivanti dalla non eccessiva perizia delle maestranze: la stessa planimetria non è perfettamente quadrata, poiché l'angolo sud è disallineato, conferendo alla torre una leggera forma trapezoidale. Essa si imposta su fondazioni dirette con un doppio basamento gradonato, quello inferiore di 19,1 m di lato ha un'altezza media di 1,8 m che varia a seconda del livello roccioso esterno, il superiore ha un lato di 18,3 m e un'altezza di 1,2 m. Esso sorregge il piano inferiore troncopiramidale della torre alto 14,5 m, con alla base un lato di 18,3 m e in cima di 17,4 m. L'inclinazione del profilo a scarpa è di 4°.

Un toro marcapiano di 24 cm lo separa dal volume superiore, un parallelepipedo alto 8,3 m superiormente cinto da un secondo toro aggettante sostenuto da beccatelli a mensola unica (2), sul quale è il muro di coronamento della terrazza (Fig. 4). Su ogni lato vi sono tre caditoie, impostate su doppie mensole aggettanti, servite sul lato interno da rispettive rientranze, fa eccezione una quarta caditoia sul lato sudovest meno sporgente delle altre, ma comunque anch'essa contornata dal toro marcapiano.



Tav. 1- Torre S.M. dell'Alto: rilievo strumentale (elaborazione grafica a cura di A. Giuri, 2024).

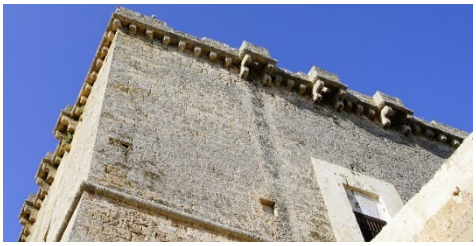


Fig. 4- Torre S.M dell'Alto: angolo ovest (foto di F. Giuri, 2024).

Un ulteriore difetto costruttivo è nell'imperfetta giacitura orizzontale dei conci, ravvisabile con più enfasi nell'angolo est sollevato di circa 17 cm e tale da conferire alla torre un prospetto leggermente irregolare.

Il volume superiore della torre è ripartito in tre ambienti voltati a botte, accessibili unicamente dall'ingresso nel lato nordest, per motivi di sicurezza inizialmente servito solo da scale amovibili e privo del monumentale scalone al pari di tutte le altre torri (Errico, 2018). Il primo vano (Amb. 1), quello più grande, misura 12,2 x 6 m, con un'altezza massima misurata alla chiave della volta di 8,1 m. Due finestre sono al centro dei lati brevi, servite da un'apertura rastremata con volta conoidica su imposte orizzontali che attraversa lo spessore murario (Giuliani, 1990); esternamente risultano in asse con una delle caditoie e sono superiormente delimitate da una piattabanda sormontata da un sordino (le maggiori dimensioni di quella sud-est sono da imputare a interventi successivi). Un grande camino è in prossimità dell'angolo nord, con la rispettiva canna fumaria che corre all'interno del corpo murario per fuoriuscire sulla terrazza. Sul versante sudovest sono due passaggi speculari per l'accesso ai due restanti vani fra essi non comunicanti, entrambi di 4,7 x 5,8 m e volte alte al cervello 7,6 m. Le originarie finestre, strutturalmente identiche a quelle dell'ambiente 1, sono entrambe collocate nei lati sudovest e anch'esse in asse con le caditoie laterali di quel versante, mentre due ulteriori più piccoli camini sono sui lati opposti, con le rispettive canne fumarie ricavate nel muro mediano di spina, ad oggi superiormente tamponate e prive dello sbocco esterno.

Successive modifiche hanno interessato tutti e tre i vani, in quello sud (ambiente 2) è stata realizzata una nuova finestra sul lato sudest aprendo un varco direttamente nel corpo murario e mettendone in luce il riempimento a sacco fra le due cortine. In quello ovest (ambiente 3) è stato ricavato nello spessore murario un nuovo vano di forma trapezoidale (ambiente 4), accessibile dalla rientranza della finestra e connesso ad un canale di scolo esterno che ha intaccato l'intera cortina muraria: similmente un nuovo vano (ambiente 5) è nella porzione orientale del lato nordest del grande vano d'ingresso.

Il volume inferiore della torre, diversamente da quanto indicato da Errico che ipotizza un unico vano voltato a botte trasversale agli ambienti del piano superiore (Errico, 2018), ha ben quattro grandi vani rettangolari. Quello nordovest è un unico grande ambiente voltato a botte (ambiente 6) e misura 2,5 x 5,4 m con un'altezza massima di 7,5 m, non ha accessi ed è ispezionabile esclusivamente da un varco di 20 x 40 cm: il rilievo ha documentato la presenza di varco di scolo - attualmente tamponato - nell'angolo ovest della volta e una cortina muraria interna in conci non impermeabilizzata che ne esclude l'uso come cisterna. I restanti vani hanno tutti le medesime dimensioni di 2,4 x 6,4 m e sono in asse l'uno sull'altro. Quello superiore (ambiente 7) ha una volta rampante con un'altezza massima rilevata sul versante sud-ovest di 2,3 m. Attualmente è praticabile grazie a una botola ricavata in un secondo momento sfondando la volta: è verosimile che l'originario accesso fosse dato da un piccolo vano scala - attualmente tamponato - addossato a sud-ovest e che proseguiva in basso anche a servizio del vano sottostante, accanto ad esso è visibile il varco anch'esso tamponato di una nicchia. Nel lato nordovest si apre un'ulteriore rientranza di 1,2 x 1,8 m, alta 1,7 m, a sua volta ispezionabile da una botola situata sul muro di fondo.

L'ambiente 7, pavimentato in cocciopesto, ha le pareti intonacate disegnate da graffiti a carboncino, con velieri, caratteri latini e una data riportante l'anno 1658 (Fig. 5).



Fig. 5- Graffiti a carboncino nell'Amb. 7: A) un veliero ritratto sulla parete sudest; B) caratteri latini con l'anno 1658 sulla parete sud-ovest (foto di F. Giuri, 2024).

L'ambiente 8, quello intermedio, ha una copertura voltata impostata sui lati corti in corrispondenza del pavimento, che raggiunge nella porzione mediana l'altezza di 2,3 m: attualmente è osservabile solo da un varco situato al centro della volta. Al di sotto di quest'ultimo è il vano cisterna (ambiente 9), essa ha una volta a sesto molto ribassato che nel punto più alto misura 3,4 m e una impermeabilizzazione in pece delle pareti sino a metà altezza. Il pozzo di pescaggio in conci squadrati buca nella volta in prossimità dell'angolo ovest e attraversando internamente i due vani soprastanti fuoriesce direttamente nel pavimento dell'ambiente 3.



Fig. 6- Interno dell'ambiente 10 (foto di I. Ferrari, 2024).

A sinistra dell'ingresso alla torre è la scala diretta alla terrazza: larga appena 0,8 m, corre nello spessore murario sino all'angolo est dove insiste un breve pianerottolo illuminato da una piccola finestra, per poi risalire con un ultimo tratto sino alla terrazza, dove erano presenti quattro postazioni cannoniere per lato. In un secondo momento furono realizzate due sopraelevazioni, di cui ne resta attualmente solo una (ambiente 10), consistente in un vano di 2,1 x 3,6 m con volte a botte, accessibile da nordovest e provvisto di una scalinata esterna per l'accesso al terrazzino: internamente al centro è una base circolare in cemento armato sulla quale era la strumentazione della Marina Militare adoperata per comunicare visivamente con Gallipoli, tramite un'apposita finestra situata nell'angolo ovest (Fig. 6).

La monumentale scala d'accesso in muratura è larga 2,2 m e inizialmente si impostava su sole due arcate a copertura di un dislivello di circa 8 m. La base ha uno scenografico invito a forma semicircolare di 4,4 m di diametro composto da otto alzate, sul quale si innesta una sequenza di tre rampe rettilinee di dieci gradini ciascuna, seguite da altrettanti brevi pianerottoli, l'ultimo dei quali inizialmente interrotto: la terza arcata, infatti, fu realizzata solo in seguito. A garantire il transito nell'ultimo tratto era un ponte levatoio (Fig. 7), le cui dimensioni sono richiamate dall'incasso presente nella cortina muraria che fiancheggia il varco d'ingresso, probabilmente intonacato per regolarizzarne la superficie. All'interno del corpo murario della grande scalinata sono presenti alcuni ambienti accessibili dalle fiancate interne dei piedritti, funzionali al ricovero di animali o come depositi (ambienti 11, 12, 13 e 14).

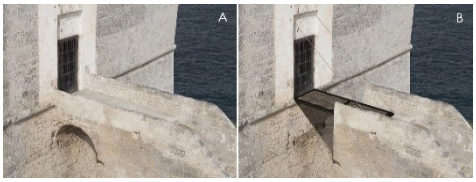


Fig. 7- L'accesso alla torre: A) situazione attuale; B) simulazione 3D con ponte levatoio (3) (elaborazione a cura di F. Giuri, 2024).

La torre nell'insieme non presenta elementi di criticità statica, né manifesta chiari interventi di ripristino a cedimenti strutturali, come avvenuto a torre Sant'Isidoro (De Pascalis, 2019) e torre Cesarea, quest'ultima eretta nel primo quarto del XVII secolo ma poi completamente demolita e ricostruita nel 1622 per problemi dovuti alla scarsa qualità dei materiali e alla poco rigorosa messa in opera (Pasanisi, 1926), forse anch'essi causa del crollo di torre Fiume (c.d. Quattro Colonne), di cui attualmente restano i soli bastioni angolari. Tuttavia, se si esaminano meglio gli ambienti 7, 8 e 9, si intuisce come essi siano stati realizzati in un secondo momento, questo induce a ritenere che, almeno inizialmente, vi dovesse essere un unico vano ad uso di cisterna simile anche per dimensioni all'ambiente 6. È un dato di fatto che la cortina muraria del lato sudovest in tutti e tre i vani sia in opera incerta anziché quadrata, quasi a suggerire la presenza di un avancorpo murario (necessario anche per ricavare un vano scala, poi tamponato): questo spiega la necessità di salvaguardare il pozzo di pescaggio con la costruzione dello stesso in muratura all'interno dei vani 7 e 8. Forse si tratta di interventi resi necessari per porre rimedio a problemi di stabilità del vano originario, se così fosse si potrebbero ricondurre ai restauri citati nelle fonti ed effettuati nel 1596. La costruzione del corpo scala esterno è priva di elementi datanti, tuttavia, se si esaminano tutte le torri della "serie di Nardò", si nota che l'unica ad esserne

sprovvista è torre Fiume, struttura che nel 1820 era già da tempo abbandonata e in pessimo stato (Leopizzi, 1984). Questo dato suggerisce come la decisione di provvedere le torri di ingressi più agili si inquadri probabilmente nella seconda metà del XVIII sec. in concomitanza all'affidamento delle stesse al Real Battaglione degli Invalidi e ad una mutata situazione geopolitica nel Mediterraneo. Forse contestuali ad esso sono le prime modifiche relative agli ambienti 7, 8 e 9, verosimilmente destinati allo stoccaggio di derrate e all'occorrenza anche come aree di temporanea detenzione, quando si decise di sigillare i due vani superiori tamponandone l'accesso, ma al contempo di salvaguardare l'utilizzo della cisterna con la costruzione in muratura del pozzo di pescaggio.

L'istantanea del 1929 ritrae il fianco sudest della torre e documenta l'assenza sia della seconda finestra nel vano meridionale che della sopraelevazione sulla terrazza, contestualmente ritrae l'originario contesto paesaggistico circostante, caratterizzato da un terreno accidentato e brullo tipico del litorale salentino sino alla seconda metà degli anni '60, prima dell'avvio della politica di rimboschimento attuata dal Corpo Forestale dello Stato (Mainardi, 1989). L'immagine del 1963 che inquadra i lati sudest e sudovest, infatti, ritrae ancora un paesaggio pietroso e spoglio di vegetazione, ma a differenza della precedente attesta due sopraelevazioni e la seconda finestra nel vano meridionale: questo suggerisce come tali modifiche siano da ricondurre alla decisione della Marina Italiana di riutilizzare la torre come presidio militare durante la Seconda Guerra Mondiale. Ad esse si aggiunge la costruzione del setto murario interno che divideva in due il grande vano di ingresso, rilevato nella planimetria del 1984 di Leopizzi, nella quale tuttavia non compaiono i vani ricavati nello spessore murario. Nei primi anni 2000 si avviò un intervento di recupero della torre non ultimato, cui si riconducono le demolizioni del muro divisorio interno nell'Amb. 1 e della sopraelevazione nell'angolo ovest della terrazza, l'intera stonacatura dei vani interni, la rimozione delle originarie pavimentazioni in cocciopesto e la realizzazione di impianti idraulici mai entrati in funzione.

5. Considerazioni conclusive

Il presente lavoro offre un'analisi storico-architettonico del bene, in grado di individuare quelle caratteristiche costruttive che gioco forza contraddistinguono ogni costruzione antica. Esso è stato realizzato facendo convergere la ricerca storico-archivistica a quella del rilievo strumentale e dell'analisi tecnica del monumento. L'obiettivo è di spostare sempre di più il focus della ricerca da uno studio di natura tipologica ad uno più specifico riguardante le singole torri, con la prospettiva di replicarlo anche sugli altri coevi presidi costieri neretini. Nello specifico i dati emersi sulla torre di S.M. dell'Alto, rimarcano maggiormente l'importanza di recuperare un bene che ormai da troppo tempo versa in uno stato di abbandono, al fine di restituire alla comunità un monumento che è esso stesso un fermo testimone della storia del territorio, reso ancor più straordinario da un contesto paesaggistico di straordinaria bellezza.

Notes

(1) Essa si differenzia dall'altra tipologia di torri definita "tipiche del Regno" in cui rientrano quelle neretine di Inserraglio e Uluzzo, di dimensioni più contenute e un volume troncopiramidale a base quadrangolare (Danesia & Gagliardi, 2018; Errico, 2020; Tricarico, 2020).

(2) Su ogni lato i tre beccatelli in prossimità degli angoli incrementano gradatamente l'inclinazione sino a raggiungere i 45° in quello angolare.

(3) Ricostruzione 3D realizzata con tecniche di *handmade modeling* in ambiente Maxon C4D (Gabellone et al. 2017; Gabellone & Ferrari, 2017; Caruso et al. 2015).

Bibliografia

Bruno, F., Faglia, V., Losso, V. & Manuele, A. (1978). Censimento delle torri costiere nella provincia della Terra d'Otranto: indagini per il recupero del territorio. Roma, Istituto Italiano dei Castelli, p. 144.

Caprara, R. (1994). Le torri di avvistamento anticorsare nel paesaggio costiero pugliese. In: Fonseca, C.D. (ed.) *La Puglia e il mare*. Milano, Electa, pp. 227-266.

Caruso, F., Gabellone, F., Ferrari, I. & Giuri, F. (2015). New reconstructive proposal for a critical reading of the archaeological documentation of Syracuse in Greek times. In: *Virtual Archaeology Review*, 6(12), 2015, pp. 19-28.
Coco P. (1930). *Porti Castelli e Torri salentine*. Roma, Istituto di Architettura Militare.
Cosi, G. (1989). Torri marittime di terra d'Otranto. Galatina, Congedo editore.
Danesia G. & Gagliardi, A. (2018). Difendere la Terra d'Otranto. Le torri di avvistamento della Serie di Nardò. In: Marotta, A.; Spallone, R. (eds.) *Defensive Architecture of the Mediterranean*, vol IX, Politecnico di Torino, pp. 1195-1202.
De Giorgi, L., Ferrari, I., Giuri, F., Leucci, G. & Scardozzi, G. (2021). Integrated Geoscientific Surveys at the Church of Santa Maria della Lizza (Alezio, Italy). In: *Sensors*, 2021, 21(6), 2205.
De Pascalis, D.G. (2019). Il sistema delle torri costiere del Salento ed il caso-studio della torre di S. Caterina di Nardò tra restauro e storia. In: *Il Tesoro delle Città. Strenna 2019*, Bernd Kamps Steinhaeuser Verlag, pp. 135-151.
De Vita, R. (1974). Castelli, torri e opere fortificate di Puglia, Bari, Adda Editore.
Errico, F. (2018). Le torri della «serie di Nardò»: caratteri morfologici e analisi comparative. In: Rodrìguez-Navarro, P.; Marotta, A.; Spallone, R., (eds.) *Defensive architecture of the Mediterranean, XV to XVIII centuries*, vol. VIII, Politecnico di Torino, pp. 587-593.
Errico, F. (2020). Le torri "tipiche del regno" in Terra d'Otranto: caratteri morfologici e differenze costruttive. In: García Pulido, L.J.; Navarro Palazón, J. (Eds.) *Defensive Architecture of the Mediterranean*, Vol XII, pp. 1159-1166.
Ferrari, I., Giuri, F., Leucci, G. & Scardozzi, G. (2023). La necropoli messapica di Monte d'Elia ad Alezio (Lecce): integrazione di rilievi topografici e indagini geofisiche a supporto delle indagini stratigrafiche. In: *Archeologia e Calcolatori*, 34.2, 2023, 143-162.
Ferrari, I.; Quarta, A. (2019) The Roman pier of San Cataldo: from archaeological data to 3D reconstruction. In: *Virtual Archaeology Review*, 10(20), pp. 28-39, 2019.
Gaballo, M. & Fai C. (1986). Riviera Neretina: le torri costiere contributo allo studio ed alla salvaguardia del patrimonio locale, Nardò, Edizioni Nardò Nostra.
Gabellone, F. & Ferrari, I. (2017). Reconstruction of Villino Florio's wooden ceiling using 3D technologies. In: *Archeologia e Calcolatori*, 28.2, 587-590.
Gabellone, F., Ferrari, I., Giuri, A. & Giuri, F. (2019). Architectural survey and analysis of the coastal tower of S. Maria dell'Alto in Nardò (Lecce, Italy). In: *Proceedings of 2019 IMEKO TC-4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage (MetroArchaeo 2019), December 4-6, 2019, Florence, Italy*, Florence, IMEKO, pp. 371-373.
Gabellone, F., Ferrari, I., Giuri, F. & Chiffi, M. (2017). 3D technologies for a critical reading and philological presentation of ancient contexts. In: *Archeologia e Calcolatori*, 28(2), 591-595.
Giuliani, C.F. (1990). *L'edilizia nell'antichità*, Roma, La Nuova Italia Scientifica, p. 91.
Houben, H. (a cura di) (2008). La conquista turca di Otranto (1480) tra storia e mito. Atti del convegno internazionale di studio, Otranto-Muro Leccese, 28-31 marzo 2007, vol. 1-2. Galatina 2008.
Leopizzi, T. (1984). Le torri costiere intorno a Gallipoli. In: *Rassegna della Banca Popolare Sud Puglia*, X, 1984, n. 1, pp. 17-52.
Leucci, G., De Giorgi, L., Ditaranto, I., Giuri, F., Ferrari, I. & Scardozzi, G. (2019). New Data on the Messapian Necropolis of Monte D'Elia in Alezio (Apulia, Italy), from Topographical and Geophysical Surveys. In: *Sensors*, 2019, 19(16), 3494.
Mainardi, M. (1989). *I boschi del Salento. Spazi e storia*. Lecce, Garofano Verde.
Pasanisi, O. (1926). La costruzione generale delle torri marittime ordinata dalla R. Corte di Napoli. In: *Studi di Storia Napoletana in onore di Michelangelo Schipa*. Napoli, I.T.E.A., pp. 423-42.
Scardozzi, G.; Ferrari, I.; Giuri, F. (2023). Le cave antiche di Porto Miggiano (Santa Cesarea, Lecce): analisi metrologica e rilievo topografico dei settori estrattivi. In: *Archeologia e Calcolatori*, 34.2, 2023, 163-184.
Schipa, E.; Venneri, A. (2016). The fortification system along the coastline of Salento peninsula: the metamorphosis of fortified masserie and coastal towers. In: Verdiani, G. (ed.) *Defensive Architecture of the Mediterranean XV to XVIII Centuries*, IV, Dip. di Architettura (DIDA) Firenze, pp. 105-112.
Tricarico, G. (2020). Le fortificazioni litoranee di Terra d'Otranto: una panoramica sulle torri costiere della provincia di Lecce. In: Navarro Palazón, J.; García Pulido, L.J. (eds.) *Defensive Architecture of the Mediterranean*, vol. XII, Editorial Universitat Politècnica de València, pp. 1441-1448.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20360

Multi-scalar digital approaches for heritage knowledge. Integrated documentation strategies of the Morella fortifications in the cultural route of Jaime I

Francesca Galasso[a], Francesca Picchio[b]
[a-b] University of Pavia, Department of Civil Engineering and Architecture, Pavia, Italy, [a] francesca.galasso@unipv.it, [b] francesca.picchio@unipv.it

Abstract

Over the centuries, the fortified complex of the city of Morella, in the province of Valencia, has been shaped by numerous conflicts and political changes, preserving and at times adapting its defensive system. This adaptation reflected the various military strategies of the wartime periods that influenced sites along the coast and inland areas of the Valencian province, integrating urban structures with the natural ruggedness of the surrounding terrain. However, the fortifications reveal their historical significance not only through the tangible presence of walls, towers, and fortresses but also through the resilience of a community that has transformed a defensive apparatus into a symbol of cultural identity and historical memory. This contribution presents the research activities undertaken within the European H2020 Prometheus project, aimed at structuring methodological protocols for multiscale acquisition and restitution for the documentation and morphometric analysis of sites along cultural routes, including the fortified structures of Morella's defensive works. Establishing a new standard for understanding fortified heritage through its digitization allows for the preservation of the architectural and historical complexity of Valencia's fortifications in digital format, while making them accessible to an international audience and strengthening interest in the historical heritage of this and other sites along Europe's cultural routes.

Keywords: multiscale documentation, integrated survey, fortified heritage preservation, Castle of Morella.

1. Introduction

The analysis of the fortified structures of the city of Morella highlights the adaptation of the medieval centre to the historical policies that have shaped the area over the centuries. The defensive system of the walls remains evident in the city's urban layout and in the configuration of its infrastructure, which extends within the village to the base of the promontory where the monumental complex of the castle is located. Originating from Roman times and further developed during the Arab rule and the Christian *Reconquista*, the Castle of Morella represents a remarkable example of military architecture, characterized by its strategic position relative to the terrain's topography, with hills and steep slopes providing natural defense. The layered design of the defensive system ensured effective resistance to military sieges over the centuries, serving as a tangible and irreplaceable testimony to spanish military history. The events that shaped the city's cultural significance are reflected in its various evolutionary phases, from a military fortress to a historical icon, preserving over time a significant part of the historical memory within the context of what can be considered a cultural route linked to the figure of Jaime I. This research, developed within the framework of the European H2020 PROMETHEUS project (*Protocols for Information Models Libraries Tested on Heritage of Upper Kama Sites*),

BY-NC-SA



Fig. 1- The historical centre of Morella and its fortified monumental system. The core has 17 defensive elements including control towers and monumental portals, defending the central fortress Graphic elaboration by Francesca Picchio, Francesca Galasso, 2024.

describes the multiscale approaches adopted for documenting Morella's defensive heritage, focusing on a dual analysis: tracing and mapping the fortified system around the historical city and relating it to the urban context. In addition to a descriptive database of the territorial fortified level, a level of documentation at an architectural scale is included, focusing on specific points along the fortified perimeter for territorial control and detailed architectural documentation of monumental elements and their construction features. For this reason, the multiscale database of the fortified layout aims to serve as a starting point for developing informative applications that can support professionals in managing architecture and monuments.

2. The fortified system

Although Morella's urban center originated during Roman times (Segura Barreda, 1868), its fortified system dates to the 8th century under Arab rule. During the 11th century, the city was conquered by Christians, becoming a stronghold against Muslim incursions. The fortress's importance in Christian times was due to its location at the geographic center of the Crown of Aragon, over 1,000 meters above sea level. Jaime I of Aragon himself recognized its strategic military, geographic, and political value, solidifying its hegemony (Dalmases Balañà & Pitarch, 1983; Ortí Miralles, 1958). In the 13th century, the city's urban morphology began to take its current shape, expanding beyond the castle walls and following the mountain's natural slope. Over the following centuries, Morella became a significant medieval fortress where the castle and walls played a crucial role in defending against invasions. During the War of Spanish Succession (1701–1714), Morella aligned itself with Bourbon forces, playing a strategic role in the region. In 1711, the city and its castle resisted a siege led by Habsburg troops under the command of Archduke Charles of Austria, further solidifying its reputation as a fortified stronghold. (Gaspar, 2001). During the Spanish War of Independence (1808–1814), Morella witnessed clashes between Napoleonic forces and Spanish rebels (Gaspar, 1992). The damage sustained during these conflicts led to the strategic and military decline of the city and its castle, which were abandoned by the early 1900s after the Carlist Wars. Today, Morella's historic center and castle have become tourist sites and cultural symbols of the region's rich and complex history (Portela et al. 2020).

2.1. Morella's Castle

The monumental castle complex stands as a tangible and irreplaceable testament to Spain's defensive history. By focusing on the structural and architectural features of the castle, it is possible to carefully examine its design, considering the influence of its geographic location and surrounding topography. Its placement on a promontory provides a commanding view, facilitating the monitoring of access routes and offering a strategic vantage point to detect potential threats. The terrain's

morphology served as a natural deterrent against attacks, making the Castle of Morella a naturally well-defended fortress (Gaspar, 2003).

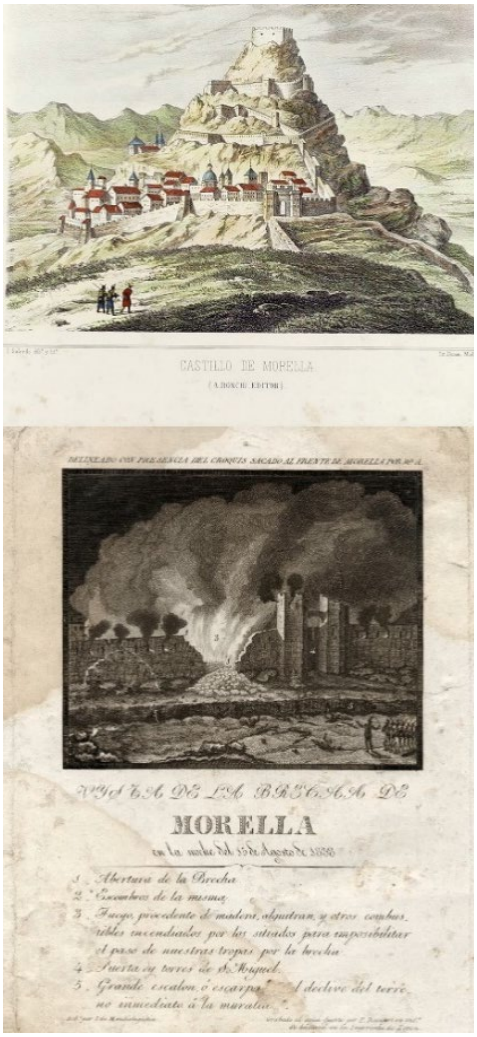


Fig. 2- Some historical images of the urban centre of Morella from the Biblioteca Valenciana Above, 1874 engraving by Salcedo y Echevarría. Below, view of the Morella breach on the night of 15 August 1838 by Rocafort Tomás.

This strategic approach is reflected in the architectural structure, which leverages rather than challenges the topographical context to enhance its defense. The fortress is designed across three levels, integrating architectural and defensive elements. The first level, at the base of the promontory, features robust circular masonry, ideal for resisting frontal assaults and ensuring uniform defense. The second level, the functional heart of the castle, is marked by imposing walls, semi-circular towers, and guardhouses that strengthen the structure and provide elevated platforms for observation and defense. The third level culminates with the parade ground and the keep, the most secure and strategically vital part of the castle. Between the castle and the medieval town lay the *Albacara*, an open space crucial for defense, serving as a buffer zone to slow down assailants.

2.2. The defensive system of the walls, historical gates and fortified towers

Built in the 14th century during the reign of King Peter IV, Morella's defensive walls were constructed on the remnants of earlier Islamic defenses (Alanya I Roig, 2000). Over the following centuries, the walls were reinforced and modified to adapt to advancements in siege warfare. Despite these changes, the fortifications retain much of their original Gothic character (Gaspar, 1992). The walls, spanning over 2.5 km and enclosing an area of approximately 0.5 km^2 are dotted with 14 watchtowers. Along their length, the walls incorporate advanced defensive features such as angular bastions and arrow slits, reflecting the military strategies of the era (Dualde Viñeta, 2016).

A key feature of Morella's walls is the *Paseo de Ronda*, a walkway along the fortifications that allowed defenders uninterrupted access to all sections of the walls (Dualde Viñeta, 2016). The monumental gates served not only as defensive bastions and observation points to monitor surrounding territories but also as administrative centers for managing access to the city. Each gate functioned as an entry point and checkpoint to regulate movement.

3. Multiscale documentation strategies for Morella's defensive system

From the castle's summit, where the majestic *Plaza d'Armes* opens, a cultural itinerary unfolds, harmoniously linking the monumental fortress's architecture with the historical gates that punctuate the fortified walls. Each distinctive element of this route, clearly visible from the height of the main rock, contributes to outlining a high-value path designed to enhance and deepen knowledge of the city's precious fortified

heritage. Documenting the current condition of the site and its monuments becomes a key objective not only for territorial monitoring but also for defining digital tools for storytelling and valorization (Florio, 2024; Parrinello et al. 2024). Past research and experimentation conducted within the PROMETHEUS project (Picchio et al., 2024; Picchio et al. 2023; Pettineo et al. 2023) have allowed for testing and optimizing digital documentation procedures. These efforts aim to standardize a survey method for the cultural routes targeted by the project, tailored to the specific realities of preserved, abandoned, or ruined architectural complexes along the spanish route (Parrinello & Pettineo, 2024).



Fig. 3- Acquisition and photogrammetric processing of the city's perimeter defence system Graphic elaboration by Francesca Picchio, Francesca Galasso, 2024.

The documentation activities for Morella's fortified system sought to implement an interdisciplinary approach for recording and structuring information on its architectural and urban heritage. This included training students and researchers on the historical and constructive value of Jaime I's cultural route. The research experience in Morella focused on implementing a strategy to test integrated digital survey methods, both terrestrial and aerial, to develop reliable 3D models and new operational programs. Adopting a digital survey methodology provides a foundational framework for structuring and certifying metric databases and photographic, critical, and supplementary census data on architectural and territorial components (Parrinello & Porcheddu, 2024; Tanduo et al. 2023; D'Agostino et al., 2022; Barba et al. 2021; Rinaudo & Scolamiero, 2021). The integration of LiDAR (7) and photographic (8) instruments ensures comprehensive coverage of the context and is conducted at multiple observation levels, including territorial, architectural, and structural stratifications.

3.1. Documentation of the monumental castle complex

For the Castle of Morella, the primary goal of the methodological work was to structure an operational workflow for integrated documentation that would cover the various architectural levels of the fortified complex, ensuring an accurate and detailed digital representation of the site. Its complexity presents specific challenges for 3D documentation, both during acquisition and processing, requiring a targeted approach for each architectural level within the fortified system.

UAV photogrammetry provided a series of images offering an overview of the castle and its territorial context (9). However, acquisition campaigns were significantly hindered by constant wind currents and the presence of birds, necessitating manual image capture through multiple trajectories at low altitudes around the castle's summit (but able to guarantee a GSD of 2cm/pix). Subsequent processing of the photogrammetric model identified data voids in the northern sections of the walls, characterized by steep, almost vertical rock faces. For close-range terrestrial surveys, a 360° camera system was employed to evaluate the feasibility of performing rapid photogrammetric surveys on the move (Janiszewski et al. 2022; Teppati Losè et al. 2021). The quality of the data was influenced by lighting conditions: intense sunlight created sharp shadows on buildings and walls, complicating transitions between well-lit areas and shaded zones. Consequently, slow-paced acquisition was necessary to allow the camera's sensor to adjust in real-time to changes in light (10). Finally, digital survey activities were carried out using parallel acquisition phases with Terrestrial Laser Scanners (TLS) and Mobile Laser Scanners (MLS). TLS provided detailed, high-precision data on primary structures, while MLS enabled rapid coverage of linear paths and connection areas (11). This combination allowed the architectural complexity of the site to be addressed by integrating the strengths of both technologies to achieve comprehensive and reliable documentation within relatively short timeframes.

3.2. Urban acquisition systems and mobile tools

The configuration and complexity of Morella's urban system determined operational choices

during the territorial documentation phase. The planned activities were structured into different operational phases, considering the defensive system along the city's perimeter and the internal connections linking it to the castle (Maragno et al. 2024; La Placa & Dell'Amico, 2024). Given the extent of the walls, a mobile system was used to document the internal and external portions of the fortifications in a short time (12).

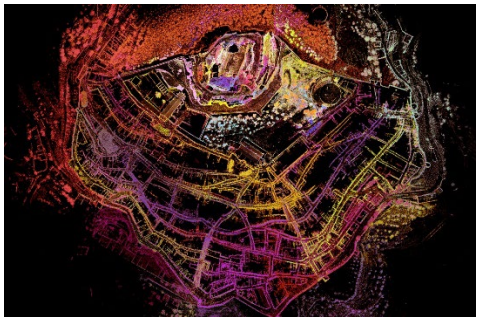


Fig. 4- Integration of the database obtained from TLS and MLS scans of the Morella city centre and Castle. Each colour highlights a different scan, highlighting the large number of scans taken to document the fortified systems of the walls and castle Graphic elaboration by Francesca Picchio, Francesca Galasso, 2024.

However, due to the inability to obtain closed-loop paths that would control errors during acquisition, it was necessary to program each open path based on the duration and volume of data to be captured. To mitigate the risk of deviation errors, city gates and towers along the defensive perimeter were used as control points to link the interior and exterior, ensuring connections between segments. The collected data provided a clear understanding of the city walls' development and their connections to the landscape and the urban centre. Upon completing documentation of the fortified perimeter, attention shifted to the internal pathways within the urban fabric.

These surveys documented internal urban connections to ensure error control in linear, non-closed paths (La Placa & Doria, 2022). Survey planning accounted for strategic overlap points between contiguous scanning segments and intersections with secondary streets. Factors such as scanning duration and acquisition techniques were influenced by the tourist flow characteristic of the area during the summer. To avoid interruptions from people and other elements that could introduce noise into the data, scans were scheduled during less crowded times of the day, resulting in homogeneous and easily interpretable data.

4. Data processing and integration for accurate heritage documentation

From the digital products generated through various documentation techniques, each dataset was processed following registration and data treatment procedures, resulting in point clouds that digitally represent the locations. Datasets were aligned using TLS data as a reference, ensuring orientation and integration with point clouds generated from MLS and photogrammetric elaborations.

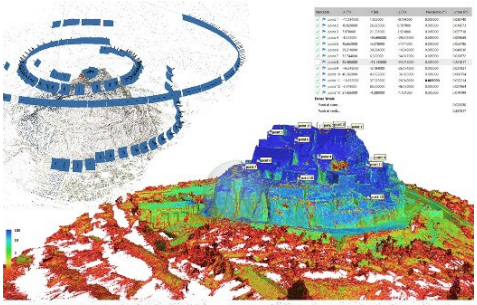


Fig. 5- Photogrammetric processing of the castle dataset and checking the accuracy of the digital product obtained. The points in blue underline the reliability of the data, confirmed by the average alignment error on the control points Graphic elaboration by Francesca Picchio, Francesca Galasso, 2024.

The use of homologous points across datasets ensured accurate alignment, though not without limitations. Processing TLS data at full resolution reduced errors but did not eliminate them entirely, particularly in linear structures where open-path documentation prevented the creation of closed-loop trajectories that would have improved model strength. Close-range photogrammetry using a 360° camera for rapid photogrammetric acquisition produced an initial fragmented dataset that was difficult to interpret.

This issue was attributed to the speed of acquisition during image capture, compromising data quality and the coherence of the point cloud. To address this limitation, a new dataset of images was created by extracting individual frames from field-acquired videos. This method

enabled detailed management of the number of images processed, optimizing coverage and ensuring higher quality in the final dataset (13). Despite these challenges, the integration of multiple techniques underscores the importance of combining diverse methods to overcome individual limitations and enhance the overall quality of the documentation. The post-production processes and error control resulted in a highly reliable metric database (14), serving as a crucial resource for assessing the site's current state and deeply supporting the planning, conservation, valorisation, and management of the fortified heritage.

5. Conclusion

The digitalization strategy for Morella's fortified structures goes beyond material preservation, aiming to create a tool that digitally qualifies the identity of the space. Integrating the walls and fortifications into the database of Jaime I's Route strengthens the connection between local heritage and European collective memory, transforming Morella into a focal point for rediscovering the medieval and military origins of this itinerary.

A database structured in this way becomes the knowledge base for structuring transversal knowledge paths, which exploit homogeneous data or use integration from different data sources. From the 360° panoramas it is possible to navigate in VR (Zerlenga et al. 2023) and access 3D models uploaded on specific platforms, as well as to develop integrated BIM or GIS models able to systemise the evolutionary history of the castle and the city (Pettineo et al. 2024; Dell'Amico, 2023; De Fino et al. 2020). Morella's fortified system serves as an emblematic case demonstrating the effectiveness of contemporary documentation techniques applied to historical and cultural contexts. Integrating these practices into the Jaime I Cultural Route represents an opportunity to promote conservation, research, and public engagement. It contributes not only to safeguarding shared heritage but also to enhancing its narrative and scientific potential.

Notes

(1) The project PROMETHEUS - Protocols for Information Models Libraries Tested on Heritage of Upper Kama Sites is part of Horizon 2020 Marie Sklodowska-Curie Actions, Research and Innovation Staff Exchange (RISE), Proposal number: 821870. The project involves creating digital platforms for sites along several cultural routes in Europe at different scales, historically rooted in their respective territories: the territorial route of salt merchants in Upper Kama (Russia), the provincial route of sites conquered by Jaime I (Spain), and the urban fortification system of Gdansk (Poland).

(2) The castle was declared a national historical monument by the Spanish state on June 4, 1931. For further details, see the Decree of June 3, 1931, declaring Historical-Artistic Monuments belonging to the National Artistic Treasury, Gaceta de Madrid (155): 1181-1185.

(3) Although there is no specific information about Jaime I's actions in Morella, his figure remains relevant in the broader context of the Reconquista and the formation of the Crown of Aragon.

(5) Among the many gates, Puerta del Forcall stands out for its simple construction and direct access to trade routes.

(6) The first documentation mission for Jaime I's Route was carried out in July 2022, involving researchers from the Polytechnic University of Valencia and researchers and students from the University of Pavia. Specifically, the research activities in Morella began during the International Summer School "The Route of Jaime I: Survey and Analysis for Evaluation, Enhancement, and Management of European Cultural Heritage Routes," organized by the DAda Lab Research and Teaching Laboratory. It was promoted by the University of Pavia, the Polytechnic University of Valencia, and other academic and industry partners. The Summer School took place from July 24 to 31, 2023, in Valencia and Morella, Spain, with the participation of students, PhD candidates, and researchers from the University of Pavia.

(7) The tools used during the acquisition campaign included a Terrestrial Laser Scanner (TLS), Leica RTC360, and two Mobile Laser Scanning (MLS) systems: a Leica BLK2GO and a Stencil KAARTA.

(8) The documentation campaign utilized a Ricoh Theta 360° camera and DJI Mavic Mini 2 Pro lightweight drones.

(9) Three acquisition sessions were conducted manually, following a concentric path around the monumental site. A total of 493 images were collected.

(10) After manually setting acquisition parameters, two types of data capture were performed: the first through automatic shooting

of one panoramic image per second, generating a total of 170 images; the second by recording three videos at 24fps.

(11) TLS documentation included 157 high-resolution scans to capture the entire castle and some accessible buildings. MLS surveys were carried out in closed circuits and short paths, with 25 closed-loop scans lasting up to seven minutes each.

(12) Documentation of the walls using the Stencil KAARTA involved numerous scans, manoeuvring the tool along various axes to capture as much detail as possible. For further details on acquisition methods, see (Dell'Amico, 2023).

(13) By defining the number of images to extract, a semi-automated dataset of about 500 images was created, producing a dense point cloud with approximately 103 million points.

(14) The integration of all databases resulted in an average registration error of around 30 cm. Given the site's scale and the high volume of integrated data, the error is considered acceptable.

References

Alanya i Roig, J. (2000*). Urbanisme i vida a la Morella medieval (segles XIII-XIV).* Morella: Ajuntament de Morella / Associació d'Amics de Morella Coma.

Barba, S., Ferreyra, C., Cotella, V.A., Di Filippo, A., & Amalfitano, S. (2021, July). A SLAM integrated approach for digital heritage documentation. In *International Conference on Human-Computer Interaction* Cham: Springer International Publishing, pp. 27–39.

D'Agostino, G., Figuera, M., Russo, G., Galizia, M., & Militello, P.M. (2022). Integrated 3D survey for the documentation and visualization of a rock-cut underground-built heritage. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,* 46, 167–174.

Dalmases Balañà, N., & Pitarch, A.J. (1983). Morella: Ciudad de Morella. In Bérchez, J. (ed.), *Catálogo de Monumentos y Conjuntos de la Comunidad Valenciana*. València, Conselleria de Cultura, Educació i Ciència.

De Fino, M., Ceppi, C., & Fatiguso, F. (2020). Virtual tours and informational models for improving territorial attractiveness and the smart management of architectural heritage: The 3d-imp-act project. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 44, 473-480. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-M-1-2020-473-2020

Dell'Amico, A. (2023). The Walled city of Verona. Integrated survey systems for the enhancement and promotion of Verona's city Walls. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.,* XLVIII-M-2-2023, pp. 481–489, https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-481-2023,

Dell'Amico, A., & La Placa, S. (2024). La documentación digital del centro histórico de Santa Cruz de Mompox, declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO. *Mimesis. Jasd*, 4(4), 41–48.

Dualde Viñeta, V. (2016). *Puertas y torres de Morella*. Morella: Ajuntament de Morella.

Florio, R. (2024). Procedure e metodologie per la conoscenza e il disegno delle architetture della città. *TRIBELON Journal of Drawing and Representation of Architecture, Landscape and Environment*, *1*(1), 40–49. https://doi.org/10.36253/tribelon-2855

Janiszewski, M., Torkan, M., Uotinen, L., & Rinne, M. (2022). Rapid photogrammetry with a 360-degree camera for tunnel mapping. Remote Sensing, 14(21), 5494. https://doi.org/10.3390/rs14215494

La Placa, S., & Doria, E. (2022). Reliability of DTMs obtained with mobile fast surveys techniques. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 46, 299-306. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-2-W1-2022-299-2022

Maragno, A., Barbini, A., Bernardini, E., Chioni, C., & Massari, G.A. (2024). La misura per la dismisura dei dati da rilievo digitale 3D. Il caso del centro storico di Trento. In Bergamo, F., Calandriello, A., Ciammaichella, M., et al. (eds.), *Misura/Dismisura. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano, FrancoAngeli, pp. 1679–1698.

Ortí Miralles, F. (1958). *Historia de Morella.* Benimodo: Ediciones Orti.

Parrinello, S., & Pettineo, A. (2024). Traditional architectures along the cultural route of James I of Aragon in the province of Valencia: Leveraging laser scanning and BIM for heritage management. *Materials Research Proceedings*, 40, 350–357. https://doi.org/10.21741/9781644903117-36

Parrinello, S., Picchio, F., La Placa, S. (2024). The Construction of an Informative 3D Model for the Monitoring of City Heritage Risk. In: Thiel, F., Orabi, R. (eds) *Reviving Aleppo. Cities, Heritage and Transformation*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-65858-7_11

Parrinello, S., Porcheddu, G. (2024). Documentation Procedures for Rescue Archaeology Through Information Systems and 3D Databases. In: Giordano, A., Russo, M., Spallone, R. (eds) *Beyond Digital Representation. Digital Innovations in Architecture, Engineering and Construction*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-36155-5_49

Pettineo, A., Dell'Amico, A., Picchio, F., & Parrinello, S. (2024). H-BIM e GIS per l'analisi e la ricostruzione filologica del castello di Almencir in Spagna. *DN*, *14*, 6-16.

Pettineo, A., La Placa, S., & Kowalski, S. (2023). From archives sources to virtual 3D reconstruction of military heritage–the case study of Port Battery, Gdańsk. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,* 48, 885-893.

Picchio, F., Cortéz Meseguer, L., & Porcheddu, G. (2023). Disegnare un sistema informativo 3D per la promozione della rotta culturale di Jaime I a Valencia. In Cannella, M., Garozzo, A., & Morena, S. (eds.), *Transizioni. Proceedings of the 44th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano, FrancoAngeli, pp. 1832–1857. https://doi.org/10.3280/oa-1016-c381.

Portela, I.V., Viñals Blasco, M.J., & Muñoz Cosme, G. (2020). Actions for the enhancement of heritage. The case of the town walls of Morella (Castellón, Spain). *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIV-M-1, 877–884. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-M-1-2020-877-2020

Rinaudo, F., & Scolamiero, V. (2021). Comparison of multi-source data, integrated survey for complex architecture documentation. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 46, 625-631. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-M-1-2021-625-2021Salvador Gaspar, M. (1992). Fortificaciones de Morella. Reconstrucción de 1873-1875. *Estudis Castellonencs,* 5. Castellón: Diputació de Castelló.

Salvador Gaspar, M. (2001). Morella. Guerra de Sucesión a la Corona de España (1706-1711). *Boletín de la Sociedad Castellonense de Cultura*, Tomo LXXVI.

Salvador Gaspar, M. (2003). *Guía del castillo de Morella*. Morella: Asociación Amigos de Morella.

Segura Barreda, J. (1868). Morella y sus aldeas. Morella: Imprenta F.

Tanduo, B., Teppati Losè, L., & Chiabrando, F. (2023). Documentation of complex environments in cultural heritage sites. A SLAM-based survey in the Castello del Valentino basement. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, 489–496.

Teppati Losè, L., Chiabrando, F., & Tonolo, F. (2021). Documentation of complex environments using 360 cameras. The Santa Marta Belltower in Montanaro. *Remote Sensing*, 13(18), 3633. https://doi.org/10.3390/rs13183633.

Zerlenga, O., Cicala, M., & Miele, R. (2023). Immagini per la fruizione del Patrimonio Culturale. Itinerari virtuali per la conoscenza e la valorizzazione del castello di Roccarainola. In *IMG23 Atti del IV Convegno Internazionale e Interdisciplinare su Immagini e Immaginazione.* Publica, pp. 625-631.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20361

I "torresini da polvere" della Serenissima: storia, rilievo e ricostruzione digitale di un'architettura militare perduta

Ludovica Galeazzo[a], Gianlorenzo Dellabartola[b], Federico Panarotto[c]
[a] Università degli Studi di Padova, Padova, Italia, ludovica.galeazzo@unipd.it, [b] gianlorenzo.dellabartola@unipd.it, [c] federico.panarotto@unipd.it

Abstract

This paper examines a primary military architectural structure essential to the defence and survival of Venice's capital in response to advancements in early modern military technology: the *torresini*, or gunpowder storage towers, constructed from 1565 onward on various islands across the Venetian lagoon. To safeguard the urban centre, the Republic relocated artillery outside the city and introduced an innovative architectural typology characterised by a robust square structure with a distinctive pyramidal roof and a sophisticated subterranean ventilation system. This advanced design rapidly became a model, subsequently adopted throughout the Republic's territories. Digital surveys of surviving structures, conducted by the ERC project *Venice's Nissology* (VeNiss), combined with historical, archival, and iconographic analyses, enabled the three-dimensional reconstruction of nine buildings. By employing advanced HGIS and HBIM methodologies, the team developed interoperable 3D models that not only visualise now-lost structures but also facilitate in-depth comparative analyses of compositional features, construction techniques, materials, and technological aspects across these buildings.

Keywords: Venetian gunpowder towers, Venice's lagoon, HGIS, HBIM.

1. Introduzione

Difendere, attaccare e armare: nella complessa politica militare della Repubblica di Venezia di età moderna un ruolo significativo rivestì la realizzazione di avanzate e tecnologicamente aggiornate fabbriche per il deposito della polvere da sparo, edifici che dovevano garantire non solo una buona conservazione delle scorte accumulate ma, soprattutto, una notevole sicurezza contro i frequenti pericoli di incendi. In un'accorta strategia di preservazione dell'integrità della città, nel corso del XVI secolo la Serenissima impiegò sistematicamente il proprio territorio lagunare per dislocare polveri nere e artiglierie all'interno di otto isole del suo specchio d'acqua (Concina, 1995). A tale scopo la magistratura dei Provveditori alle artiglierie mise a punto una nuova architettura militare, i *torresini* o *caselli* da polvere, caratterizzata da un robusto parallelepipedo con muri in laterizio rivestiti da blocchi lapidei e da una tipica copertura piramidale in pietra d'Istria, protetta da lastre di piombo e sorretta da una volta in mattoni riempita, all'estradosso, da conglomerato di calce e pietrame. Tale soluzione divenne un modello particolarmente funzionale che fu esportato in tutti i domini *da terra* e *da mar* della capitale (Panciera, 2005).

Se la documentazione storico-archivistica ben restituisce la regolamentazione di queste fabbriche, di contro non elucida le loro componenti architettoniche né le ragioni della loro conformazione. Anche l'architettura *in situ* poco conserva degli edifici originari, in gran parte demoliti o fortemente rimaneggiati, impedendo una lettura omnicomprensiva. Le recenti analisi

BY-NC-SA

condotte dal gruppo di ricerca del progetto ERC *Venice's Nissology* (VeNiss) hanno permesso di misurare e studiare alcune delle strutture ancora esistenti e di restituire gli impianti di alcune polveriere andate del tutto o parzialmente distrutte (1). Il rilievo digitale di tali manufatti, successivamente integrato con informazioni reperibili da fonti testuali e iconografiche o da esempi ancora presenti in terraferma, ha portato alla ricostruzione tridimensionale delle diverse fabbriche anche nei loro elementi costruttivi. Attraverso l'utilizzo di tecniche di HGIS e HBIM, sono stati realizzati modelli 3D interoperabili che hanno consentito di avviare importanti indagini comparative per verificare l'esistenza di linee progettuali dettate dalla Repubblica e determinare caratteri compositivi, tecniche costruttive, materiali e aspetti tecnologici di un'architettura lagunare fortemente innovativa e aggiornata alle più recenti esigenze della difesa "alla moderna".

2. "Per beneficio et securezza di questa città": una rete di *caselli* da polvere in laguna

Sino alla metà del XVI secolo le scorte di polvere da sparo all'interno della città marciana erano conservate unicamente nel bacino dell'Arsenale, cuore nevralgico della cantieristica navale della Serenissima (Concina & Molteni, 2001). A partire dagli anni Sessanta del secolo, però, la preoccupazione per il loro dislocamento in un singolo luogo indusse il Consiglio dei dieci a sfruttare la natura particellare della capitale e ad autorizzare, il 27 aprile 1565, la costruzione di tre *caselli* da polvere in altrettante isole dell'arcipelago, da realizzare "quanto prima" e secondo le indicazioni fornite da magistrati ed esperti (2). L'urgenza imposta dall'autorità appare evidente dalla rapidità delle vicende: già l'8 giugno, dopo aver raccolto il parere dei periti, il provveditore alle artiglierie Marco Dolfin presentò al Collegio un modello in scala, purtroppo andato perduto, su cui esso era chiamato a esprimersi. L'assenso dell'autorità diede avvio alla costruzione delle tre polveriere, necessariamente da erigersi "*nella forma del detto modello et delle misure sera dechiarite*". Dapprima furono scelte le isole del Lazzaretto Vecchio, del Lazzaretto Nuovo e di San Lazzaro ma, appena un mese più tardi, si optò per sostituire quest'ultima con il vicino insediamento di Santo Spirito, riconosciuto come "*molto commodo*", all'epoca abitato da una comunità di canonici lateranensi (3). Il documento non chiarifica le motivazioni di tali selezioni ma, almeno per quanto riguarda i lazzaretti, la decisione di insediare fabbriche militari in due isole di giurisdizione statale non solo rientrava nelle logiche funzionali della Repubblica rispetto ai centri pelagici, ma evitava problemi di ingerenze con altre comunità e garantiva anche un maggiore controllo (Galeazzo, 2020).

I primi *torresini* furono innalzati rispettivamente nel lato più occidentale del Lazzaretto Nuovo, nel piccolo lembo di terra collegato al Lazzaretto Vecchio (detto Ortaglia) e lungo il lato nord di Santo Spirito. Molteplici i caratteri comuni di queste fabbriche: in primo luogo l'ubicazione, nella parte più esterna dell'insediamento e in prossimità dei canali di navigazione, ma anche la presenza di recinti murari e moli di attracco distinti per dividere l'area militare dalle altre attività. Anche a livello morfologico questi *caselli* seguivano lo stesso impianto, con un perimetro quadrato che oscillava tra i 7,50 e gli 8 metri di lato.



Fig. 1- Da sinistra a destra, i *torresini* delle isole del Lazzaretto Nuovo, Lazzaretto Vecchio, Certosa, Santo Spirito, San Secondo, San Giorgio in Alga, San Clemente e San Felice a Chioggia.

Il terribile incendio che colpì l'Arsenale nel 1569 portò alla decisione di erigere altri due *torresini*, rispettivamente nell'angolo nord-est dell'isola di San Secondo e nella parte sud-occidentale del complesso di San Giorgio in Alga. Tali strutture, modellate sulle precedenti, erano già certamente attive nel 1589 come esplicita una nota presentata da Alessandro Comin all'ingegnere militare e generale d'artiglieria Giulio Savorgnan (4). A questi interventi seguì però una terza intensa fase di edificazione che si protrasse per tutta la prima metà del Seicento e che vide la costruzione di altri cinque depositi: all'interno del Lazzaretto Vecchio, nello spazio oggi definito dai *tezoni* ai Morti e al Morone (1604); nel lato orientale del Lazzaretto Nuovo (1607); nella punta più estrema della Certosa rivolta verso Venezia (1632); nell'angolo nord-est dell'isola di San Clemente e all'interno del forte di San Felice di Chioggia.

La copiosa documentazione redatta dai Provveditori alle artiglierie nei secoli successivi riporta numerosi interventi di riparazione condotti nel Settecento su queste strutture. Particolare attenzione era rivolta alle coperture, spesso soggette a danneggiamenti e furti ma anche assai fragili da un punto di vista costruttivo (5). La forte inclinazione - che doveva impedire il ristagno dell'acqua piovana e garantire la resistenza ai colpi di bombarde - e l'uso integrale della pietra sottoponevano queste strutture a fessurazioni e crolli. Anche il Soprintendente Domenico Gasperoni, nel 1778, ne criticò l'"eccedente altezza" che, gravando sulle murature, creava forti problemi di umidità (6). Come dimostrano numerose vedute settecentesche, i restauri non stravolsero però l'equilibrio degli edifici che continuarono a mantenere la loro peculiare conformazione sino ai primi decenni del XIX secolo (Fig. 1). Fu solo durante la dominazione asburgica che gran parte delle fabbriche venne alterata con interventi di sopraelevazione e rimodellazione o, in alcuni casi, di totale demolizione.

3. Un'architettura difensiva lagunare perduta

Attualmente, delle dieci polveriere accertate dalla documentazione storica, ne rimangono in essere - a diversi stati di conservazione - solamente sei. Le strutture meglio preservate si trovano nell'isola del Lazzaretto Nuovo dove è ancora possibile leggerne l'impianto antico circondato da recinti perimetrali di divisione (Figg. 2a e b). I due *torresini* sono costituiti da una struttura quadrangolare in mattoni rivestita da grandi blocchi in pietra d'Istria segnati, nella parte basamentale, da un toro sporgente che divide la facciata in leggera scarpa dalla cortina superiore e, nella parte sommitale, da una semplice cornice marcapiano, formata da un cavetto sormontato da un listello. Entrambe sono caratterizzate da un unico ingresso con portale e da scale lapidee, sicuramente di età più tarda, in sostituzione di strutture lignee. Le alzate in mattoni sopra le fasce marcapiano e le coperture a quattro falde sono invece il risultato degli interventi della prima metà dell'Ottocento. Particolarmente interessante è la presenza, in entrambe le strutture, di un'intercapedine che oscilla tra i 25 ai 50 cm sviluppandosi sotto la pavimentazione lignea e che, attraverso piccole aperture collocate sotto il toro, garantiva un tempo l'aerazione dell'edificio e il buon mantenimento delle polveri. Sotto questo interstizio si sviluppano due ambienti ipogei coperti da una volta a botte in muratura, per un'altezza massima che varia nei due casi da 90 a 150 cm. Si tratta di un accorgimento costruttivo prettamente lagunare e che non è presente nelle polveriere erette in terraferma o nel Mediterraneo. La necessità di isolare i *torresini* insulari dall'umidità ascendente condusse alla realizzazione di una tecnologia edilizia di maggiore complessità che mette in luce non solo la "resilienza architettonica" veneziana ma anche l'attenzione rivolta verso un manufatto



Fig. 2- Le polveriere presso: Lazzaretto Nuovo (a-b), Certosa (c), Santo Spirito (d), San Giorgio in Alga (e) e San Secondo (f) (foto degli autori, 2024).

militare di particolare importanza per la difesa della capitale.

Similmente, nella polveriera della Certosa (Fig. 2c) - sottoposta a invasive alterazioni durante un restauro condotto nel 1997 - si conservano il rivestimento esterno in pietra che si eleva sino all'estradosso delle finestrelle quadrate, le bocche di aerazione, il toro e, nel lato orientale, la fascia marcapiano che è stata riutilizzata per il nuovo coronamento. Non sono invece più apprezzabili i cunicoli di aerazione che si trovavano al di sotto del piano di calpestio (Panciera, 2005, 157-158). Quanto agli altri depositi, se dell'antico *torresino* di Santo Spirito rimane oggi solo la parte basamentale che si eleva per poco più di 2 metri (Fig. 2d), a San Giorgio in Alga solo una porzione angolare del fabbricato emerge da un terrapieno ricoperto da un folto strato di vegetazione (Fig. 2e). Del casello di San Secondo è possibile vedere, solamente con la bassa marea, il primo corso di blocchi di pietra che formava il basamento a scarpa e alcuni lacerti del toro (Fig. 2f). Infine, si è parzialmente conservata la struttura interna del *torresino* di Chioggia, non analizzato però in questo studio. Gli altri *caselli* sono invece stati demoliti e per essi non rimangono che le tracce di fondazione. In tutti i casi, però, non si sono preservate l'antica copertura piramidale in pietra, né le volte interne ed è quindi necessario fare affidamento solo all'iconografia o ad esempi di terraferma per ricostruirne l'assetto.

4. Fonti storiche per la ricostruzione

Quanto alla documentazione storico-archivistica, le deliberazioni dei Capi di dieci e le relazioni prodotte dai proti preposti al controllo di questi fabbricati offrono informazioni solo parziali in merito alle loro dimensioni, tecniche costruttive e ai materiali. Se le planimetrie redatte dalle magistrature di *ancien régime* e le mappe catastali ottocentesche permettono di tracciare con certezza la dislocazione dei *caselli* all'interno delle diverse isole e le loro misure in planimetria, non restituiscono invece alcun dato circa il loro elevato e le caratteristiche tecnologiche. Di contro, le numerose vedute settecentesche, pur delineando con puntualità i prospetti esterni, non appaiono affidabili per possibili indagini morfo-dimensionali, soprattutto per quanto riguarda l'altezza e la pendenza della copertura piramidale che spesso appare forzatamente enfatizzata (Fig. 1). Si è pertanto fatto affidamento su alcuni progetti elaborati da periti e ingegneri asburgici per comprenderne la struttura almeno sino alla linea d'imposta della piramide (7). Per definire la copertura si è ricorsi anche a un dettagliato elaborato che rappresenta la polveriera ricavata all'interno del convento di Santa Maria di Sotto a Bergamo in cui sono rilevati la volta interna e la copertura (Fig. 3). Un'ultima fonte importante, di tipo testuale, è il saggio di pirotecnica steso dall'ingegnere Gaetano Melandri nel 1814, in cui

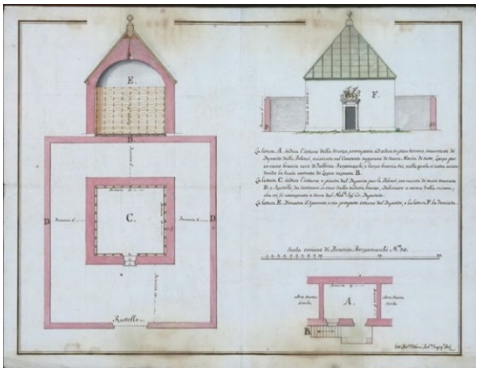


Fig. 3- Rilievo della polveriera presso Santa Maria di Sotto a Bergamo, 1776 (ASVe, *Patroni e provveditori all'arsenal*, b. 562, dis. 3)

sono presenti accurate descrizioni di *torresini* da lui stesso visitati e misurati subito prima delle loro alterazioni (Melandri, 1814).

5. Rilievo digitale integrato e georeferenziazione della cartografia storica

Le polveriere ancora esistenti e le tracce di quelle parzialmente demolite sono state acquisite, studiate e rappresentate nel dettaglio grazie a operazioni di rilievo digitale integrato che hanno richiesto l'uso di diverse tipologie di strumenti, con approcci statici preferiti a quelli dinamici, ove necessario. L'attenzione è stata rivolta tanto alle strutture esterne quanto agli ambienti interni e, dove presenti, anche alle sale ipogee. Per quest'ultime, tipicamente separate e prive di comunicazione diretta con i livelli superiori, il collegamento è stato reso possibile attraverso una piccola apertura posta sull'estradosso della volta, realizzata in epoca tarda per rendere ispezionabile l'area.

A livello tecnico le due nuvole di punti - una relativa agli ambienti superiori e l'altra agli spazi interrati - sono state unite tramite scansioni ravvicinate dell'intercapedine. Tale connessione

ha permesso di ottenere una nuvola di punti completa, in grado di fornire una visione d'insieme utile alla comprensione delle dinamiche funzionali della struttura e allo sviluppo di approfondimenti circa i meccanismi di ventilazione.
Quanto alle componenti semisommerse, è stato fondamentale rapportarsi alle oscillazioni del livello lagunare e lavorare esclusivamente in condizioni di bassa marea per portare alla luce strutture basamentali importanti per le ipotesi ricostruttive. Sono stati impiegati sistemi di laser scanner fisso (TLS) e mobile (MLS) per operazioni di rilievo rapide, integrati con database fotogrammetrici derivanti da acquisizioni a terra e con droni (UAV). I dati spaziali sono stati poi associati con informazioni morfologiche espresse come punti GPS per la georeferenziazione delle nuvole di punti (8).

La fase di elaborazione dei dati ha visto l'analisi e la discretizzazione dei materiali raccolti, successivamente caricati in una banca dati integrata, base indispensabile per rappresentare la configurazione attuale e storica dei casi indagati, aprendo anche alla possibilità di un loro confronto - dimensionale e morfologico - con architetture similari (Parrinello & Picchio, 2023). Le informazioni estrapolate dal rilievo digitale sono infatti state comparate tra loro ma anche con alcune strutture coeve presenti nell'entroterra. In particolare, si è fatto riferimento a due *torresini* bergamaschi rilevati nel 2022 dall'Università degli Studi di Bergamo che ha gentilmente fornito i risultati finali della propria ricerca (Cardaci & Versaci, 2022; Cardaci, Versaci & Azzola, 2023). Questi ultimi, a differenza delle polveriere lagunari assai rimaneggiate, presentano ancora elementi costruttivi originari, soprattutto in merito all'antica copertura piramidale lapidea e al sistema voltato interno, elementi utili di raffronto per le nostre ipotesi ricostruttive (Fig. 4).

Per lo studio della cartografia storica è stato invece adottato un sistema informativo geografico (HGIS), al fine di connettere i dati e le elaborazioni grafiche derivanti dai rilievi con le rappresentazioni antiche delle fabbriche. Attraverso l'individuazione di una serie di punti di riferimento (*ground control points*), le mappe sono state georeferite attraverso operazioni polinomiali di rototraslazione e variazione di scala, in modo da adattarle alle restituzioni attuali (Picuni, Cilis & Statuto, 2019). Questo processo è risultato importante per tutte le attività di analisi e ricostruzione dei numerosi cambiamenti occorsi a queste strutture ma si è rivelato cruciale per i *caselli* di cui non persiste oggi alcuna traccia. Se, infatti, per le polveriere rimaste sostanzialmente inalterate lo studio si è limitato a una verifica del loro posizionamento rispetto ai perimetri insulari, per le altre il processo di georeferenziazione ha permesso di stabilire con un buon grado di accuratezza il dimensionamento in pianta. Nel caso di San Secondo, l'indagine si è concentrata sulla localizzazione delle tracce basamentali della polveriera e del recinto che la proteggeva, determinandone la planimetria generale. Di contro, per i *torresini* di San Giorgio in Alga - dove è visibile solo l'angolo sud-occidentale - e per quelli non più esistenti di San Clemente e del Lazzaretto Vecchio, la georeferenziazione ha consentito di ipotizzare la posizione delle diverse strutture e di stimarne le dimensioni originarie, indispensabili per comprendere la persistenza di un modello architettonico comune.

6. Le ipotesi ricostruttive sviluppate in ambiente HBIM

A partire dai rilievi dello stato di fatto e dalla cartografia storica georiferita e grazie alla ricca documentazione iconografica, è stato possibile avviare una campagna di modellazione tridimensionale per ricostruire la conformazione originaria di almeno nove polveriere del bacino lagunare. A tal fine si è fatto ricorso a un processo di *reserve ingeneering* (De Luca et al., 2006) che è stato sviluppato attraverso l'Historic Building Information Modeling (HBIM), un sistema



Fig. 4- Estrapolazioni nuvole di punti relative alle polveriere rimaste totalmente o parzialmente intatte

integrato che associa i dati di rilievo ricavati da laser scanner terrestre a procedure di fotogrammetria (Murphy et al., 2009). Nel contesto dello sviluppo dei modelli semantici interoperabili, è risultato essenziale integrare i diversi dati di *input* (attuali e storici) all'interno di uno stesso spazio di lavoro in modo che i modelli HBIM agissero da unico contenitore per confrontare le informazioni raccolte attraverso ricostruzioni parametriche interpretative. L'obiettivo di rappresentare tridimensionalmente una serie di architetture militari, oggi solo parzialmente comprensibili nella struttura e nel funzionamento, ha condotto a un lavoro analitico-ricostruttivo selettivo sui nove casi prescelti, applicando tre metodologie distinte in base ai diversi stati di conservazione. La prima categoria riguarda le fabbriche dove gran parte delle strutture originarie sono ancora presenti, la seconda quelle in cui solo alcune porzioni dell'antico fabbricato sussistono, mentre l'ultima prende in considerazione gli edifici di cui oggi non rimane alcuna traccia fisica.

6.1. Le polveriere preservate

Le polveriere meglio conservate - perlomeno in alcune parti della fabbrica originale - si trovano nelle isole del Lazzaretto Nuovo e della Certosa (Fig. 5). A partire dall'analisi dei rilievi digitali integrati in ambiente HBIM e mediante un processo interpretativo basato sulla documentazione storica e sulla comparazione con strutture similari presenti a Bergamo, si è avviata la ricostruzione digitale dello stato di fatto e, su essa, sono state analizzate dettagliatamente le tre porzioni di fabbrica principali: la base, il corpo centrale e la copertura (Fig. 6).

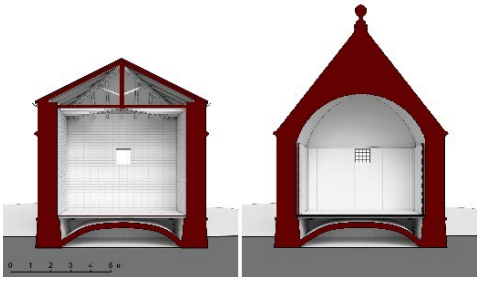


Fig. 6- Spaccato prospettico dell'edificio attuale e ipotesi ricostruttiva delle parti originarie (elaborazione degli autori, 2024).

Quanto alla struttura basamentale, l'attenzione maggiore è stata rivolta all'ambiente ipogeo voltato a botte e al sistema di ventilazione posto all'interno dell'intercapedine. Al fine di verificare l'efficacia di tale soluzione, si è effettuata un'analisi CFD (Computational Fluid Dynamics) sul modello digitale HBIM della polveriera ovest del Lazzaretto Nuovo, operazione che ha permesso di simulare e stimare il flusso di aria che entrava attraverso le bocche di aerazione per garantire un moto convettivo.

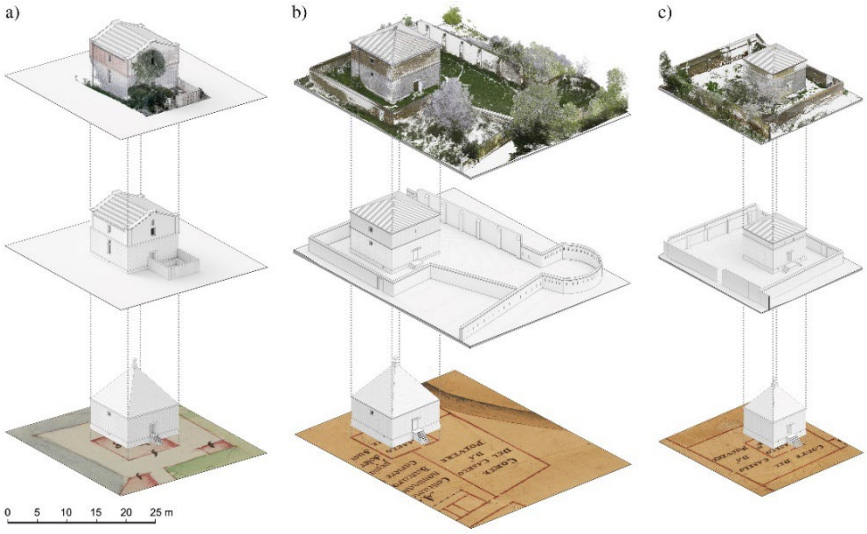


Fig. 5- Rappresentazione dei *caselli* della Certosa (a) e del Lazzaretto Nuovo est (b) e ovest (c) (elaborazione grafica degli autori, 2024).

Nello specifico, il *torresino* è dotato di due piccole aperture rettangolari nella parete rivolta a sud-est e due, simmetriche, nel fronte nord-ovest. Simulando un flusso d'aria in un giorno invernale, quando una delle pareti si trova totalmente esposta al sole e l'altra è in ombra, e ipotizzando una variazione di temperatura tra esse di 3 gradi, l'analisi ha dimostrato come, a causa della differente pressione, all'interno del corpo di fabbrica si instauri una ventilazione naturale capace di contrastare il fenomeno di risalita capillare dell'umidità e in grado, dunque, di garantire un clima interno più asciutto (Fig. 7).

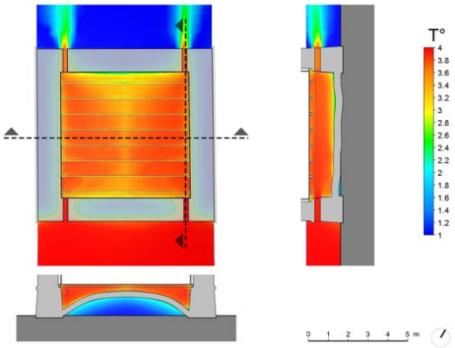


Fig. 7- Simulazione fluidodinamica del sistema di ventilazione (temperatura in gradi Celsius) (elaborazione grafica degli autori, 2024).

Il corpo centrale era l'ambiente in cui venivano riposti i barili con le polveri ed era, in origine, compreso in altezza tra il toro basamentale e la cornice marcapiano ancora visibile. Lo studio comparativo fra le polveriere ancora esistenti - considerate senza le superfetazioni - ha messo in luce la loro quasi perfetta corrispondenza in elevato (9), rilevando come la linea progettuale impostata per il *torresino* minore del Lazzaretto (il primo a essere costruito) si sia mantenuta nei secoli successivi, sino alla costruzione del più recente, quello certosino del 1632 (Figg. 2a e c).

Quanto alla copertura, non sussistono tracce delle originarie strutture. L'ipotesi ricostruttiva si è dunque basata esclusivamente sulla posizione dell'imposta del tetto in corrispondenza della cornice superiore e sull'integrazione di una pendenza delle quattro falde pari a 52 gradi, dato rintracciabile nei *torresini* bergamaschi ancora *in situ* e confermato dall'iconografia storica (Fig. 3).

Anche per la volta interna ci si è inizialmente riferiti alle polveriere della città orobica che presentano una copertura a padiglione a tutto sesto. La trasposizione di questo modello nei *torresini* lagunari, però, non appare verosimile. Avendo questi uno spessore murario dimezzato, l'ipotesi di una volta basata su un arco a tutto sesto andrebbe a contrastare con la supposta pendenza del tetto, determinando un'altezza della calotta troppo esigua. Si è quindi considerata una volta a padiglione impostata su un arco ribassato, con un raggio di 3,10 metri, e posta altimetricamente a ridosso delle finestre in modo da garantire uno spessore fra l'estradosso della volta e l'intradosso del tetto pari alla profondità della muratura.

6.2. Le polveriere solo in parte conservate

Si sono poi considerate le polveriere di cui rimangono solo alcune porzioni e, nello specifico, quelle ubicate nelle isole di San Secondo, San

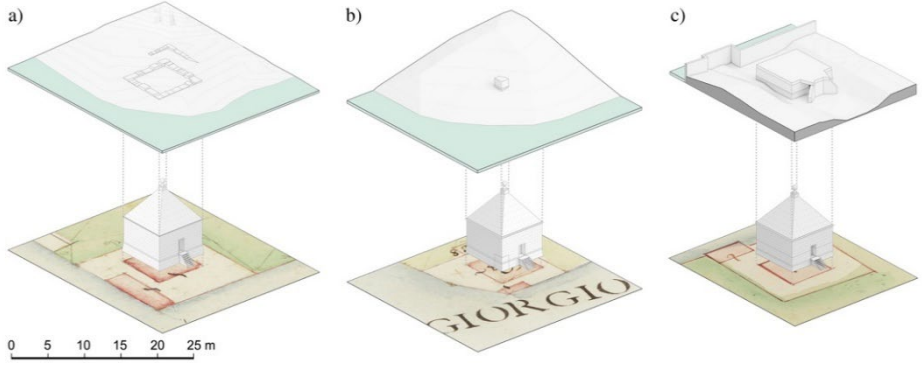


Fig. 8- Ricostruzione 3D delle polveriere di San Secondo (a), San Giorgio in Alga (b) e Santo Spirito (c) (elaborazione grafica degli autori, 2024).

Giorgio in Alga e Santo Spirito. I pochi lacerti oggi visibili del *casello* di San Secondo suggeriscono anche per questo manufatto la consueta suddivisione in tre porzioni di fabbrica. I conci di pietra rimasti formano un quadrilatero di 7,70 metri per lato e, mediante la comparazione con un progetto di ammodernamento della struttura difensiva datato 1850, è stato possibile ricavare un'altezza di 4,30 metri e uno spessore murario pari a 1 metro. Per quanto riguarda la ricostruzione del tetto è stata ipotizzata, come in precedenza, un'inclinazione di 52 gradi. Del *torresino* di San Giorgio in Alga rimangono ancora meno resti - una piccola porzione del basamento sormontato dal toro e qualche blocco lapideo del corpo centrale - ma sufficienti a collocare spazialmente il fabbricato. Le successive operazioni di ricostruzione sono state sviluppate sulla base di un rilievo austriaco del 1858 che, seppur non restituendo l'antica copertura piramidale, ha permesso di individuare l'altezza esatta del corpo centrale pari a 4 metri e uno spessore dei muri perimetrali di 90 centimetri circa (7).

Di questa triade, la polveriera di Santo Spirito, anche se fortemente rimaneggiata nel corso della Seconda guerra mondiale per essere adattata a bunker antiaereo, è la meglio conservata. In essa, lo spessore murario varia da 80 centimetri a 1 metro e la ricostruzione è stata effettuata rimuovendo le superfetazioni e realizzando un'altezza ipotetica del corpo centrale di 4 metri dal toro di base fino all'innesto del tetto al quale è stata assegnata l'inclinazione canonica (Fig. 8).

6.3. Le polveriere scomparse

L'ultima analisi ha riguardato i *caselli* da polvere che nel corso dei secoli sono stati completamente demoliti, ovvero quelli di San Clemente e i due del Lazzaretto Vecchio. In questo caso la prassi ricostruttiva è stata condotta mediante l'impiego della documentazione planimetrica storica georiferita in ambiente HGIS, utile a determinare la loro collocazione spaziale, il dimensionamento e la posizione della porta di ingresso (10). La modellazione dell'alzato è stata invece sviluppata agendo mediante operazioni di confronto dimensionale proporzionale con le altre polveriere precedentemente realizzate. In tal modo è stato possibile assegnare un'altezza di 4,30 metri alla polveriera di San Clemente e una di 4 metri a quelle del Lazzaretto Vecchio. Infine, il tetto è stato ipotizzato con la consueta inclinazione (Fig. 9).

7. Conclusioni

Le attività di studio, modellazione e analisi comparativa dei nove *torresini* selezionati hanno permesso non solo di ricostruire digitalmente una serie di fabbriche difensive "tipicamente lagunari" ormai in gran parte perdute, ma soprattutto di suffragare l'esistenza di una linea progettuale unitaria imposta dalla Repubblica per una nuova architettura militare di particolare rilievo per la sua strategia bellica. Se tale ipotesi era sinora supportata - almeno parzialmente - dalla documentazione archivistica, la restituzione puntuale delle caratteristiche di questi edifici ha comprovato la loro stretta corrispondenza, tanto negli impianti planimetrici e di alzato quanto nei singoli dettagli architettonici. Ancor più ha rivelato come questo modello edilizio non solo si sia mantenuto inalterato durante le tre fasi edificatorie di età moderna ma anche in occasione degli interventi di ristrutturazione settecenteschi. Questi, al contrario delle manomissioni asburgiche, non mutarono gli elementi costitutivi del prototipo originario, dimostrandone l'efficacia e la solidità.

Di fatto l'archetipo delineato dalle magistrature veneziane nel Cinquecento venne ripetuto pedissequamente per tutte le costruzioni, secondo due versioni che differiscono solo per la scala dimensionale: una maggiore, che presenta una base pari a 10,50 - 12 metri, per le polveriere di più recente costruzione (Certosa, San Clemente e *casello* orientale del Lazzaretto Nuovo) e una di ordine minore, di circa 7,50 - 8,50 metri, per tutte le altre fabbriche. Di contro l'altezza del corpo centrale dei *torresini* si mantenne costante in tutti

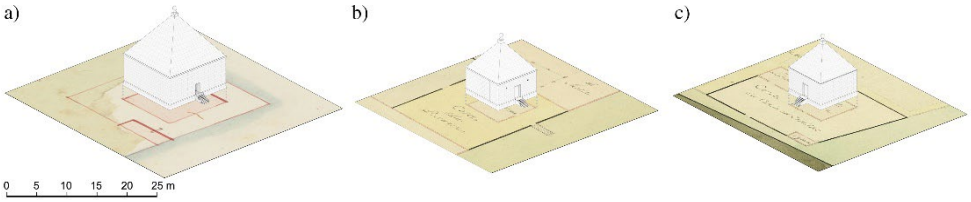


Fig. 9- Ricostruzione 3D delle polveriere di San Clemente (a), Lazzaretto Vecchio lato est (b) e ovest (c) (elaborazione degli autori, 2024).

gli edifici attestandosi attorno ai 4 metri. Anche le singole modanature - dal toro alla fascia di gronda, sino alle cornici delle finestre - si ripetevano modularmente secondo un disegno affine.

Da ultimo, lo studio delle caratteristiche tecnico-costruttive, supportate anche da analisi fluidodinamiche, ha portato in evidenza la complessità di una tipologia architettonica che, sebbene esportata in tutti i domini della Serenissima, trovò in laguna la sua piena maturità per rispondere a un contesto ambientale peculiare che impose a proti e capomastri la delineazione di soluzioni resilienti e tecnologicamente avanzate.

Note

(1) Il progetto *Venice's Nissology. Reframing the Lagoon City as an Archipelago* è risultato vincitore di un ERC Starting Grant (G.A. 101040474) finanziato dall'Unione Europea per cinque anni (2023-2027).

(2) Archivio di Stato di Venezia (d'ora in poi ASVe), *Consiglio di dieci*, *Deliberazioni*, *Comuni*, *Registri*, reg. 27, c. 14v (27 aprile 1565).

(3) Ivi, c. 27v (8 giugno 1565) e cc. 34v-35r (11 luglio 1565).

(4) ASVe, *Miscellanea materie miste e notabili*, b. 18bis, c.s.n. (5 dicembre 1589).

(5) ASVe, *Provveditori alle artiglierie*, b. 1, c.s.n.

(6) Biblioteca del Museo Correr, *Cicogna*, b. 3091.

(7) I progetti si riferiscono alle isole di San Secondo, 1850 (ASVe, *Direzione del genio militare in Venezia*, *Serie II*, b. 143, dis. 35) e di San Giorgio in Alga, 1858 (Ivi, *Serie I*, b. 19, dis. 26).

(8) Il rilievo si è svolto in collaborazione con il Laboratorio DARWIN (Università degli Studi di Firenze) e il Laboratorio DAda-LAB (Università degli Studi di Pavia).

(9) Il corpo centrale del *torresino* alla Certosa è alto 4,30 metri, quelli del Lazzaretto Nuovo 4 metri.

(10) La polveriera di Santo Spirito ha una base di circa 12x12 metri, quella ovest del Lazzaretto Vecchio di 8x8 e quella est di 8,50x8,50 metri.

Contributo degli autori

L'introduzione e i paragrafi 1 - 4 sono stati redatti da Ludovica Galeazzo, il paragrafo 5 da Gianlorenzo Dellabartola e il paragrafo 6 da Federico Panarotto. Le conclusioni sono a cura di tutti gli autori che hanno approvato la versione finale del manoscritto.

Bibliografia

Cardaci, A. & Versaci, A. (2022) I 'Torresini da Polvere' della Repubblica di Venezia: i depositi in via Beltrami a Bergamo e del forte San Felice a Chioggia. In: Battini, C. & Bistagnino, E. (a cura di) *Dialoghi visioni e visualità. Testimoniare comunicare sperimentare.* Atti del 43° Convegno UID – Unione Italiana per il Disegno, 15-17 settembre 2022, Genova. Milano, Franco Angeli, pp. 261-277.

Cardaci, A., Versaci, A. & Azzola, P. (2023) I 'Torresini da Polvere' di Bergamo: prospettive di conoscenza, conservazione e valorizzazione. In: Bevilacqua, M.G. & Ulivieri, D. (eds.) *Defensive Architecture of the Mediterranean*. Vol. 14: Proceedings of FORTMED – Modern Age Fortification of the Mediterranean Coast, 23-25 marzo 2023, Pisa. Pisa, Pisa University Press, pp. 479-486.

Concina, E. & Molteni, E. (2001) La fabbrica della fortezza. L'architettura militare di Venezia. Verona, Banca Popolare di Verona-Banco S. Geminiano e S. Prospero.

Concina, E. (1995) Le fortificazioni lagunari fra il tardo Medioevo e il secolo XIX. In Caniato, G. Turri, E. & Zanetti, M. (a cura di) *La laguna di Venezia*. Verona, Cierre, pp. 249-273.

de Luca, L., Veron, P., & Florenzano, M. (2006) Reverse engineering of architectural buildings based on a hybrid modeling approach. *Computers & Graphics*, 30(2), pp. 160-176.

Galeazzo, L. (2020) Autorità ecclesiastica e civile nell'iconografia dell'arcipelago veneziano tra XVI e XVII secolo. *In_Bo*, *Dominio del Sacro. Immagine, cartografia, conoscenza della città dopo il Concilio di Trento*, 12 (16), pp. 186-197.

Melandri, G. (1814) Saggio di pirotecnia che contiene la fabbricazione delle polveri da cannone a Venezia. Treviso, dalla tipografia di Antonio Paluello.

Murphy, M., Mcgovern, E., & Pavia, S. (2009) Historic building information modelling (HBIM). *Structural Survey*, 27(4), pp. 311-327.

Panciera, W. (2005) Il governo delle artiglierie. Tecnologia bellica e istituzioni veneziane nel secondo Cinquecento. Milano, F. Angeli.

Parrinello, S. & Picchio, F. (2023) Digital Strategies to Enhance Cultural Heritage Routes: From Integrated Survey to Digital Twins of Different European Architectural Scenarios. *Drones*, 7, 576.
Picuno, P., Cillis, G. & Statuto, D. (2019) Investigating the time evolution of a rural landscape: How historical maps may provide environmental information when processed using a GIS. *Ecological Engineering*, 139.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20362

Forte San Giovanni: dal rilievo digitale, all'accessibilità culturale, passando per la modellazione e ricostruzione BIM delle fasi storiche del sito

Riccardo Maria Giannelli[a], Maksim Afonchanka[b], Michele Codeglia[c]
[a-b-c] Fabrica scrl, La Spezia, Italia, [a]riccardo.giannelli@fabricalab.eu, [b]maksim.afonchanka@fabricalab.eu, [c]michele.codeglia@fabricalab.eu

Abstract

Forte San Giovanni, located in Finale Ligure (Savona), is among the most well-preserved examples of defensive structures built by the Spanish Crown in the Finale area. Its current form, finalized in 1644, incorporates the medieval defensive turret of Becchignolo. The fortress present structure reflects a series of incremental modifications that not only altered its shape and size but also redefined its functional purpose over time. This study addresses four key themes: Digital Survey: comprehensive 3D laser scanning-using terrestrial, mobile, and aerial instruments-to generate a detailed point cloud of the site; BIM Modeling: Application of the scan-to-BIM methodology to create an accurate digital twin of the fortress in its present state; construction Phase Simulation: Reconstruction of the site's historical development through a BIM workflow, from its medieval origins to its contemporary form; historical narratives and accessibility: development of digital models and virtual animations to convey the fortress's timeline, offering a strategy to overcome physical, cultural, and cognitive barriers for visitors engaging with architectural heritage.

Keywords: digital survey, BIM, digital reconstruction, accessibility.

1. Introduzione

Forte San Giovanni, o Castel San Giovanni, è una fortificazione situata a Finale Ligure sulla collina del Becchignolo, lungo l'antica Strada Beretta (1), tra le valli dei torrenti Pora e Aquila, pronto a proteggere da nord Finalborgo. Rappresenta, con la Fortezza di Castelfranco (2), uno degli esempi meglio conservati tra le strutture difensive costruite dalla Corona spagnola nel Finalese. La sua conformazione attuale è il risultato di tante trasformazioni graduali che, nei secoli, ne hanno alterato forma e dimensioni, ridefinendone progressivamente anche la destinazione d'uso.

Questo lavoro si focalizza su quattro temi chiave: il primo consiste nell'attività di rilievo digitale del sito, con l'ausilio di tre diversi strumenti per le scansioni laser 3D (laser scanner fisso, mobile e aereo) che hanno permesso di generare una nuvola di punti dettagliata del forte.

Il secondo è quello della modellazione tramite metodo Scan-to-BIM del complesso e, dunque, della creazione di un suo gemello digitale.

A questo step ha fatto seguito il tema della simulazione digitale delle principali fasi storico-architettoniche del complesso difensivo; dal Medioevo ad oggi. Tale attività è stata supportata da una ricerca documentaria e iconografica, utile ad ipotizzarne l'aspetto nelle diverse epoche.

L'ultimo tema è quello del racconto, tramite i modelli digitali e le animazioni virtuali derivanti, della cronistoria della fortificazione, al fine di individuare strategie efficaci per ridurre le

BY-NC-SA

barriere fisiche, culturali e cognitive che spesso limitano l'esperienza dei visitatori nei siti storici. L'elaborazione di tali temi si è avvalsa di fonti edite e ricerche inedite, in fase di pubblicazione, condotte dall'architetto Antonella Perin, su incarico della Direzione Regionale Musei Liguria, Istituto del MiC**,** che ha in consegna il Forte. È stato, pertanto, fondamentale il confronto con l'architetto Barbieri, direttrice del Forte, e con l'archetto Perin.

2. Fasi storiche salienti

Forte San Giovanni oggi, fa da sfondo ad alcuni vicoli di Finalborgo con la sua forma compatta ed asimmetrica ed il suo colore giallo pallido che, nelle giornate piovose tende ad imbrunire arricchendolo di un tono di mistero (Fig. 1). Un po' di mistero, del resto, sembrerebbe avvolgerne anche la storia, poiché molto poco si è studiato e scritto su di esso (Berruti, 2018).



Fig. 1- Forte San Giovanni fotografato da drone (Fabrica Scrl, 2022)

2.1. Medioevo e origini

Basandoci sulle poche fonti a disposizione si può dire che il Forte risulti essere stato costruito intorno ad un torrione preesistente, situato sulla cresta del colle del Becchignolo, tra il Borgo e il castel Gavone (Di Dio Rapallo, 1999). La torre, a forma probabilmente pentagonale, viene citata per la prima volta in un documento del 1390, conservato presso l'archivio di Stato di Milano (Salvi, 1937), ma la sua edificazione potrebbe collocarsi tra la fine del XII e l'inizio del XIII secolo. Dalle fonti a disposizione non è possibile affermare se fosse un torrione merlato o meno, ma si può concordare che fosse una torre d'avvistamento.

2.2. Le prime trasformazioni (1450-1550)

Col progredire delle tecniche belliche, la struttura fu rinforzata con due volumi aggiuntivi: uno stretto e lungo, l'altro a forma di prua, supportati da una scarpa, cioè una parete inclinata alla base, per resistere meglio alle armi da fuoco, come si evince da una cartografia anonima di metà '600 conservata presso l'Archivio General De Simancas (Anonimo/Castel Gavone et Bechignolo, 1642 circa).

2.3. La costruzione, 1642-1643

In seguito, quando il Marchesato di Finale ricoprì il ruolo strategico di *Puerta para este Estado* (Calcagno, 2011), ovvero "Porta del Ducato di Milano", gli spagnoli decisero di potenziarne le difese territoriali e di costruirne di nuove. Così, nel 1642, su progetto dell'ingegnere Francesco Prestino, dove prima sorgeva la torre del Becchignolo venne costruito Forte San Giovanni, all'interno del quale vennero collocati diversi fabbricati per l'alloggiamento dei soldati e per il deposito di vettovaglie e armamenti (Fig. 2).

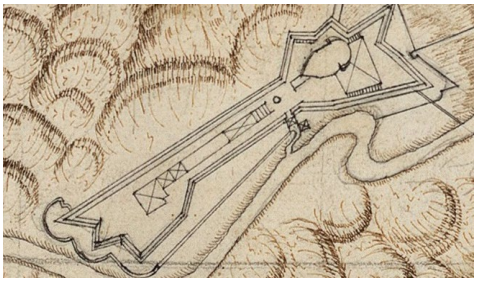


Fig. 2- Particolare dal *Piano geometrico di Finale* (Giò Gherardo De Langlade, 1715).

2.4. La demolizione (1715)

Il sito fu abbandonato dagli spagnoli nel 1707 e finì sotto il controllo di Genova nel 1713 che programmò un parziale disarmo delle fortezze Finalesi. Nel 1715 la sua porzione più a nord, cioè quello verso Castel Gavone, fu smantellata, mentre fu preservata quella sul Borgo sottostante. Il forte risultò quasi dimezzato nelle dimensioni.

2.5. Le nuove addizioni (1715-1735)

Dopo la demolizione, il sito rimase privo del recinto protettivo sul fronte nord e fu, quindi, edificato un nuovo muro. Fu innalzato di un piano il fabbricato d'ingresso, sulla cui facciata è tutt'ora visibile una struttura in aggetto sulla quale sono evidenti due scanalature verticali, dove trovavano posto le catene del ponte levatoio.

2.6. La conversione in carcere, 1818-1840

Nei decenni successivi il forte fu abbandonato e, quando nel 1818 i Savoia ne decretano la

conversione in carcere, appariva in cattivo stato di conservazione e necessitò di più interventi di adeguamento. Furono edificati: un terzo piano da destinare alle guardie e ad infermeria; un piccolo fabbricato per il corpo di guardia sul piazzale superiore; un altro corpo di guardia all'ingresso, la cappella; la copertura dell'ultimo livello della torre, in modo da ricavare un'ulteriore cella per i detenuti. Infine, furono innalzati i parapetti perimetrali per evitare possibili evasioni (Fig. 3).



Fig. 3- Cartolina di Finalborgo (Associazione E. Celesia, Banca delle Immagini, Finale Ligure, XX sec.).

2.7. La decadenza (1840-1945)

Il forte servì come prigione fino agli anni '20 del Novecento, quando fu definitivamente dismesso. In seguito, una famiglia vi si stabilì, vivendo al suo interno fino al secondo dopoguerra. Nel frattempo, il 4 marzo del 1934 il Ministero dell'Educazione Nazionale dichiarò d'importante interesse "Castel San Giovanni" (dall'atto di vincolo nell'archivio della Sovrintendenza).

2.8. Il restauro, dal 1984 ad oggi

Tra il 1984 e il 1999, la Soprintendenza per i Beni Ambientali e Architettonici della Liguria intraprese un ampio progetto di restauro. Tra gli interventi più significativi figurano l'abbattimento delle cortine murarie del carcere, il consolidamento di elementi pericolanti come le garitte, l'intonacatura dei bastioni, oltre ad un generale ripristino degli elementi originali.

Oggi, il Forte è gestito dalla Direzione Regionale Musei Liguria, che si occupa della manutenzione, del restauro e dell'allestimento degli spazi (dal sito web di Forte San Giovanni, 2024).

3. Obiettivi e metodo

Le informazioni storiche appena trattate sono essenziali per il conseguimento dei quattro temi di cui si faceva riferimento nell'introduzione e che saranno esplicitati in seguito. Uno degli obiettivi fondamentali che ci si pone quando si costruisce un modello BIM è, infatti, quello dell'informatizzazione (UNI, 2017a). Il gemello digitale dell'edificio esistente che si è voluto realizzare è costituito da elementi "intelligenti" (Eastman et al. 2008) ai quali possono essere continuamente aggiunte informazioni di qualsiasi genere, anche (e in questo caso soprattutto) di natura storica. I processi BIM applicati all'esistente possono, dunque, contribuire ad una più comoda, completa e precisa conoscenza, oltre che divulgazione, del patrimonio costruito.

Il flusso di lavoro che si segue quando si ha a che fare con la modellazione dell'edilizia "già esistente" è un procedimento che segue, in buona parte, dinamiche inverse rispetto al BIM "tradizionale", che si rivolge alla progettazione di nuove costruzioni. In questo caso si parte dal *data collection*, cioè dal reperimento dei dati per mezzo di tecnologia laser scanner terrestre (TLS) o di fotogrammetria digitale e poi si passa al data processing, quindi alla gestione della nuvola di punti, per poi passare ad una "astrazione semantica" degli elementi, cioè alla traduzione dei punti della nuvola in elementi con significato. L'ultimo step è il BIM Modeling e la produzione di *smart objects*. Più precisamente, quello adottato è stato il metodo Scan to BIM nel quale, grazie all'ausilio di una nuvola di punti, si 'ri-progetta' l'esistente, che non significa 'ripensare' ciò che già c'è, ma significa 'creare' un modello che ne simuli la riproduzione esatta e che, dunque, ne restituisca la maggior parte delle caratteristiche geometriche, dei materiali, storiche ecc., nel modo più verosimile possibile.

Il primo traguardo prefissato è stato, in breve, quello di ottenere il gemello digitale dell'edificio esistente nel quale inserire tutte le informazioni utili ed in grado di effettuare analisi, estrarre dati, misurazioni e quantità.

Il secondo traguardo stabilito sfrutta la versatilità dei flussi BIM: il modello è un contenitore di informazioni, ma è anche un contenuto, pertanto, si è pensato di utilizzare il *digital twin* del Forte per generare altri modelli che ne simulino l'aspetto nelle epoche passate. Si è deciso, in sintesi, di tradurre le fonti storiche trattate nei paragrafi precedenti in modelli BIM. Questi, non solo raccolgono nei loro parametri immagini, documenti ma, in quanto elementi geometrici 3D, possiedono una forza comunicativa immediata

che è sembrata perfetta a narrare la cronistoria del sito storico in maniera dinamica e, per questo motivo, sono stati utilizzati come base per animazioni virtuali.

3.1 Campagna di rilievo

Il primo tema del flusso di lavoro adottato, come già anticipato, è stato il rilievo digitale. Questo step ha rappresentato la prima forma di conoscenza e comprensione dell'edificio.

La campagna di rilievo ha visto l'utilizzo combinato di più strumenti laser scanner. Sono stati utilizzati il laser scanner a postazione fissa RTC360 per l'acquisizione degli interni, delle terrazze e della strada d'accesso; il laser scanner Blk2Go per rilevare rapidamente alcune aree periferiche ed il laser scanner *Leica Blk2Fly* per il rilievo delle coperture, non rilevabili in altro modo. Il numero di scansioni effettuate con il laser scanner RTC360 è stato di 201. In seguito, si è passati alla gestione ed elaborazione dei dati di rilievo per ottenere una nuvola di punti fedele alla realtà e fotografie a 360° utili per navigare nel sito ed effettuare sopralluoghi virtuali.

Ciò che si rileva con il laser scanner è la "pelle" (Mottola, 2021), ovvero lo strato superficiale dell'edificio: il guscio. Questo significa che è impossibile immagazzinare informazioni su quello che non è venuto a contatto diretto con i raggi del laser come, ad esempio, l'interno dei muri o i punti ciechi, cioè quelle porzioni dell'edificio fuori dalla portata dello strumento o nascoste per l'interferenza di altri oggetti. A tal proposito è stato fondamentale scegliere accuratamente, con una vera e propria pianificazione, le stazioni dalle quali far partire le scansioni. È stato importante verificare se fossero presenti eventuali ostacoli lungo la traiettoria dei laser e, quindi, è stato necessario accertarsi di non rappresentare, col proprio corpo, un ostacolo.

Dopo aver raccolto i risultati delle singole scansioni si è proceduto con il loro allineamento, in modo da ricavarne una sola che comprendesse l'intero edificio. I dati del rilievo sono stati caricati nel software fornito da *Leica*, *Cyclone Register360*. Questo programma consente di visualizzare, combinare, ripulire ed esportare nuvole di punti. Ottenuta la nuvola (Fig. 4) è stata esportata in formati compatibili con il software di BIM authoring per la modellazione.

Gli step di questa fase sono stati: a) Campagna di rilievo laser scanner 3D; a) Importazione e allineamento delle scansioni; c) Gestione e decimazione/ripulitura della nuvola di punti, eliminando punti superflui; d) Esportazione della nuvola di punti in formati. rcp e .lgs e importazione in *Autodesk Revit*, il software che è stato utilizzato per la modellazione BIM.



Fig. 4- Nuvola di punti di Forte San Giovanni (elaborazione grafica a cura di Fabrica scrl, 2022).

3.2 Modellazione Scan to BIM

Sulla base della nuvola di punti ottenuta è stato modellato il *digital twin* della fortificazione, che rappresenta il secondo tema in questo documento.

"La digitalizzazione di un edificio si concretizza nell'atto della creazione di un gemello digitale a cui assegnare le forme e le caratteristiche dell'edificio originario. La modellazione risponde all'esigenza di restituire le forme e gli spazi dell'edificio. Nel caso di un manufatto storico tale esigenza si declina nella restituzione di volte, nicchie, sguinci e tutti gli elementi caratteristici che definiscono gli edifici storici" (Ruscio & Vigliarolo, 2021).

La modellazione ha seguito, come si diceva, il metodo Scan-to-BIM (Fig. 5) quindi, una volta importata la nuvola di punti nel software BIM, è stato disposto l'ambiente di lavoro e sono state definite le viste per la costruzione del modello. (Guida Autodesk Revit, 2021). Poi sono stati tracciati gli assi e le griglie degli elementi principali (Del Giudice & Osello, 2013) e si è proceduto come se si dovesse fare una nuova progettazione. Del resto, si tratta di ricostruire un edificio esistente con l'ausilio della nuvola di punti. La modellazione non è sempre stata semplice: i software BIM hanno come set di comandi una tavolozza di opzioni che si rivolgono alle nuove costruzioni. Adottare questi strumenti per modellare il "già costruito" (e in questo caso addirittura un edificio storico stratificato) rappresenta una sfida che richiede ingegno e procedure volte a piegare i comandi tradizionali alle nostre necessità. All'inserimento

delle "famiglie caricabili" si è, dunque, sovrapposta una modellazione in place di alcuni elementi dalla conformazione particolare.



Fig. 5- Modello BIM sovrapposto alla nuvola di punti di Forte San Giovanni (elaborazione grafica a cura di Fabrica scrl, 2022).

La modellazione geometrica è stata affiancata da quella informativa, cuore dei flussi BIM, quindi, sono stati creati e compilati parametri specifici per il caso studio: epoca/anno di costruzione, data degli interventi di restauro, materiali, immagini, link, degrado, schede tecniche/storiche, archivio di riferimento, ecc. Il modello H-BIM (Murphy, McGovern, & Pavia, 2009) ottenuto risulta, quindi, corredato dalle informazioni utili a descrivere il bene storico in tutte le sue caratteristiche salienti, che possono essere interrogate in maniera diretta: è sufficiente cliccare sugli elementi sotto analisi, raccoglierli in abachi, evidenziarli con appositi filtri, ecc. (Pavan, Mirarchi &Giani, 2021).

Il *workflow* qui seguito è: a) Creazione e gestione dello spazio BIM; b) Creazione dei parametri utili al caso studio; c) Modellazione da nuvola di punti dell'edificio storico d) Creazione di famiglie ad hoc da inserire nel progetto e modellazione *in place* degli elementi dalle proprietà uniche; e) Compilazione e gestione dei parametri con cui poi interrogare il modello (ad esempio con abachi e filtri).

3.3. Modellazione sperimentale della timeline

Conclusasi la modellazione Scan-to-BIM della fortezza, ci si è posti la domanda di come potesse apparire secoli fa e se fosse possibile trasferire le informazioni storiche forniteci dalla Direzione Musei Regione Liguria su un modello 3D 'storico'.

L'obiettivo principale del terzo tema affrontato è stato, quindi, quello di ottenere una ricostruzione verosimile, anche se sperimentale, delle evoluzioni che il forte ha subito nei secoli, sfruttando le potenzialità del metodo BIM. Sono stati messi a confronto documenti storici e rappresentazioni iconografiche e sono state proposte diverse ipotesi.

Non trascurabile è stato il paragone con altre strutture difensive del territorio, che hanno offerto degli spunti geometrici storicamente credibili per la modellazione che ci si accingeva ad effettuare.

Questa attività, si tiene a precisare, è ancora in fase di elaborazione e, pertanto, le ricostruzioni storiche del forte sono da ritenere puramente sperimentali, concettuali e ipotetiche.

Per quanto riguarda l'impostazione del metodo di lavoro, si è pensato di creare più modelli BIM, uno per ogni fase storica, con le stesse coordinate e tutti collegabili all'interno di un modello di coordinamento che ne ha permesso una sovrapposizione visiva istantanea.

I modelli di coordinamento normalmente sono utilizzati per effettuare un controllo incrociato tra quelli di diverse discipline (architettonico, strutturale, impiantistico), funzione efficacie anche se applicata a un contesto come quello in oggetto.

Stabilita l'organizzazione generale del flusso di lavoro, è iniziata la modellazione ipotetica delle epoche antecedenti. A seconda della fase storica si è reso necessario un approccio differente e si è deciso di procedere a ritroso, prendendo come riferimento il modello di Forte San Giovanni ottenuto da rilievo; quindi, quello che ne racconta lo stato attuale, e duplicandolo negli ambienti di lavoro delle Ere passate.

Partendo dal modello dell'epoca corrente, si sono poi andati a rimuovere gradualmente gli elementi più recenti o a ricreare ciò che era stato demolito. Ad esempio, per la modellazione della fase corrispondente al periodo delle carceri (1822-1960) sono state aggiunte, al modello di partenza, le mura perimetrali antifuga, sulla base di alcune fotografie di fine '800 e inizio '900.

Mentre, per la fase corrispondente al progetto di F. Prestino del 1642, sono stati ipotizzati e modellati interi volumi e murature sulla base di rappresentazioni iconografiche come, ad esempio il *Piano geometrico di Finale*, di De Langlade o i disegni di Matteo Vinzoni e Gaspare Beretta. Queste rappresentazioni storiche sono state inserite nella scala opportuna all'interno

dell'ambiente BIM e hanno fatto da supporto alla modellazione, indicando i perimetri da seguire.

Ricreare questa porzione del forte a partire dalle piante storiche ha richiesto anche un continuo confronto con altre realtà presenti sul territorio, imitandone l'aspetto.

Infine, per le prime due fasi storiche, era necessario in una fase modellare solo la torre del XIII secolo e in un'altra la torre con addossati due corpi più bassi di metà XV secolo. Si è trattato, quindi, principalmente di eliminare tutti gli elementi successivi, un'operazione piuttosto semplice, accompagnata dall'adeguamento del terreno e della strada, attraverso gli strumenti di modifica della topografia (Fig. 6).

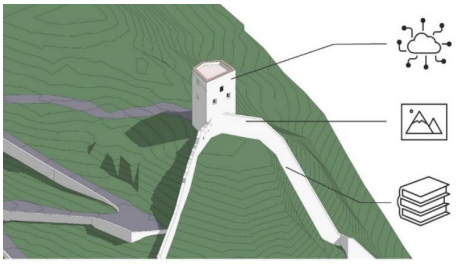


Fig. 6- Modello BIM della ricostruzione ipotetica e in fase di elaborazione, della prima torre medievale (elaborazione e restituzione grafica a cura di Fabrica scrl, 2023).

Ancora aperta è, invece, la questione della *texture*, ovvero dell'aspetto e dell'effetto materico che la torre ed il Forte dovessero avere. I materiali scelti per il modello sono, al momento, solo ipotesi per fini comunicativi; restano pertanto necessari futuri approfondimenti.

Una volta conclusa la modellazione delle varie tappe storiche, sono stati creati *workset* per ogni fase trattata a cui sono stati associati tutti gli elementi corrispondenti. Questa divisione in *workset* ha permesso di visualizzare nel modello di coordinamento il passaggio da una fase all'altra in maniera immediata; inoltre, sono stati creati dei filtri che hanno permesso di associare a ogni epoca un colore, il che ha reso più intuitiva la lettura del modello federato ottenuto (Figg. 7, 8).

Gli step salienti di questa fase sono stati: a) Ricerca/studio della documentazione storica; b) Coordinamento dei modelli BIM e modellazione delle epoche storiche; c) Parametrizzazione e gestione dei parametri; d) Creazione di filtri per estrapolare i dati d'interesse.

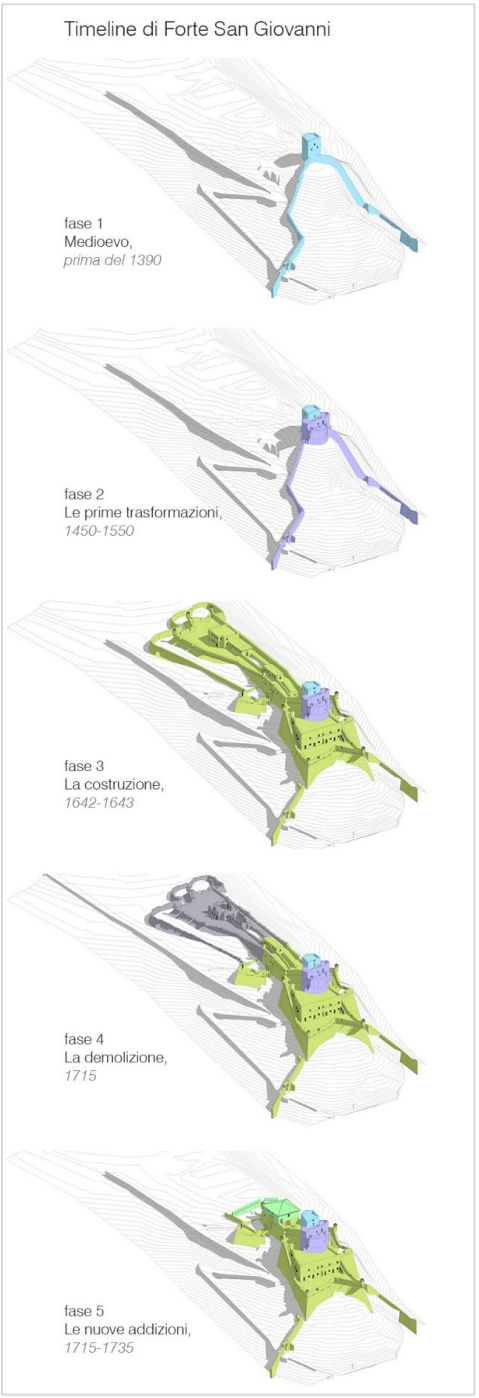


Fig. 7- Evoluzione ipotetica di Forte San Giovanni attraverso i secoli (elaborazione e restituzione grafica a cura di Fabrica scrl, 2023).

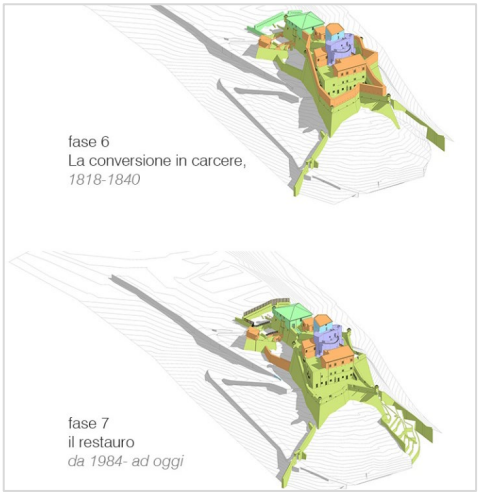


Fig. 8- Evoluzione ipotetica di Forte San Giovanni attraverso i secoli (elaborazione e restituzione grafica a cura di Fabrica scrl, 2023).

3.4 Accessibilità

Da qui ha avuto inizio il quarto e ultimo tema trattato, ovvero quello volto a capire se e come i modelli ottenuti fossero in grado di limitare le barriere fisiche, cognitive e culturali che edifici storici portano con sé. Questo tema è stato anche affrontato nel laboratorio "Realtà Virtuali tra ricerca e comunicazione: Accessibilità Culturale, Cognitiva e Fisica", presentato all'edizione del 2023 del LuBeC, il Salone internazionale dedicato allo sviluppo e alla conoscenza della filiera cultura e innovazione (LuBeC, 2023).

È risultato da subito evidente che i modelli BIM possono contribuire a limitare le barriere culturali poiché, per definizione, essi non sono solo rappresentazioni tridimensionali, ma sono modelli contenenti informazioni; che nel caso di Forte San Giovanni sono di natura storica.

Queste informazioni fanno in modo che il *digital twin* del complesso finalese possa essere inteso come un "archivio digitale" in grado di custodire al suo interno link, documenti storici, iconografie, ecc. velocizzando e semplificando l'accesso ai dati che spesso sono dislocati in più sedi fisiche.

I modelli BIM oltre ad essere "interrogabili", sono anche "navigabili". Questi, infatti, sono stati inseriti nel programma *Twinmotion* che ha permesso di potersi muovere al loro interno; spostandosi con semplicità da un ambiente all'altro e come se si fosse immersi al loro interno. Questa applicazione è stata intesa come un modo alternativo per visitare il sito, soprattutto per esplorare le aree inaccessibili e, dunque, è sembrato un compromesso interessante, anche se non esaustivo, per limitare le barriere fisiche che il forte, purtroppo, presenta (Figg. 9 10).



Fig. 9- Render da *Twinmotion* del modello di Forte San Giovanni (Fabrica scrl, 2023).



Fig. 10- Render da *Twinmotion* del modello di Forte San Giovanni (Fabrica scrl, 2023).

Infine, tramite opportuni filtri colorati e funzioni specifiche di *Twinmotion* è stato possibile dar vita ad un tipo di narrazione alternativa del Forte, che non si basasse solo su documenti scritti o immagini, ma che fosse dinamica, versatile e intuitiva. Questo elemento è sembrato significativo per limitare le barriere cognitive che i visitatori possono trovare, poiché semplifica il racconto delle varie fasi storiche che hanno interessato il complesso difensivo ligure (Fig. 12). Gli step principali di questo tema sono stati: a) Creazione di animazioni per una comunicazione della cronistoria più accessibile; b) Inserimento del modello BIM in un ambiente virtuale facilmente 'navigabile' per sopralluoghi 'smart'.



Fig. 11- Estratto dell'animazione della ricostruzione ipotetica della prima torre medievale, consultabile online all'indirizzo: https://www.youtube.com/watch?v=0EWN0WzB8aE (Fabrica scrl, 2023).

4. Conclusioni

In conclusione, si può dire che la digitalizzazione di Forte San Giovanni e gli spunti di riflessione che quest'attività ha aperto contribuisce alla sua tutela, conservazione e valorizzazione, lo rende accessibile a più persone ed arricchisce l'eredità culturale collettiva. Contro ogni scetticismo, nei processi di digitalizzazione il ruolo e l'apporto del capitale umano sono decisivi ed amplificati: sono necessari, infatti, professionisti competenti e specializzati in innumerevoli campi, anche molto diversi, e la nostra collaborazione con *Direzione Musei Regione Liguria* ne è un esempio. Il processo di virtualizzazione raccontato si spera possa essere applicato su altri contesti storico-architettonici. Se messo in atto, ciò permetterebbe di accedere ai tanti beni architettonici e alle loro informazioni in maniera più semplice e democratica. L'ultima riflessione che si apre è, dunque, quella di come dar vita ad una piattaforma virtuale capace di ospitare al suo interno tutto il patrimonio storico digitalizzato.

Note

(1) La strada Beretta fu progettata e realizzata nel 1666 dall' Ing. Gaspare Beretta in occasione del passaggio dell'Infanta Margherita Teresa di Spagna che approdò a Finale per poi recarsi a Vienna dove avrebbe raggiunto il suo sposo, l'Imperatore Leopoldo d'Austria.

(2) Castelfranco è una fortezza genovese nel Comune di Finale Ligure, sull'altura del Gottaro. Il sito risale alla seconda metà del XIV secolo.

Bibliografia

Anonimo (1642 circa) *Castel Gavone et Bechignolo*, Archivio General de Simancas, MPD, 06, 024.

Berruti, M. (2018). *Castel San Giovanni a Finalborgo: progettisti, costruttori, epoca di edificazione*. Associazione Emanuele Celesia, Amici della Biblioteca e del Museo del Finale.

Calcagno, P. (2011). La puerta a la mar. Il marchesato di Finale nel sistema imperiale spagnolo, Ed. Viella.

De Langlade Gio. Gherardo (1715), Piano geometrico di Finale con borgo e contorni, *Parte dei territori di Finalborgo e Castel San Giovanni con Fortificazioni*, Archivio di Stato di Torino, Carte Topografiche e Disegni, Carte del Genovesato, Finalborgo, Mazzo 1, Foglio 1.

Del Giudice, M. & Osello, A., (2013). BIM for Cultural Heritage, CIPA Strasbourg: BIM for Cultural Heritage, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W2, pp. 225-229.

Di Dio Rapallo, M. (1999). Il restauro del Forte San Giovanni. 1 Settimana per la Cultura 12-19 aprile 1999. Genova, Sagep.

Direzione generale Musei (2024) *Forte San Giovanni, Finale Ligure* available at: https://museiliguria.cultura.gov.it/forte-san-giovanni (Accessed: 10 ottobre 2024)

Eastman C., Teicholz P., Sacks R. & Liston K. (2008). BIM Handbook. A guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. Jonn Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.

Fabrica scrl (2023). *La bellezza "gemella" di Forte San Giovanni* available at: https://www.youtube.com/watch?v=0EWN0WzB8aE

LuBeC 2023 (2023). *Presentazione progetto di digitalizzazione di Forte San Giovanni* available at: https://www.lubec.it/wp-content/uploads/2023/10/Lubec23_presentazione-PPT_DRM_LIGURIA-E-FABRICA-edit-forte-san-giova.pdf

Mottola, V. (2021). Intervento di digitalizzazione di edifici storici. In: Accettulli E. e Farinati, P (a cura di) *Historical BIM, la metodologia applicata agli edifici storici.* Tecniche Nuove, pp. 26-27.

Murphy, M., McGovern, E. & Pavia, S., (2009). Historic building information modelling (HBIM). *Structural Survey*, 27 pp. 311–327.

Pavan, A., Mirarchi C., Giani M. (2021). Capitolo 1-Modelli, oggetti ed elaborati 2D e 3D. *BIM: metodi e strumenti. Progettare,costruire e gestire nell'era digitale,* Tecniche Nuove, p. 13.

Ruscio, R., Vigliarolo, S.A. (2021). Modellazione per Historical BIM. In: Accettulli E. e Farinati, P (a cura di) *Historical BIM, la metodologia applicata agli edifici storici.* Tecniche Nuove, p. 84.

Salvi, G. (1937). Galeotto I del Carretto, Marchese di Finale, e la Repubblica di Genova, Genova, Storia Patria per la Liguria, Vol II.

UNI 1337-1 (2017). Ente Italiano di Normazione, UNI 11227-1-Edilizia e opere di ingegneria edile-gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni- Parte 1

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20363

Erice: la cinta muraria, le porte e i percorsi extra-moenia su Monte San Giuliano. Rilievo, analisi grafica e interpretazioni digitali

Gianmarco Girgenti[a], Fabrizio Avella[b], Davide Gianluca Abbate[c]
[a] Università degli studi di Palermo, Dipartimento di Architettura, Palermo, Italia, gianmarco.girgenti@unipa.it, [b] Università degli studi di Palermo, Dipartimento di Architettura, Palermo, Italia, fabrizio.avella@unipa.it [c] Università degli studi di Palermo, Dipartimento di Architettura, Palermo, Italia, davidegianluca.abbate@unipa.it

Abstract

The defensive system of ancient Erice, due to its strategic topographic location, took advantage of the site's unique features, being protected towards the eastern plains and southern territories by a natural bulwark formed by its steep perimeter. Along the northwestern profile of the city, a series of wall segments interspersed with quadrangular turreted elements defended the various access points to the urban system, of which today some gates and postern remain, including Porta Trapani, Porta Carmine, and Porta Spada. Renowned for their monumental character, marked by the substantial dimensions of their structure, the so-called "Cyclopean" walls follow the geometric layout of the natural orography of the mountainous terrain on which the urban settlement of Erice stands. Following an original triangular layout, it developed on the summit of a hill and was surrounded by a massive curtain wall, even on the most rugged southeastern slope, where defensive walls, now almost entirely disappeared, ran along the nearly vertical rocky faces. Strategically positioned in a territory influenced by various cultures - from the Carthaginian presence on the western coasts to the Greek settlements in the south - the formidable walls of Erice reveal a heterogeneous and composite cultural and technological foundation in the wisdom of their construction. Utilizing modern surveying and digital drawing tools, this study aims to redefine the spatial configuration of the ancient walls of Erice, with particular focus on the eastern defensive system and its access points, such as the dilapidated Porta Castellammare, to highlight the strong correlation between the defensive system and the orography of the land it occupies, while attempting to contextualize the construction events within the historical framework and cultural influences that shaped its creation.

Keywords: walls of Erice, landscape survey, 3D modelling.

1. Introduzione

Questo scritto prova a raccogliere le prime considerazioni desunte da uno studio ancora in fase preliminare di un argomento molto articolato e complesso sia dal punto di vista storico – documentale che di accessibilità ai luoghi d'indagine.

Muovendosi all'interno dell'ampio quadro delle vicende storiche che hanno interessato la città di Erice e il suo territorio circostante, la breve trattazione in esame intende rintracciare i punti salienti nell'evoluzione costruttiva della città munita, attenzionando con gli strumenti della rappresentazione digitale i brani superstiti del tessuto murario orientale in cui è stata rintracciata la porta Castellammare.

Essa rappresenta una delle porzioni più fragili dell'intero impianto fortificatorio che sotto la minaccia dell'incuria e del peso del tempo, rischia di perdere i restanti frammenti che seppur parzialmente consentono ancora di leggerne l'antico sviluppo murario.

(cc) BY-NC-SA

2. Erice come città fortificata

Le costruzioni fortificate e i sistemi difensivi rivelano negli elementi superstiti, le complesse implicazioni di carattere sociale, culturale e politico che ne hanno determinato la realizzazione secondo una specifica articolazione compositiva e determinati aspetti costruttivi.

Lo sviluppo di queste strutture risente anche del contesto insediativo e territoriale nel quale vengono costruite, spesso scelto non solo per rispondere ad esigenze strategiche di tipo militare ma anche in relazione alla capacità di un più agevole reperimento dei materiali costruttivi, determinanti al fine di ottenere risultati efficaci in termini di poliorcetica.



Fig. 1- Ortofoto della città di Erice. In evidenza, il percorso della Scala Soprana che passa per porta Castellammare. Fonte: *Google Maps*.

Alla luce di ciò, appare evidente come la collocazione topografica degli insediamenti in altura sia un elemento connotante nell'individuazione del sito, specie per quanto riguarda le fondazioni di origine elima, tra le quali si inserisce di buon grado la città di Erice.

Essa sorge sul vertice più occidentale della porzione montuosa che interessa il territorio di Trapani. Grazie alla sua peculiare posizione topografica, l'intero clinale domina ad est i fertili territori interni e a nord il borgo di Bonagia, mentre sul lato sudoccidentale esso è rivolto verso la pianura trapanese ed il rispettivo tratto di mare (Fig. 1).

La vicinanza con la costa tirrenica e il legame con l'ampio e fertile agro circostante, costituiscono alcuni degli aspetti peculiari di questo luogo, punto d'importanza strategica e militare sia per le antiche popolazioni indigene e per quelle colonizzatrici, sia per la presenza allo stesso tempo dell'importante tempio dedicato alla Venere Ericina, il cui culto, tra i più preminenti del Mediterraneo occidentale, fu introdotto anche a Cartagine.

A tal proposito, risulta significativo il legame tra le città puniche e i territori elimi della Sicilia occidentale.

Erice, infatti, nel complesso e dinamico quadro dei conflitti greco-punici del IV sec. a.C. appare come una piazzaforte importante e ben munita, oltre che integrata saldamente all'interno dell'eparchia cartaginese e coinvolta non solo nell'ambito degli scambi commerciali, ma anche nelle numerose battaglie che impegnavano Cartagine.

A seguito della conquista romana dell'isola, in molti centri di fondazione punica emerse una considerevole ridefinizione dell'assetto urbanistico secondo un impianto regolare di tipo ortogonale, mentre nelle città elime, soprattutto quelle costruite su altipiani, l'assetto viario continuò a conservare tracciati non perpendicolari.

Ad Erice l'impianto insediativo, che insiste sulla geometria del triangolo, asseconda nel suo profilo il disegno orografico del sito, definendo secondo specifiche assialità la *forma urbis*. Il vertice sudoccidentale è costituito dalla Porta Trapani, collegata con la sottostante città e col suo porto (Fig. 2), al vertice sudorientale si trova il Castello Normanno costruito sulle rovine del *thèmenos* dell'antico santuario di Venere ed infine al vertice rivolto a nord si trova il Quartiere Spagnolo, Porta Spada e sull'inizio del declivio, lungo uno dei sentieri di collegamento tra i siti a valle e la vetta, si scorgono i resti di Porta Castellammare oggi diruta.

Per quanto riguarda le lunghe ed articolate fasi costruttive della poderosa cinta muraria ericina, la documentazione storica in molti casi è ancora esigua, ma secondo i dati archeologici la loro realizzazione può farsi risalire al periodo compreso tra il IV e il III secolo a.C. L'appartenenza a tale arco cronologico è suggerita dal rinvenimento di una serie di lettere dell'alfabeto fenicio incise su alcuni blocchi delle strutture e interpretate in seguito come indicazioni per l'assemblaggio dei vari elementi.

Le prime considerazioni riferite a queste costruzioni sono riscontrabili negli scritti di Antonio Cordici del XVII sec. e successivamente

nelle annotazioni di Giuseppe Castronovo in cui si fa riferimento alla complessa articolazione delle opere fortificatorie: “tre cortine la muniano contro ogni ostile aggressione; l’una rivolta a tramontana ed a greco, a mezzogiorno e a levante l’altra, consisteano ambedue in rupi ed in precipizi, coronati di muricciuoli per chiuderne qualunque varco alla salita. […] tralascio altre tre porte più piccole, l’una tra mezzogiorno e libeccio, chiamata dei Cappuccini, perché posta in quella ripida via che menava al loro cenobio, […] L’altra posta a greco appellavasi di Castellammare, perché era sul principio della scorciatoia che conduce alla volta di quella terra; di essa porta si osservano tuttora gli avanzi” (Castronovo, 1872) (Fig. 3).

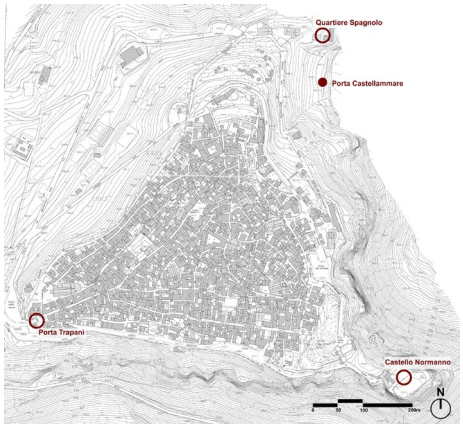


Fig. 2- Stralcio cartografico IGM di Erice, in evidenza Porta Trapani, il Castello Normanno, il Quartiere Spagnolo e Porta Castellammare.



Fig. 3- Vista del varco della porta Castellammare (foto di D.G. Abbate, 2024).

Ad oggi tali percorsi fanno parte degli itinerari escursionistici che, offrendo la possibilità di esplorare e di conoscere meglio questo territorio dalla forte valenza paesistica, si snodano in vari punti lungo i declivi del monte rimarcando al contempo le antiche strade di comunicazione tra la città in vetta e il territorio circostante posto a valle.

Nella seconda metà dell’Ottocento, diversi studiosi in ambito archeologico hanno condotto indagini approfondite sul complesso delle mura ericine, tra cui si ricorda il contributo fornito dal Cavallari e dal Salinas e successivamente dall’archeologo tedesco Otto Richter. Sul finire del secolo scorso, i più recenti scavi compiuti da F. Nicoletti e S. Tusa hanno messo in luce come in età romana la cinta muraria ericina fosse caduta lentamente in disuso per essere poi ripresa e consolidata solamente nel medioevo e in particolare intorno al XIII secolo. Ciò è evidenziato dal rifacimento più tardo dei filari superiori, soprattutto degli elementi turriti, in cui si è notato anche l’utilizzo di malte per consolidarne i blocchi più antichi posti come base per gli alzati superiori.



Fig. 4- Vista di una delle torri che costituiva il sistema difensivo occidentale (foto dal sito web FAI, i luoghi del cuore, 2020).

Due successive campagne di scavo sono state condotte nel 2010 presso questa cinta muraria a cura di S. De Vincenzo che ha permesso di distinguere in due differenti periodi cronologici i segmenti murari della cinta occidentale. Tali fasi costruttive ricollegano all’età antica la porzione nordoccidentale delle mura, mentre ascrivono al periodo medievale la restante porzione meridionale, compresa la linea che segue invece il clinale orientale.

Non si conosce nella sua piena interezza l’intero sviluppo del percorso murario che cingeva la città di Erice, dal momento che oggi si conserva solamente il fronte che corre lungo il versante occidentale (Fig. 4), su cui si aprono le tre porte

urbiche che vedono a sud la Porta Trapani e più a nord la Porta Carmine e a seguire la Porta Spada. Questa linea fortificata presenta tutt'oggi torri quadrangolari di diverso spessore, appartenenti al periodo medievale della città e databili intorno al XIII sec.



Fig. 5- Segmento del percorso della Scala Soprana (foto di D.G. Abbate, 2024).

Nella breve trattazione di questo studio, si vogliono riportare alcune considerazioni sul procedimento seguito in queste prime indagini svolte sulla linea difensiva che correva lungo il versante nordorientale e che dal baluardo roccioso dell'odierno Quartiere Spagnolo raggiungeva il varco di Porta Castellammare (Fig. 5). Questa linea difensiva si attestava lungo un versante fortemente scosceso e incrociava il percorso *extra moenia* della così detta "Scala Soprana" (Figura 6). Tale sentiero consentiva di risalire il declivio orientale del monte per raggiunger l'abitato in vetta, partendo dalla valle sottostante nei pressi della chiesa di San Barnaba.

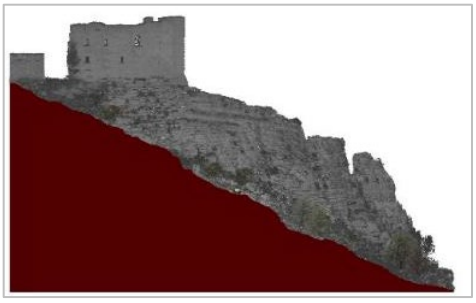


Fig. 6- Sezione ricavata dalle scansioni laser processate su *Recap Pro* dell'intero clinale con la porta Castellammare a mezza costa; sullo sfondo il sito storico del c.d. Quartiere Spagnolo (elaborazione a cura di D.G. Abbate).

Queste murature sono realizzate con pietre calcaree di dimensioni variabili legate a secco nelle estensioni settentrionali, mentre nelle costruzioni più meridionali gli elementi lapidei appaiono legati con malta, in forte affinità con le apparecchiature murarie medievali del versante occidentale (Fig. 7).

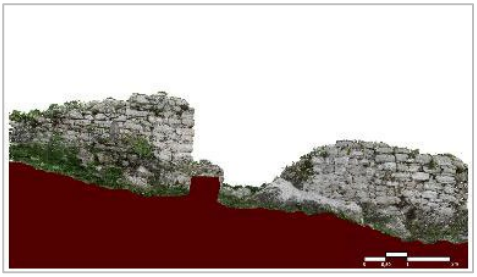


Fig. 7- Sezione longitudinale del sentiero d'innanzi alla Porta Castellammare (elaborazione a cura di D.G. Abbate).

3. Porta Castellammare: il rilievo del manufatto

Il rilievo è stato sviluppato con metodi di scansione laser e fotogrammetria SfM.

Quest'ultima è stata utilizzata al fine di costruire dei modelli *mesh* texturizzati dei frammenti murari e dello scenario nel breve intorno del manufatto. L'elaborazione della nuvola di punti ha poi fornito i punti di riferimento e le coordinate necessarie all'orientamento e alla scalatura del modello fotogrammetrico.

La campagna di rilievo si è svolta in due fasi complementari: la prima è stata effettuata con l'ausilio di una fotocamera per l'acquisizione dei vari fotogrammi, mentre nella seconda fase è sato adoperato uno scanner laser con tecnologia a differenza di fase.

Lo scanner adoperato per tali acquisizioni è un modello Leica HDS7000 della società Leica Geosystems, in grado di compiere elaborazioni in tempi rapidi grazie all'ottenimento di circa 1.000.000 punti/s e caratterizzato da un intervallo di acquisizione tra 0,3 - 183 m con una risoluzione massima di 0,1 mm e un errore di linearità ≤ 1 mm.

Dopo aver scelto i vari punti di presa lungo un determinato segmento del sentiero (Fig. 8), ossia quello in prossimità della Porta in esame, per ciascuno dei punti si sono eseguite le medesime procedure: predisposto innanzitutto il treppiedi in maniera adeguata, si è provveduto ad una preliminare livellatura manuale attraverso l'utilizzo della bolla analogica posta alla base

dell'apparecchio, che consente così di assestare la macchina rispetto alle asperità del terreno sul quale si sta operando.

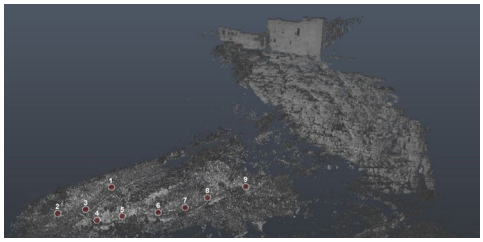


Fig. 8 Elaborazione della Point Cloud con indicati i vari punti di presa, ricavata dalle scansioni laser successivamente processate col software Recap Pro (elaborazione a cura di D.G. Abbate).

Successivamente la messa in bolla elettronica, guidata dal dispositivo, ha consentito di correggere in maniera più precisa la verticalità dello strumento, riducendo il più possibile l'eventuale inclinazione dello scanner. Ulteriori errori o micromovimenti, dovuti ad esempio all'azione del vento molto forte in queste aree, sono stati infine corretti direttamente dal software in fase di scansione. Il rilievo è stato condotto garantendo la giusta sovrapposizione tra una stazione e la successiva settando i parametri di risoluzione di 6 mm a 10 m e una qualità di 4x.



Fig. 9- Vista NE del modello texturizzato (elaborazione a cura di D.G. Abbate).

L'allineamento delle varie scansioni è stato eseguito con il software *Recap Pro* della casa produttrice *Autodesk*, adoperando il sistema nuvola a nuvola, eseguendo la procedura standard implementata dal software, attraverso l'individuazione di almeno tre punti omologhi dislocati su diversi piani dello spazio.



Fig. 10- Vista assonometrica NO del modello virtuale della porta e di un tratto del sentiero elaborata col programma *Agisoft Metashape* (elaborazione a cura di D.G. Abbate).

L'impiego della fotocamera adoperata manualmente come unico strumento di acquisizione dati per l'elaborazione fotogrammetrica ha comportato inevitabilmente alcune lacune nel processo di modellazione, dal momento che per un procedimento più completo sarebbe stato necessario l'impiego di un drone, ma al momento della campagna di rilievo, la forte presenza di raffiche di vento continue ha impedito l'utilizzo di tale dispositivo. Sul sito di Porta Castellammare sono state effettuate nove scansioni, scegliendo come punti di presa sia posizionamenti nelle vicinanze del manufatto che lungo un breve tratto del percorso intercettato dalla porta (Figg. 9-10).

Le scansioni acquisite sono state successivamente elaborate con il software *Recap Pro* dell'*Autodesk*, e laddove l'algoritmo avesse evidenziato complessità nell'allineamento automatico delle singole acquisizioni, si è proceduto all'identificazione manuale dei punti comuni. Dall'elaborazione delle scansioni laser è stato possibile esaminare raffigurandolo in sezione, la forte inclinazione del suolo sul quale va snodandosi il percorso che passa per porta Castellammare (Fig. 11).

Centosessantadue foto ben distribuite spazialmente intorno al manufatto hanno poi permesso di coglierlo da un adeguato numero di punti di vista (Fig. 12), al fine di garantire una giusta sovrapposizione tra le singole aree inquadrate in ciascun fotogramma ed un corretto allineamento ed orientamento degli stessi. Infine, dopo aver eliminato dai due modelli l'eventuale 'rumore' e i vari elementi superflui, si è proceduto a raffrontare la nuvola di punti ottenuta dal processo fotogrammetrico con l'elaborazione

ricavata dall'unione delle scansioni laser importando i due modelli sul software *Cloud Compare*. Il risultato ha consentito di avere un modello tridimensionale che permettesse di studiare ed indagare attraverso gli opportuni elaborati grafici, l'architettura nella sua configurazione e in rapporto al paesaggio.

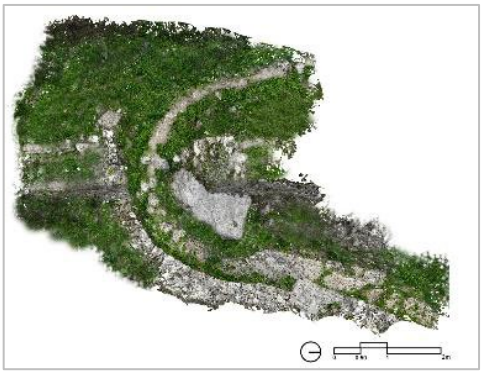


Fig. 11- Ortofoto del modello texturizzato della porta Castellammare e di un tratto del sentiero (elaborazione a cura di D.G. Abbate).

4. Conclusioni

Questa preliminare campagna di studi, nonché le brevi elaborazioni grafiche desunte, hanno consentito di poter cogliere i labili residui architettonici di questi manufatti che rientrano a pieno titolo all'interno del vasto patrimonio storico della città ericina.

Tali operazioni posso essere da spunto nel prosieguo per un futuro monitoraggio dello stato di degrado di questi monumenti e potrebbero contribuire a veicolarne la memoria, alfine d'accrescere l'interesse e la sensibilità nei confronti di questi manufatti più fragili, periferici rispetto ai consueti circuiti turistici ma che conservano integro il loro valore monumentale in quanto facenti parte di più complesso ed ampio repertorio architettonico del territorio di Erice.

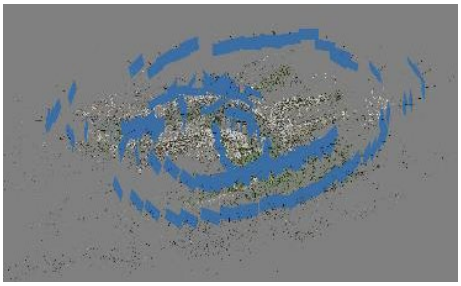


Fig. 12- Visualizzazione dei vari punti di presa fotogrammetrici per l'elaborazione della Point Cloud sul software *Agisoft Metashape* (elaborazione a cura di D.G. Abbate).

Bibliografia

Castronovo, G. (1861). Erice sacra o i Monumenti della fede cattolica nella città di Erice, oggi Monte San Giuliano in Sicilia, Edizioni Maccarone.

Castronovo, G. (1875). *Erice oggi Monte San Giuliano in Sicilia memorie storiche*, Tipografia di Bernardo Virzì-Puleo.

De Vincenzo, S. (2016). Modelli mediterranei ed elaborazioni locali. Le mura di Erice nel quadro delle fortificazioni del Mediterraneo occidentale alla luce delle indagini stratigrafiche, Roma, Edizioni Quasar.

Denaro, S. (a cura di). (2009). *La istoria della città del Monte Erice oggi detta Monte San Giuliano*. Arti Grafiche Campo.

Docci, M. & Maestri, D. (1994). *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*, Bari, Edizioni Laterza.

Filippi, A. & Savalli, N. (2010). La topografia del Monte Erice nell'Antichità, in: Acquaro E. Filippi A. Medas S. (a cura di*), La Devozione dei Naviganti, il culto di Afrodite Ericina nel Mediterraneo, Atti del convegno di Erice 27-29 novembre 2009*, Lugano, Athenaion, Lunières Internationales.

Maurici, F. (1992). *Castelli Medievali in Sicilia*, Palermo, Sellerio Editore.

Mercadante, F. (2006). Le Fortificazioni militari fenicio-puniche dei Monti di Palermo, Edizioni del Mirto.

Militello, F. & Santoro, R. (2006). *Castelli di Sicilia*, Palermo, Kalòs.

Santagati, E. (2020). Fortificazioni e poliorcetica in Sicilia tra V e III sec. a.C. Contributi delle fonti storiografiche, in: Caliò L.M., Gerogiannis G. Kopsacheili M. (a cura di), *Fortificazioni e società nel Mediterraneo occidentale*, Roma, Edizioni Quasar, pp.89-92.

Sconfidenza, R. (2005). *Fortificazioni tardo classiche e ellenistiche in Magna Grecia, i casi esemplari dell'Italia del Sud*, Oxford, John and Erica Hedges Ltd.

Vallone, G. (2005). *I castelli della Sicilia*, Roma, Newton Compton editori.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20364

Conoscenza e divulgazione della Torre di Cala Moresca all'Argentario. Dal rilievo dello stato di fatto all'ipotesi ricostruttiva

Fabio Lanfranchi[a], Piero Barlozzini[b], Marco Fasolo[c], Elisa Guarino[d]
[a-c-d] Sapienza Università di Roma, Roma, Italia, [b] Università degli Studi del Molise, Campobasso, Italia, [a]fabio.lanfranchi@uniroma1.it, [b]piero.barlozzini@unimol.it, [c]marco.fasolo@uniroma1.it; [d]elisa.guarino@uniroma1.it

Abstract

The Cala Moresca Tower in Monte Argentario is one of the case studies that are the subject of an ongoing university research project aimed at investigating and elucidating the Cultural Heritage of the State of Presìdi. Among the communication methods, those related to the use of Information and Communication Technologies together with the more current ones of Extended Reality arouse particular interest. Among these, VR responds positively to one of the purposes of the study: to expand the level of awareness and knowledge of the asset. The use of virtual tours available both in situ and online makes it possible to draw attention to and involve users. One of the aims of the study is to broaden the knowledge of the population and the visitors, who will have to be drawn to attention, involved, and oriented along a flow of scientific information which is conventionally regarded as possible to dedicate only to specialists. Numerous fortified structures for sighting, communication, and defence remain from the State of the Presìdi, a former Spanish military enclave on the Tuscan coast. Among these, many have been restored, but others - especially some towers - are currently in a poor state of preservation if not even partially ruined. In this context, the state of the Tower of Cala Moresca, an artifact erected by the Spanish Crown in the Sixteenth Century, appears critical. Despite its long period of existence, no graphic documentation about it can be found today. Between the 18th and 19th centuries, with annexation of the Presìdi to the Kingdom of Etruria, the French drafted several surveys of many of the remaining fortalices, some of which were like the Tower. The working group has recently documented and published the actual condition of the tower, processing TLS and photogrammetric acquisitions in an integrated digital survey. This paper pursues an extension of the above-mentioned research, by integrating the current state with digital reconstructive processing of the missing elements, to be structured through careful study of the relevant documentation of similar systems.

Keywords: Torre di Cala Moresca, rilievo integrato, ricostruzione digitale, realtà virtuale.

1. Introduzione. Cenni storici

La Torre di Cala Moresca è una delle strutture del sistema difensivo del promontorio toscano di Monte Argentario, eretta dalla Corona spagnola nel XVI secolo sulla costa occidentale a circa 35 metri s.l.m. (Fig. 1). Il manufatto appartiene alla cosiddetta tipologia "semaforica" (Cassi Ramelli, 1964). La sua funzione era quella di offrire un punto d'osservazione e difesa del tratto di mare prospiciente l'area del promontorio su cui insiste e di segnalare l'arrivo delle navi nemiche alla guarnigione disposta a protezione della zona (Luisi, 1979). L'enclave militare, denominata Stato dei Presìdi, venne strutturata per contrastare le sempre più frequenti scorribande piratesche. Sotto impulso dello stesso Filippo II il viceré di Napoli, Pedro Afàn de Ribera, durante il decennio del suo mandato (1559-1571), migliorò il sistema di difesa senese riqualificando la rete delle torri

BY-NC-SA



Fig. 1- In primo piano la Torre di Cala Moresca, a destra l'isola Argentarola, sullo sfondo l'isola del Giglio (foto di M. Fasolo, 2024).

costiere e costruendo numerose e possenti fortezze (Della Monaca et al., 2000). Rientra tra queste la Torre di Cala Moresca, oggi in rovina. Attualmente dell'impianto originario rimane il basamento ed una residua parte di elevazione.

2. Dal rilievo dell'esistente all'ipotesi ricostruttiva

Il contributo (2) rientra nel più ampio ambito di una ricerca universitaria, finalizzata alla conoscenza e divulgazione del Patrimonio Culturale dello Stato dei Presìdi. Dopo una prima fase di consultazione bibliografico-archivistica è stata progettata ed effettuata una campagna di rilevamento finalizzata alla documentazione dell'attuale consistenza. Le fasi di acquisizione sono state esperite mediante l'uso combinato di strumenti a sensore attivo, come Stazione Totale (TS) e Laser Scanner Terrestre (TLS) e passivo, ossia mediante dispositivi di tipo consumer come: videocamera tascabile per Vlogging montata su asta telescopica per l'acquisizione degli interni (inaccessibili per ragioni di sicurezza) e Unmanned Aicraft System (UAS) utilizzati per le riprese degli esterni.

L'ipotesi ricostruttiva relativa allo stato originale della torre, ovvero la definizione degli elementi architettonici ormai perduti, è stata strutturata sia sulla scorta del modello digitale (Fig. 2) derivante, come accennato, dall'elaborazione dei dati acquisiti mediante i dispositivi a sensore passivo verificati e validati mediante i dati acquisiti dai dispositivi a sensore attivo, che sulle evidenze riscontrate nella documentazione archivistica reperita. L'analisi documentale, si è basata sui materiali d'archivio inerenti ai rilievi di altri manufatti coevi afferenti al sistema di avvistamento e difesa del promontorio. Per l'analisi si sono rivelati di particolare importanza

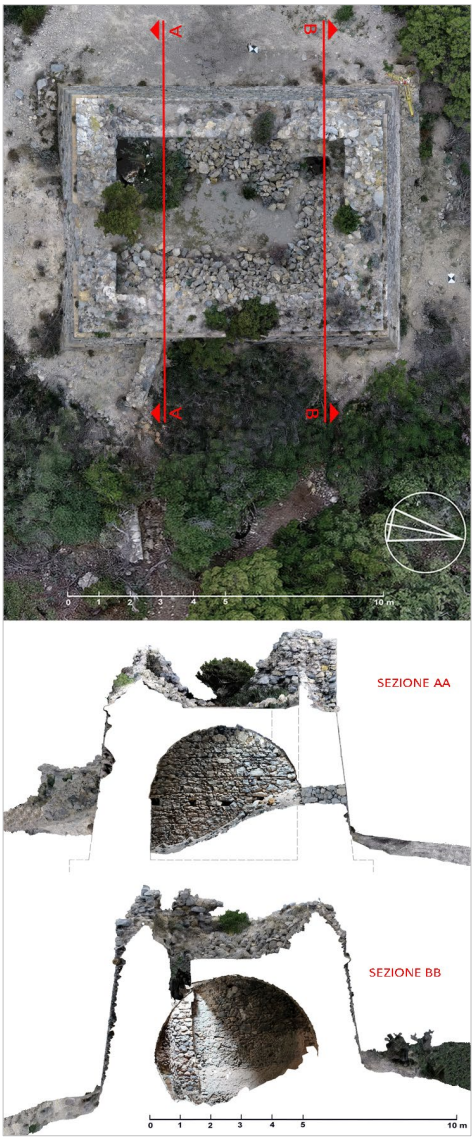


Fig. 2- Ortoimmagini della pianta e di 2 sezioni trasversali della Torre di Calamoresca tratti dal modello mesh elaborato sulla base della ricostruzione SfM (elaborazioni di F. Lanfranchi, 2024).

i disegni di rilievo effettuati tra la fine del XVIII e l'inizio del XIX secolo ad opera del genio militare francese dopo l'annessione dello Stato dei Presìdi al Regno d'Etruria (1). L'assenza del manufatto nella cartografia del XVIII secolo e tra i disegni di rilievo delle torri della zona risalenti ai primi anni del XIX secolo, potrebbe suggerire

il suo declino anticipato come presidio militare in termini di importanza strategica.

3. L'ipotesi ricostruttiva esperita mediante i documenti ed il rilievo



Fig. 3- Ortoimmagini dei prospetti della Torre di Calamoresca tratti dal modello mesh elaborato sulla base della ricostruzione SfM (elaborazioni di F. Lanfranchi, 2024).

Della Torre di Cala Moresca, realizzata in muratura portante a sacco, oggi rimane il basamento ed una ridotta parte dei fronti di elevazione. Il volume tronco-piramidale, caratterizzato dall'inclinazione della scarpa di 7°, si sviluppa da base rettangolare di circa 11 x 8,5 metri impostata su *euthynterie* parzialmente visibile di 12,25 x 9,92 metri, corrispondenti a 21 x 17 braccia toscane. Come accennato, per la definizione dell'organismo originale non ci si è potuti avvalere di fonti documentali dirette in quanto irreperibili o inesistenti. Pertanto, il processo ricostruttivo della Torre di Cala Moresca è stato sviluppato basandosi sull'interpretazione sinergica tra le restituzioni grafiche digitali bidimensionali e tridimensionali (definite mediante la campagna di rilievo) ed i documenti d'archivio inerenti manufatti di avvistamento coevi del promontorio (Fig. 4). Mediante l'analisi dei dati sono stati indagati gli aspetti tecnologici, geometrico-proporzionali, metrologici, tipologici e distributivi, facendo ricorso anche ad una misurata libertà interpretativa per i passaggi ricostruttivi privi di indizi. Rimane chiara la consapevolezza che una possibile validazione delle ipotesi formulate non può prescindere dagli esiti di studi suffragati da campagne di scavi archeologici.

Al fine di definire con plausibile attendibilità l'altezza originaria ed il numero dei piani del manufatto, è stata effettuata la comparazione di proporzioni e dimensioni delle torri costiere dell'Argentario. Più specificamente sono state confrontate le caratteristiche dei manufatti realizzati su quote altimetriche analoghe a quella della torre indagata (Fig. 5). Tra le peculiarità riscontrate nella Torre di Cala Moresca ci sono la forma planimetrica rettangolare del basamento e la sua altezza, rivelatasi superiore rispetto a tutte le torri considerate. Dal punto di vista costruttivo la torre non si discosta per modalità edificatorie

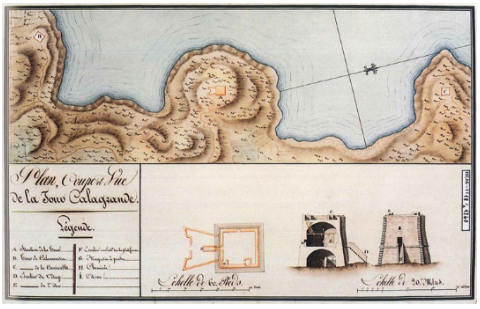


Fig. 4- Rilievo di Calagrande del Genio Militare francese. In alto a sinistra la sagoma della Torre di Cala Moresca con relativo sentiero di accesso. *Archivio ISCAG: FT18/1240.*

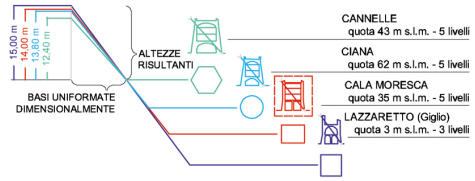


Fig. 5- Schema comparativo delle torri fondate su quote simili a Cala Moresca all'Argentario. (elaborazione grafica di F. Lanfranchi, 2024).

ed utilizzo di materiali da costruzione autoctoni (Fratini et al., 2017) caratterizzanti gli altri manufatti. Costruzioni realizzate da maestranze dotate di competenze specifiche, coordinate da valenti architetti italiani con cui collaborarono alcuni dei comandanti spagnoli dei Presìdi (Della Monaca et al., 2000). In dettaglio, molto probabilmente oltre ai due vani della parte basamentale, quattro ulteriori livelli -compresa la terrazza di avvistamento- definivano la parte di elevazione. I vani con interposto un muro di spina, sono coperti con volta a tutto sesto. Dei due ambienti, oggi e probabilmente anche originariamente interconnessi, quello a Sud è areato mediante l'unica feritoia presente sul basamento. Il vano areato era presumibilmente destinato ad accogliere le armi e i viveri a lunga conservazione, l'altro, ancora oggi sagomato ad invaso (Fig. 2, sezione BB), era invece destinato a contenere la riserva d'acqua. L'ambiente destinato a deposito, come si evince dalle nicchie ritmicamente disposte sulle pareti Sud e Nord (Fig. 2, sezione AA), doveva essere dotato di solaio finalizzato alla protezione dall'umidità di risalita dei beni ivi conservati. L'accesso era possibile, in accordo con tutti i collegamenti verticali rappresentati sui disegni d'archivio, mediante una scala a pioli lignea disposta nel varco presente nella volta all'angolo della parete sud. Una ulteriore apertura sul soffitto del vano cisterna rendeva possibile l'approvvigionamento dell'acqua di origine piovana che, raccolta nella terrazza, si incanalava verso la vasca mediante tubuli disposti all'interno della muratura ancora parzialmente visibili. L'accesso all'interno della torre era collocato al primo livello raggiungibile con una scala esterna lignea che nel caso specifico (considerata la rilevante lunghezza dipendente dell'altezza del basamento) si ritiene plausibile potesse essere disabilitata in caso di assedio abbattendo i puntoni di sostegno che si presume trovassero alloggio negli incavi del muro sud sotto al varco di accesso (Fig. 3). Varco ancora visibile con parte del suo stipite, subito sopra al cordolo, in prossimità del centro della facciata. Nella muratura di elevazione ad est, nelle immediate vicinanze dell'angolo con la parete sud, la parete si caratterizza per un netto taglio verticale che potrebbe indicare una feritoia di controllo del varco di accesso alla cinta muraria destinata alla difesa dell'area protetta esterna. Non avendo rilevato particolari segni riconducibili alla presenza dell'immancabile camino, si è ipotizzato il suo posizionamento al centro della parete est. Questa parete, in quanto rivolta verso l'entroterra, poteva non essere dotata di affacci come da prassi edificatoria desunta dai documenti di archivio. Per quanto attiene le aperture sugli altri lati della torre, si è ipotizzato, in accordo con le analoghe strutture del promontorio, una modalità organizzata secondo necessità funzionali e tecnologiche. Gli affacci, di ridotte dimensioni verso l'esterno, venivano di norma disposti al di sopra dell'accesso per favorirne la difesa dall'alto e ripetuti sulle pareti opposte eccetto, come detto, per le pareti orientate verso l'entroterra. Dalla documentazione consultata deriva anche l'ipotesi formulata in merito ai solai lignei del secondo e del terzo livello. Solai costituiti da orditura



Fig. 6- Modello di ricostruzione della Torre di Cala Moresca (elaborazione grafica di F. Lanfranchi, 2024).

primaria in appoggio sulle murature est ed ovest (luce minore) e completati con tavolato di calpestio. Gli accessi ai diversi piani della torre sono stati ipotizzati, per motivi funzionali e di sicurezza, aderenti alla parete sud ed alternati per evitare pericolose doppie altezze (Fig. 6, sezione BB). La geometria della volta sottostante alla terrazza di avvistamento è stata ipotizzata, in conformità con la volta degli ambienti basamentali, con generatrici impostate sulle murature est ed ovest. Dall'ultimo livello era possibile raggiungere la terrazza d'avvistamento. La terrazza, oltre alla consueta struttura di protezione della scala era dotata di un parapetto per la protezione dei soldati di guardia. Infine, un breve accenno alle mura di difesa caratterizzanti tutte le torri dell'Argentario. Osservando dalle riprese aeree l'area solo parzialmente visibile nella pianta (Fig. 2), si rileva oltre all'evidente residuo murario innestato sul fronte est, la traccia della sua continuazione in forma poligonale terminante sull'angolo sud-ovest. Considerata l'orografia del sito si ritiene che questa struttura muraria alternasse alla funzione di muro fuori terra per i fronti est ed ovest, quella di muro di contenimento per la porzione prospettante verso Sud sul limite della sottostante falesia. Nella ricostruzione è stata ipotizzata l'esistenza di un pianoro -oggi probabilmente scomparso a causa della sistematica erosione marittima- realizzato con la duplice funzione di area di difesa attiva mediante armi da fuoco nonché di appoggio della scala esterna di accesso.

4. Nuove tecnologie per la valorizzazione del Patrimonio architettonico

La conoscenza e la divulgazione del Patrimonio architettonico è un tema ampiamente dibattuto considerando le numerose iniziative culturali come i convegni, le pubblicazioni su riviste e monografie che hanno affrontato questa importante e preziosa dote che la storia ha lasciato in eredità al nostro Paese. Tra i primi contributi sulla Visualizzazione Interattiva dell'Architettura (VIA) ricordiamo quello di Riccardo Migliari (Migliari, 2008). L'evoluzione su questa tematica comprende le recenti indagini sulla navigazione virtuale della Sala dei Cento Giorni attraverso immagini panoramiche (Fasolo, et al., 2022), o l'esplorazione di architetture esistenti per mezzo di navigazioni virtuali interattive (Sdegno, 2019), o ancora la comunicazione delle trasformazioni urbane (Cabezos, 2018). Appare dunque, sempre più ineludibile, la consapevolezza degli studiosi, di dedicare una parte delle proprie attività scientifiche nel consolidamento del tema di cui trattiamo. Assodata perciò l'importanza della conoscenza del bene architettonico attraverso tutti i mezzi conoscitivi quali la documentazione storica testuale, grafica e fotografica, nonché il rilievo e le eventuali e ponderate ipotesi ricostruttive, le fasi che seguono risiedono nella sua comunicazione. Questa fase, anch'essa ampiamente dibattuta, risulta fondamentale per la trasmissione ad altri del bene studiato. Altri intesi sia come addetti ai lavori (disseminazione) sia come pubblico cittadino (divulgazione). Proprio quest'ultima categoria ha colpito la nostra attenzione avendo avuto modo di constatare come, nel caso in esame, il sistema fortilizio delle torri di Monte Argentario sia caduto nel dimenticatoio sia nella maggior parte degli abitanti del promontorio toscano, sia con maggior rilevanza e altrettanto rammarico nelle ultime generazioni che quei luoghi vivono e frequentano. Per ovviare in parte a questo decadimento culturale riteniamo che si debbano mettere in campo tutti gli strumenti utili per evitare il triste oblio che sembra pervadere il

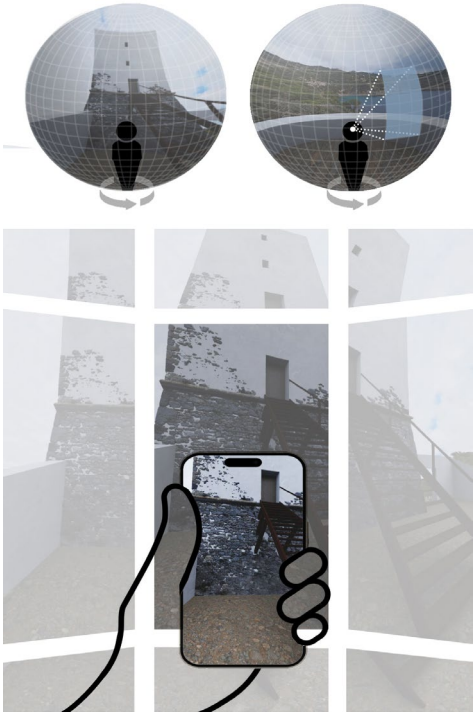


Fig. 7- Schema esplicativo della navigazione di un panorama sferico (elaborazione di E. Guarino, 2024).

patrimonio storico difensivo del Monte Argentario. È con queste necessità e spirito che abbiamo intrapreso, nel recente passato, analoghi studi per la Torre di Capo d'Omo presente sempre a Porto Santo Stefano. L'intento era il medesimo: scuotere le coscienze della popolazione residente e di quelle che vivono stagionalmente questi luoghi ricchi di storia e di valenze paesaggistiche circa la partecipata conoscenza di queste emblematiche e caratteristiche emergenze architettoniche. Il progetto di comunicazione che abbiamo elaborato per raggiungere questo scopo si basa sulle nuove tecnologie dotate di un forte potere attrattivo verso le varie tipologie di utenti cui abbiamo fatto cenno conducendoli in esperienze fortemente coinvolgenti.

5. Modello in Realtà Virtuale per la divulgazione del sistema fortilizio

Con il termine "*Nuove Tecnologie"* ci si riferisce alle tecnologie appartenenti alla famiglia della *Realtà Estesa* (XR), un concetto che include diverse modalità di interazione tra il mondo reale e quello virtuale. Nell'ottica di ideare una comunicazione in XR per la divulgazione del sistema fortilizio dell'Argentario che possa essere la più efficace, sia in termini di accessibilità che di comprensibilità immediata dei contenuti, si è scelto di incentrare la sperimentazione sull'utilizzo della Realtà Virtuale (VR). Questo progetto si affianca alle precedenti ricerche svolte in Realtà Aumentata (AR) - specificatamente per la Torre di Capo d'Omo - con l'obiettivo di



Fig. 8- Immagini equirettangolari della ricostruzione virtuale della Torre di Cala Moresca (sinistra) con porzioni di visualizzazione (destra) (elaborazione e restituzione grafica di E. Guarino, 2024).

consentire un confronto tra le due tecnologie, sotto l'aspetto dell'efficacia, della sostenibilità tecnico-economica e valutandone al contempo l'integrazione. L'uomo legge lo spazio che lo circonda attraverso un'osservazione soggettiva, dal proprio punto di vista: l'esperienza del reale è per sua natura immersiva. Il potenziale della VR risiede nella sua capacità di comunicazione intuitiva, caratterizzata da un linguaggio visivo che risulta istintivamente comprensibile per l'utente. In questa sperimentazione, la VR viene utilizzata per presentare ricostruzioni virtuali dettagliate della Torre di Cala Moresca, permettendo all'utente di osservarne la struttura, sia all'interno che all'esterno, secondo un punto di vista coerente rispetto con quello dell'esperienza reale, ovvero in prima persona. Tra le tecniche a disposizione si è scelto di utilizzare la sequenza di panorami sferici, questi ultimi permettono all'utente di immergersi nella scena rappresentata con dinamicità. Difatti il movimento, seppur ancorato ad un punto di vista fisso, consente di variare a piacimento l'inquadratura, portando l'osservatore ad immergersi nella realtà rappresentata (Fig. 7) (Maiezza, 2019). Per quanto l'uso di dispositivi come i *cardboard viewer* permetta indubbiamente un'esperienza di immersione avanzata, l'interazione tramite dispositivo mobile dotato di giroscopio garantisce anch'esso un buon livello di immersività e coinvolgimento dell'utente. Essendo la Torre di Cala Moresca parte del paesaggio del Monte Argentario era necessario che questi due elementi fossero posizionati nella scena rappresentata in maniera coerente rispetto alla reciproca posizione reale. Le immagini equirettangolari di definizione dei panorami sferici sono state realizzate mediante una sovrapposizione tra le acquisizioni in loco, effettuate attraverso una fotocamera 360, e il modello ricostruito, mantenendo invariato in entrambe il punto di vista (Fig. 8). Poiché il luogo sul quale insiste la Torre - attualmente inaccessibile in quanto pericolante - è in stato di abbandono, è essenziale sviluppare una modalità di fruizione da remoto, auspicando una possibile futura fruizione *in situ*. In questo progetto è prevista la creazione di un sito web dedicato che consenta l'accesso, sia tramite pc che smartphone, ad una esperienza di *virtual tour* sulle singole torri con fruizione personalizzata per tipologia di utente e tema narrativo (Fig. 9). Durante il tour l'utente potrà selezionare specifici pulsanti informativi per ascoltare o leggere dettagli contestualmente alla scena visualizzata, oppure, in caso di possesso, utilizzare un supporto per la visualizzazione stereoscopica, quali i già citati *cardboard* o appositi visori. Il portale web oltre ad avere funzione divulgativa potrebbe contribuire alla promozione del territorio dell'Argentario attraverso opportuni spazi, anche pubblicitari. Come detto, il progetto prevede ed auspica un'esperienza *in situ*, che possa permettere all'utente di confrontare lo stato di fatto del sistema fortilizio con la sua ricostruzione virtuale. Attraverso la collocazione di appositi segnalatori a terra per indicare la posizione e l'orientamento dell'osservatore, verranno indicati i punti di vista privilegiati di osservazione. Scansionando un QR code posto al centro di questi ultimi si potrà accedere alla visualizzazione sferica della scena ricostruita.



Fig. 9- Simulazione dell'esperienza da remoto attraverso sito web (elaborazione di E. Guarino, *2024*).

L'utente potrà fare un confronto diretto tra la ricostruzione virtuale e l'ambiente reale semplicemente ruotando su sé stesso e orientando il proprio dispositivo (Fig. 10). Tuttavia, per consentire all'utente di mantenere il contatto con lo spazio reale, ci si potrebbe servire di visori per la *Mixed Reality* (MR), entrando però in un campo diverso dalla VR, seppur strettamente

collegato ad essa. La MR è indubbiamente meritevole di attenzione e se ne prevedono sviluppi futuri, aventi sempre ad oggetto il sistema fortilizio dell'Argentario, per esplorare ulteriormente le possibilità offerte dalle tecnologie XR.

Fig. 10- Simulazione dell'esperienza in situ



(elaborazione grafica di E. Guarino, 2024).

6. Conclusioni

Oggi, le torri di avvistamento testimoniano la storia e la cultura dell'Italia, caratterizzando al contempo il litorale. La loro protezione richiede una conoscenza approfondita, valorizzazione e un utilizzo più ampio delle loro specificità architettoniche e materiali, oltre che del territorio in cui sono state costruite.

Il sistema di comunicazione proposto, che consiste in una piattaforma web corredata da tecnologie in Realtà Virtuale, deve essere inteso non solo come mezzo cognitivo relativo alla Torre di Cala Moresca, ma anche come un prototipo da utilizzare per le altre torri dello Stato dei Presìdi, al fine di trasmettere la sua duplice veste di sistema difensivo e di avvistamento.

Note

(1) Istituto Storico e di Cultura dell'Arma del Genio di Roma (ISCAG), cart. Torri Argentario.

(2) Pur nella condivisione del contributo si attribuiscono i paragrafi: 1 a P. Barlozzini, i paragrafi 2 e 3 a F. Lanfranchi, il paragrafo 4 a M. Fasolo, il paragrafo 5 e le conclusioni a E. Guarino.

Bibliografia

Cabezos, P. M. & Cisneros Vivó B. J. J. (2018). Valorization and dissemination of lost urban heritage.

Cassi Ramelli, A. (1964) *Dalle caverne ai rifugi blindati. Trenta secoli di architettura militare.* Milano, Nuova Accademia Editrice, p. 298.

Della Monaca, G., Roselli, D., Tosi, G., (2000) *Fortezze e torri costiere dell'Argentario, Giglio e Giannutri Cronaca Storia Aspetti architettonici.* Pittigliano, Laurum Editrice, p. 108. p. 34 *DISEGNARECON,* 21 (Eds.), pp.12.1-12.11.

Fasolo, M., Baglioni L. & Camagni F. (2022). Immersion in Virtual Reality for Studying Architectural Perspectives. In Ródenas-López M. A., Calvo-López José & Salcedo-Galera M. (Eds), *Architectural Graphics. Volume 2 – Graphics for Knowledge and Production,* (pp. 155-164). Springer.

Fratini, F., Cantisani, E., Pecchioni, E., Arrighetti, A., Vettori, S., (2017). The geomaterials of the Argentario coastal towers (Tuscany - Italy). In: Echarri Iribarren, V. (ed). *Defensive Architecture of the Mediterranean. XV to XVIII centuries.* Vol. 5: Proceedings of FORTMED - Modern Age Fortifications of the Mediterranean Coast, 26-28 October 2017, Alacant. Alacant, Editorial Publicacions Universitat d'Alacant, pp. 353-358.

Luisi, R., (1979). *Scudi di pietra I castelli e l'arte della guerra tra Medievo e Rinascimento.* Roma-Bari, Editori Laterza, p. 12.

Maiezza, P., (2019). Ricostruendo in digitale. Metodi e modelli per i beni architettonici. Alghero: Publica. pp. 81-84.

Migliari, R., (2008). *Prospettiva dinamica interattiva. La tecnologia dei videogiochi per l'esplorazione dei modelli 3D di architettura.* Kappa.

Sdegno A., Cochelli P., Riavis V. & Veneziano S. (2018). Advanced Simulation of Frank Lloyd Wright's Fallingwater: Digital Reconstruction and Virtual Reality. In Luigini A. (a cura di), *Proceedings of the 1st International and Interdisciplinary Conference on Digital Environments for Education, Arts and Heritage*. (pp. 587-596). Springer.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20365

Connessioni ritrovate. La rete delle torri della Calabria Ultra: mutui sguardi tra passato e presente

Nicola La Vitola[a], Sonia Mollica[b]
[a-b] Università Mediterranea di Reggio Calabria, Reggio Calabria, Italia, e-mail: [a] nicola.lavitola@unirc.it; [b] sonia.mollica@unirc.it

Abstract

The Italian coastal towers, a heritage of great historical and architectural interest, are today artifacts capable of combining the form of architecture and landscape, emphasizing a backbone formed by conspicuous points, immaterial networks and material consistencies. In this context, the towers represented in the *Romano Carratelli Code* symbolize a heritage of certain interest as a documentary treasure that provides detailed descriptions of the toponymy of places and geometries that must have governed the arrangement of these coastal architectures along the Calabrian coast. The coastal views that the *To_Know* project wants to relaunch, a project financed with resources from the PNRR, are multilevel visions, linked to the narration of the materiality and immateriality of places. The narrative path, with a view to tourist use of the Calabrian coasts and aimed at different targets and different ways of travel, offers a global and systemic vision of the territory on which the architecture is located, connected to points of interest and new knowledge. Having reached the destination, that is, the tower that looks out over the horizon, it is possible to enjoy a new type of view, linked to the archival asset of the *Romano Carratelli Code*, capable of weaving the plots of new cultural paths.

Keywords: Romano Carratelli Code, geometries of the gaze, material and immaterial connections.

1. Introduzione

1.1 Le torri costiere di Calabria Ultra. Architettura e Luogo

L'indissolubile rapporto tra architettura e morfologia del territorio delinea un percorso di analisi, di studio, di conoscenza e di divulgazione dove gli aspetti antropici e naturali vengono trattati alla stessa stregua, certi del fatto che trattandoli in maniera distinta, ovvero isolare l'architettura dal contesto fisico a cui appartiene, significherebbe banalizzare e snaturare il carattere dei luoghi.

Nel passato come oggi, la scelta di un luogo, l'atto fondativo, per la costruzione di elemento architettonico isolato ha sempre avuto un forte valore simbolico che trascende gli aspetti di tipo topografico e funzionale, sottolineato nel confronto tra le torri costiere stesse.

È impossibile pensare ad un'architettura fortificata senza avere conoscenza del luogo.

Vi è una porzione di territorio riconoscibile, in qualche modo strutturata, e cioè perimetrata, delimitata, rispetto ad altre porzioni di spazio, che saranno perimetrazioni di boschi, di colture, che costituiscono un tessuto di relazioni con il quale il castello, la torre o una qualunque fortificazione, non solo si confronta, ma prende corpo ed esistenza, trovando in quest'ultimo la radice etimologica della sua forma (Aris, 2007).

Le torri costiere che caratterizzano il litorale italiano rappresentano, sotto questo punto di vista, un inestimabile patrimonio dal punto di vista storico e architettonico. Queste strutture, spesso in stato di abbandono, sono testimoni di un passato in cui si sono susseguite storie e

BY-NC-SA

avvenimenti, fondamentali per la difesa e il presidio del territorio; in quanto strutture utili a sorvegliare la costa, evidenziano luoghi connotati da un grande interesse paesaggistico, caratterizzate dall'essere "punti di osservazione" attraverso cui monitorare il litorale. Questa caratteristica intrinseca a questo "tipo" di architettura fa sì che queste ultime segnino luoghi privilegiati da cui osservare il paesaggio costiero.

Le forme di questi edifici assecondano i percorsi di crinale delle colline, seguono tracce delle antiche vie cavaliere, sfidando visibilmente le intemperie naturali e fronteggiando il lento scorrere del tempo.

Sin dal X-XI secolo, quindi, una rete di torri e fortificazioni si doveva estendere lungo le coste italiane, la rete è costruita principalmente per proteggere i porti e le città dalle incursioni, specialmente lungo le coste del Sud Italia, vulnerabili agli attacchi turchi. Il sistema difensivo permanente voluto dagli Angioini si basava su torri disposte in punti strategici, in vista l'una dell'altra, garantendo una comunicazione efficace attraverso segnali di fumo e fuoco in caso di pericolo. Nel XVI secolo, l'impegno per la protezione costiera riprese vigore con il dominio spagnolo nel Regno di Napoli, che attuò un programma di costruzione di nuove torri per proteggere il litorale dalle incursioni saracene. In questo contesto storico nasce il *Codice Romano Carratelli*, anche noto come il "Codice delle Meraviglie", un manoscritto prezioso risalente alla fine del XVI secolo, che raccoglie 99 disegni acquerellati delle torri e fortificazioni esistenti o progettate lungo le coste della Calabria Ultra.

Il *Codice Romano Carratelli* è una delle testimonianze più antiche e dettagliate delle strutture difensive costiere della Calabria Ultra, fornendo una visione unica del paesaggio costiero calabrese dell'epoca. Gli acquerelli del *Codice* raffigurano le torri esistenti, disegnate in rosa, e le torri di progetto, in azzurro chiaro, seguendo un approccio di rappresentazione che varia a seconda della posizione geografica. Le torri della costa tirrenica sono viste dal mare verso la terra, mentre quelle della costa ionica sono illustrate dalla terra verso il mare, sottolineando la funzione difensiva contro le incursioni orientali. Oltre a rappresentare le torri, il *Codice* include vedute panoramiche di piazze d'armi e aree strategiche da proteggere (Fig. 1). La rappresentazione topografica e geografica del Codice non solo testimonia l'organizzazione delle coste calabresi, ma fornisce anche una base per la pianificazione di un sistema difensivo organico. La meticolosità delle descrizioni e la precisione dei disegni indicano che il Codice fu probabilmente realizzato da un tecnico o un ingegnere, e forse mantenuto segreto dal Governo Vicereale per ragioni di sicurezza dello Stato.

Il *Codice Romano Carratelli* rappresenta una pietra miliare per la storiografia calabrese, fornendo una delle prime iconografie dettagliate della costa di Calabria Ultra e del suo stato antropico. Oltre a essere un prezioso documento storico, il *Codice* rappresenta un modello di rappresentazione del territorio che integra architettura e paesaggio, riflettendo un approccio metodologico rigoroso nella descrizione e categorizzazione delle coste e delle architetture difensive.

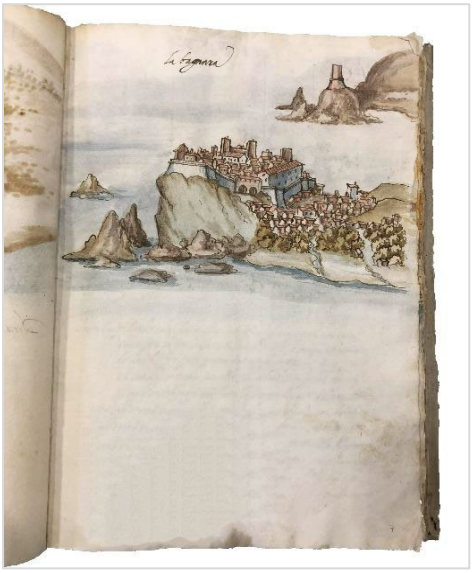


Fig. 1- Città Fortificate nel *Codice Romano Carratelli*, Fonte: Codice Romano Carratelli, p. 7.

La visione d'insieme fornita dai novantanove acquerelli costituisce una testimonianza iconografica unica, preziosa per ricostruire l'evoluzione del paesaggio costiero calabrese, influenzato da numerosi cambiamenti che tuttavia mantengono tracce della loro storia originaria. Il presente contributo mira a dimostrare come attraverso le vedute del *Codice Romano Carratelli* (Fig. 2), il quale valore storico sia un dato innegabile (Martorano, 2015), è possibile

ricostruire il fitto sistema di reti costiere che dovevano svilupparsi lungo le coste di Calabria Ultra al fine di proporne la loro valorizzazione tramite tecniche di *Augmented* ed *Extended Reality*.



Fig. 2- Torri azzurre e torri rosa nel *Codice Romano Carratelli*, Fonte: Codice Romano Carratelli, p. 2.

2. Le torri "azzurre" del *Codice Romano Carratelli*. Un progetto mai realizzato

Le torri azzurre rappresentate nel *Codice Romano Carratelli* simboleggiano un ambizioso progetto difensivo che, per varie ragioni, non venne mai pienamente realizzato. Nel manoscritto, queste strutture sono disegnate in azzurro chiaro, a contrasto con le torri esistenti, rappresentate in rosa. Questa differenza cromatica non è casuale: l'azzurro identifica le torri che erano solo in fase di progettazione, riflettendo l'intento di creare una catena difensiva estesa e capillare lungo la costa della Calabria Ultra. Fondamentale nel quadro degli aspetti informativi che il *Codice* conserva è anche la toponomastica e come all'interno delle pagine viene indicata; queste informazioni permettono, unitamente all'attenta rappresentazione territoriale, di collocare le torri di progetto (blu) con precisione all'interno del territorio. La mancata realizzazione del progetto è attribuibile a diversi fattori, tra cui le continue instabilità politiche ed economiche dell'epoca, che spesso ostacolano l'attuazione di piani strategici a lungo termine. Il *Codice Romano Carratelli* documenta quindi non solo lo stato attuale delle difese costiere del XVI secolo, ma anche l'aspirazione a un sistema di protezione costiero organico e completo, un sogno che, in parte, rimase sulla carta.

Le torri azzurre testimoniano una visione strategica di grande portata, pensata per contrastare in modo stabile le incursioni nemiche. Tuttavia, le difficoltà nell'ottenere i finanziamenti necessari e le controversie tra le autorità centrali e le amministrazioni locali limitarono la possibilità di concretizzare questo progetto. Il manoscritto, in questo senso, non è solo una rappresentazione della realtà ma anche un modello ideale di difesa territoriale che ci racconta il contesto storico, le ambizioni e le difficoltà della Calabria Ultra nel tentativo di proteggere le sue coste.

La presenza nel *Codice* di queste architetture mai realizzate offre una prospettiva unica attraverso cui osservare le coste calabresi che, nel XVI avrebbero quindi dovuto ospitare un sistema ancora più articolato di presidi costieri, i quali avrebbero reso ancora più evidente il reticolo di geometrie sotteso al presidio del territorio; questo reticolo, esistente come memoria di progetto soltanto nelle pagine del *Codice Romano Carratelli* è un ulteriore layer narrativo che può essere contenuto all'interno di una narrazione "progettata" della costa calabrese.

3. La Rete delle torri costiere per la riconnessione dei luoghi

Assodato come la configurazione a rete delle architetture costiere si configuri come un approccio dall'alto potenziale conoscitivo e strategico, si vuole di seguito ampliare la trattazione indirizzata al valore del sistema ricucendo l'intreccio indissolubile che le torri di Calabria Ultra intrattengono con il territorio circostante, capaci di incrementare e potenziare i legami tangibili e intangibili.



Fig. 3- La rete delle torri di Calabria Ultra (Elaborazione grafica a cura degli autori, 2024).

Lo studio dei manufatti costieri porta, infatti, con sé una riflessione sul grande senso evocativo che queste architetture esercitano sulla memoria dei popoli che le vivono. La riconnessione dei luoghi permette la creazione di una fitta trama che lega la storia al paesaggio, fondato su quella che è la visibilità, la temporalità e la narrazione (Venturi Ferriolo, 2009).

L'occhio indaga in profondità l'ambiente circostante, per rivelare quelle che sono le relazioni e le trame dell'avvenire, cioè l'intreccio degli eventi accaduti in un luogo, quindi, i fatti che lo hanno determinato (Turri, 2011).

Il susseguirsi degli avvenimenti crea scenari sempre nuovi da codificare: proiezioni immaginative, conoscenze storiche, suggestioni figurative altrimenti perdute senza un'efficace comunicazione delle stesse. È ciò che secondo Morin con il suo *homme imaginaire*, alimenta le dualità, potenzia le connessioni e stimola l'unione tra reale e immaginario.

Nell'ambito della comunicazione e del rapporto tra reale immaginario/immaginato, i paesaggi costieri e le relative architetture rivestono infatti un ruolo fondamentale nella nascita e nello sviluppo del patrimonio culturale immateriale di questi paesaggi (Bozzato & Bandiera, 2019), definiti da nodi multipolari in cui le città s'intersecano con gli spazi sociali e con le rive prossime, luoghi in cui si manifestano le culture, le economie e i caratteri propri degli insediamenti

costieri (Vallega, 2003) (Fig. 3). La costa calabrese si configura dunque come elemento strutturante e catalizzante per la riconnessione di culture e dei beni culturali, nella costante possibile apertura verso il nuovo (Governa, 1999). In rapporto all'architettura, è però la comunità a generare i molteplici tasselli da incastrare nel territorio, in seguito paesaggio se riconosciuto nei processi di trasformazione di tipo economico, sociale e culturale (Ostrom, 2006).

L'interfaccia mare-terra è dunque un portale di connessione di flussi materiali e immateriali, in cui le reciproche interazioni si tramutano in nuove forme e paesaggi, una città liquida (Bauman, 2014) incentrata sulla cultura, sulla conoscenza e sulla connessione del territorio, in cui il *waterfront* diviene l'elemento propulsore della modernità (Sloterdijk, 2002).

Tra le risorse architettoniche che costituiscono i nodi fondamentali per le connessioni di tipo culturale, storico ed economico vanno sicuramente annoverati quegli edifici connessi alla costa, nati dalla necessità da parte delle popolazioni di usufruire di elementi che potessero fungere da avvistamento o, al contrario, da segnalazione: si tratta dei fari, delle torri e dei fortini difensivi (Magnani & Pistocchi, 2019).

Le torri ancora presenti in Calabria e nel Mediterraneo raccontano un periodo di aspri conflitti, dalle galere dei saraceni e dei barbareschi contro le flotte dell'Occidente cristiano, alle strategie di difesa delle baie, luoghi strategici dai quali lanciare l'allarme o per impedire l'approvvigionamento da parte dei forestieri di acqua dolce. Prima di diventare parte di un complesso sistema difensivo, le torri divengono dei veri e propri fortini dotati poi di armi da sparo e di magazzini per fronteggiare gli assedi. Gli scontri che si consumano sono conflitti di banchina, funzionali per il controllo dei traffici marittimi e delle zone di pesca (Gurioli & Mesturi, 2011).

Oggi, grazie alla loro localizzazione e alla loro altezza – svettanti dalle spiagge più prossime al mare alle montagne e alle scogliere che le sovrastano – rappresentano spesso il *landmark* territoriale, una sorta di segnaposto roccioso capace di scandire il paesaggio costiero e lo sguardo. È dunque forte l'identità storica delle architetture costiere: la valorizzazione delle torri, mediante reti culturali e turistiche, è quindi una risorsa privilegiata per lo sviluppo sostenibile e l'innovazione del sistema nazionale e internazionale (Pollice & Rinaldi, 2012), vale a dire iniziative *cultural-based* connesse a sentieri turistici, culturali e religiosi, in grado di riconoscere e ristabilire un nuovo valore-identità. Con la creazione di percorsi turistici fondati sull'utilizzo della realtà aumentata e della realtà virtuale s'intende dunque riconnettere i luoghi nelle loro consistenze materiali e immateriali attraverso percorsi fisici e virtuali.

4. Ricostruzione visuale delle geometrie degli sguardi. Augmented Reality e valorizzazione del patrimonio

L'atto della rappresentazione, inteso come movimento della mano, prolungamento dello sguardo, sottostà sempre a un punto di vista. Ciò che vediamo e sperimentiamo quotidianamente diviene l'insieme di frammenti e di informazioni nel tempo e nello spazio.
L'atto del disegnare permette d'identificarci nel soggetto/paesaggio ritratto divenendone parte viva della narrazione, attraverso il quale assimilare le relative caratteristiche materiali, cromatiche, estetiche e temporali. La costruzione di scenari immaginativi rende possibile la sovrapposizione e la contrapposizione nel luogo reale di più spazi altrimenti incompatibili, più o meno visibili e percettibili. Ricostruire le "geometrie dello sguardo" significa sovrapporre i coni ottici canonici traguardabili dalle torri costiere di Calabria Ultra ai paesaggi mai esistiti o non più esistenti, attraverso la quale conoscere i rapporti e le reti costiere materiali e immateriali (Fig. 4).
Nell'ambito della contrapposizione tra reale e virtuale s'inseriscono le metodologie digitali legate alla realtà aumentata, utili a promuovere in maniera innovativa il territorio, capaci di legare il turismo culturale alla mobilità lenta.
Le geometrie dello sguardo guidano infatti l'esploratore in un racconto contraddistinto da traguardi e percorsi, uno *storytelling* personalizzabile fruibile mediante l'utilizzo della realtà aumentata, in linea con i principi dell'*edutainment* (Mc Luhan, 1964).
La sovrapposizione tra l'ambiente reale e le informazioni digitali, sono infatti capaci di aumentare la percezione e la conoscenza dell'ambiente circostante (Fig. 5): «uno strato di informazioni connesso a un'immagine o a una rappresentazione del mondo in modo da offrire agli utenti la possibilità di accedere, con modalità

estremamente intuitive, a informazioni localizzate» (Rossi, 2013, p. 27).

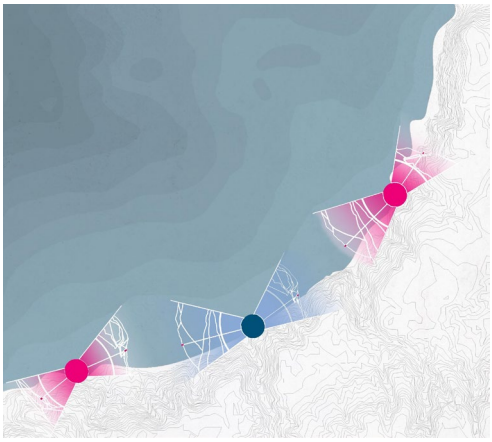


Fig. 4- La rete delle torri di Calabria Ultra (elaborazione grafica a cura degli autori).

La sovrapposizione dello spazio offre la possibilità di semplificare e al tempo stesso aumentare la percezione dell'elemento architettonico, rendendo fruibile delle connessioni costiere altrimenti ormai perdute nel tempo, o ancora mai esistite.

Nell'ambito della conoscenza del territorio attraverso l'espediente narrativo del *Codice Romano Carratelli*, è infatti possibile traguardare il paesaggio circostante visualizzando uno stralcio raffigurante le torri rappresentate nel *Codice* (non esistenti o mai realizzate), unendo la fruizione alla valorizzazione del bene documentale.

La georeferenziazione delle torri mai costruite è avvenuta mediante lo studio e l'analisi dei toponimi indicati nelle rispettive pagine del codice e attraverso un'attenta interpretazione della rappresentazione del territorio offerta dal *Codice* stesso.

Questo tipo di supporto della cultura materiale rappresenta un'impronta fondamentale per il ricordo della storia e del passato, inerenti sia alle architetture costruite che a quelle mai realizzate. Nell'ambito degli archivi di architettura, si tratta infatti di stralci della memoria, frammenti "muti" in attesa del loro riconoscimento in quanto esempi della successione della storia architettonica nel tempo (Albisinni & De Carlo, 2011).

La tutela e la conservazione delle impronte architetturali risultano infatti avere un prominente futuro nell'ambito del digitale, in cui la relativa valorizzazione dipende principalmente dall'interpretazione critica della documentazione, consentendo la proiezione in avanti del proprio passato verso un futuro presente (Culotta & Sciascia, 2008), mediante tecniche di trasposizione digitale che possano sviluppare un rinnovato interesse dell'architettura legata indissolubilmente alla storia.

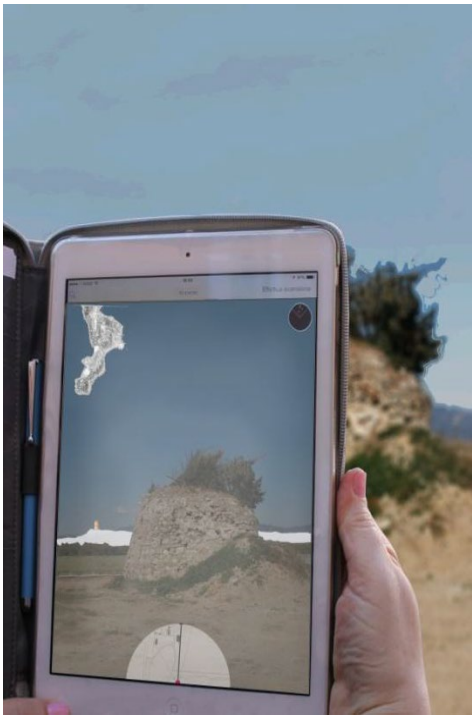


Fig. 5- Geometrie dello sguardo e *Augmented Reality* per la valorizzazione del territorio e degli archivi (elaborazione grafica cura degli autori).

5. Conclusioni

Oggi, le tecnologie di realtà aumentata e virtuale rappresentano un potente strumento per valorizzare il patrimonio culturale, specialmente quando accompagnate dallo *storytelling*, che consente di creare esperienze educative e coinvolgenti, rendendo la cultura accessibile e interessante per tutti.

Un esempio concreto di applicazione di queste tecnologie è il progetto *To_Know*, dedicato alle torri costiere della Calabria Ultra, che punta alla riscoperta e valorizzazione del patrimonio storico e architettonico. Grazie all'uso del *Codice Romano Carratelli* e delle tecnologie di realtà aumentata, i visitatori possono esplorare il territorio in modo interattivo e immersivo, vivendo un'esperienza che combina il piacere della scoperta con l'acquisizione di nuove conoscenze.

Difatti attraverso l'uso della realtà aumentata, fruibile attraverso una web app, sarà possibile sovrapporre alle consistenze reali, le vedute del *Codice Romano Carratelli*, le torri Blu mai costruite sulla linea di orizzonte, e le ricostruzioni delle parti mancanti delle architetture in rovina.

L'obiettivo di *To_Know* è rendere questo ricco patrimonio culturale accessibile tramite una web-app, che permetta agli utenti di scoprire percorsi culturali e storici.

In questo modo, il progetto non solo valorizza il patrimonio costiero della Calabria Ultra, ma promuove anche un turismo lento e sostenibile, incoraggiando la scoperta e la valorizzazione del territorio e della sua storia millenaria. La realtà aumentata, in questo caso, permette di "riportare in vita" le torri, permettendo agli utenti di visualizzare le ricostruzioni storiche direttamente nel loro contesto geografico originario. Attraverso l'AR, i visitatori possono osservare le differenti ubicazioni delle torri e le relative connessioni con l'ambiente circostante. La sovrapposizione di informazioni digitali nello spazio reale consente agli utenti di "vedere" strutture e connessioni non più esistenti, offrendo una comprensione più profonda della storia e della funzione di questi edifici nel paesaggio costiero. Nel caso delle "geometrie dello sguardo", la realtà aumentata rende visibile la relazione tra le torri costiere e i paesaggi che presidiavano. La visione contemporanea del paesaggio attraverso l'AR potrebbe consentire di visualizzare, ad esempio, gli angoli di visibilità che le torri avevano nel passato, mostrando agli utenti come queste costruzioni permettessero di monitorare la costa e le rotte marittime. La visualizzazione in AR, oltre ad unire i legami delle torri passate, lega queste ultime alle strutture attuali, offrendo una narrazione visiva "ponte" tra il passato e il presente.

Ciò favorisce una comprensione più completa della rete di comunicazione e difesa che un tempo legava queste torri, oltre a generare un nuovo indirizzo per la valorizzazione del territorio attraverso il turismo culturale.

Il tour delle coste di Calabria ultra attraverso le pagine del *Codice Romano Carratelli* è solo una delle possibili narrazioni che possono legarsi al paesaggio e al *Cultural Heritage* conferendo quindi al caso studio valore di generalità in quanto la medesima metodologia di lavoro può essere applicabile ad altri casi studio e ad altre esperienze narrative.

Contributi degli autori

Pur condividendo quanto espresso nel contributo, frutto di riflessioni comuni, i paragrafi 1 e 2 sono da attribuirsi a Nicola La Vitola, i paragrafi 3 e 4 a Sonia Mollica.

Bibliografia

Albisinni, P. & De Carlo, L. (a cura di). (2011). *Architettura disegno modello. Verso un archivio digitale dell'opera di maestri del XX secolo*, Roma, Gangemi.

Aris, C. M. (2007). *La cèntina e l'arco. Pensiero, Teoria e Progetto in Architettura*, Milano, Christian Marinotti Edizioni.

Bauman, Z. (2014). *Vita liquida*, Bari, Editore Laterza.

Bianchi A. & Saeli T. (2015). "Codice Romano Carratelli". In: Rodriguez-Navarro P. (a cura di). *Defensive Architecture of the Mediterranean. XV to XVIII centuries*, Editorial Universitat Politecnica de Valencia, Vol. I, pp. 11-14.

Bozzato, S. & Bandiera, G. (2019). *Paesaggi costieri della città del Mediterraneo, narrazioni di pietra e d'acqua*, Roma, Università La Sapienza.

Culotta, P. & Sciascia, A. (2008). *Archivi dell'architettura del XX secolo in Sicilia*, Palermo, L'Epos.

Google (2019) *Google terms of service*, available at: https://policies.google.com/terms?hl=en-US (Accessed: 29 April 2020).

Governa, F. (1999). *Il milieu urbano. L'identità territoriale nei processi di sviluppo*, Torino, Codice edizioni.
Gurioli, E. & Mesturi, G. (2011). *Torri costiere del Mediterraneo. Storie, popoli, battaglie*, Milano, Gribaudo.
Magnani, E. & Pistocchi, F. (2019). Fari, edifici costieri e identità transnazionale lungo i cammini europei. In: Salvatori F. (a cura di). *L'apporto della geografia tra rivoluzioni e riforme*, Genova, A.Ge.I editore, p. 155.
Martorano, F. (2015). *Progettare la difesa. Rappresentare il territorio*, Reggio Calabria, Centro stampa di Ateneo di Reggio Calabria.
Mc Luhan, M. (1964). *Gli strumenti per comunicare*, Milano, Il Saggiatore.
Morin, E. (1958). *Le cinéma ou l'homme imaginaire: Essai d'anthropologie sociologique*, Milano, Minuit.
Ostrom, E. (2006). *Governing the Commons. The Evolution of Institutions for Collective Action*, Cambridge, Cambridge University Press.
Pollice, F. & Rinaldi, C. (2012) *La valorizzazione del patrimonio culturale in Italia*, available at: https://www.unisalento.it/documents/20152/1868834/1+Valorizzazione+risorse+culturali.pdf/63788c4c-b87f-1b30-5948-f1d0b98b51fc?version=1.0 (Accessed: 17 October 2024).
Rossi, P. G. (2013). Realtà aumentata e mediazione didattica. In: Persico D. & Midoro V. (ed.) *Pedagogia nell'era digitale*, Ortona, Ortonamenabò, pp. 73-76.
Sloterdijk, P. (2002). *L'ultima sfera. Breve storia filosofica della globalizzazione*, Roma, Carocci editore.
Turri, E. (2011). *Il paesaggio come teatro. Dal territorio vissuto al territorio rappresentato*, Venezia, Marsilio.
Vallega, A. (2003). The coastal cultural heritage facing coastal managment. *Journal of Cultural Heritage*, 4(1), 5-24.
Venturi Ferriolo, M. (2009). *Percepire paesaggi. La potenza dello sguardo*, Torino, Bollati Boringhieri.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20366

Esperienze digitali immersive per il patrimonio culturale: il caso studio del Forte di Fortezza e dei suoi armamenti

Alessandro Luigini[a], Giuseppe Nicastro[a], Michela Ceracchi[a], Maria Menendez-Blanco[a], Roberta Cuel[b], Francesca Condorelli[a]

[a] Libera Università di Bolzano, Bolzano, Italia, alessandro.luigini@unibz.it, giuseppe.nicastro@unibz.it, michela.ceracchi@unibz.it, maria.menendezblanco@unibz.it, francesca.condorelli@unibz.it, [b] Università di Trento, Trento, Italia, roberta.cuel@unitn.it

Abstract

The Forte di Fortezza is an important historical military site in South Tyrol, which is currently musealized and accessible to the public. The research project, taking advantage of the opportunities offered by digitization and augmented heritage technologies, intends to give back to the user visiting the complex a usable Augmented Reality experience that integrates the most current heritage digitization technologies and reproductions by 3D printing of 1:1 scale models of the artillery originally planned for the fort.

Keywords: digital cultural heritage, 3D print, augmented reality, virtual reality**.**

1. Introduzione

Il Forte di Fortezza si configura come uno dei più importanti siti storici militari presenti in Alto Adige. Presidio dell'Esercito Italiano, il complesso è stato inaccessibile al pubblico per molto tempo: oggi il sito è di proprietà della provincia di Bolzano e nel 2017 è diventato un museo provinciale, entrando a far parte dell'azienda dei musei provinciali.

Per la realizzazione del forte venne incaricato l'ingegnere militare Franz von Scholl e nel 1833, sotto il regno dell'Imperatore Francesco I, furono avviati i lavori di costruzione: il progetto si configura come un esempio notevole di ingegneria militare nonché uno degli ultimi esempi di fortificazioni di superfice. Nonostante la sua realizzazione operata in tempi molto brevi, la struttura non è mai stata impiegata in azioni belliche: a causa della fine delle ostilità l'artiglieria che avrebbe dovuto difendere la struttura non è mai stata installata, così la sua funzione militare non si è mai pienamente realizzata. Il complesso, infatti, presenta numerose postazioni di artiglieria per le quali erano già stati definiti sia il numero che le tipologie di cannoni da installare, come testimoniato dalle distinte degli ordini rintracciabili negli archivi del Forte.

Pochissime postazioni furono rese operative soltanto durante le successive guerre del 1848 del 1859 e del 1866, e ben presto si decise di spostare i pochi armamenti presenti su altri fronti militari. Di fatto il Forte non è mai stato teatro di battaglie in nessuna delle guerre che lo hanno visto impegnato, seppur con diverse funzioni.

Nel corso della storia il sito ha subito varie modifiche funzionali al suo originario utilizzo.

La sua funzione iniziale era quella di proteggere le vie di comunicazione della val Pusteria e della via del Brennero; successivamente la struttura è stata impiegata come deposito durante la Prima guerra mondiale, fortezza difensiva durante la Seconda guerra mondiale, polveriera durante la guerra fredda e, infine, attrazione turistica negli anni più recenti (Fontana, 2018; Massimo, 2007).

BY-NC-SA

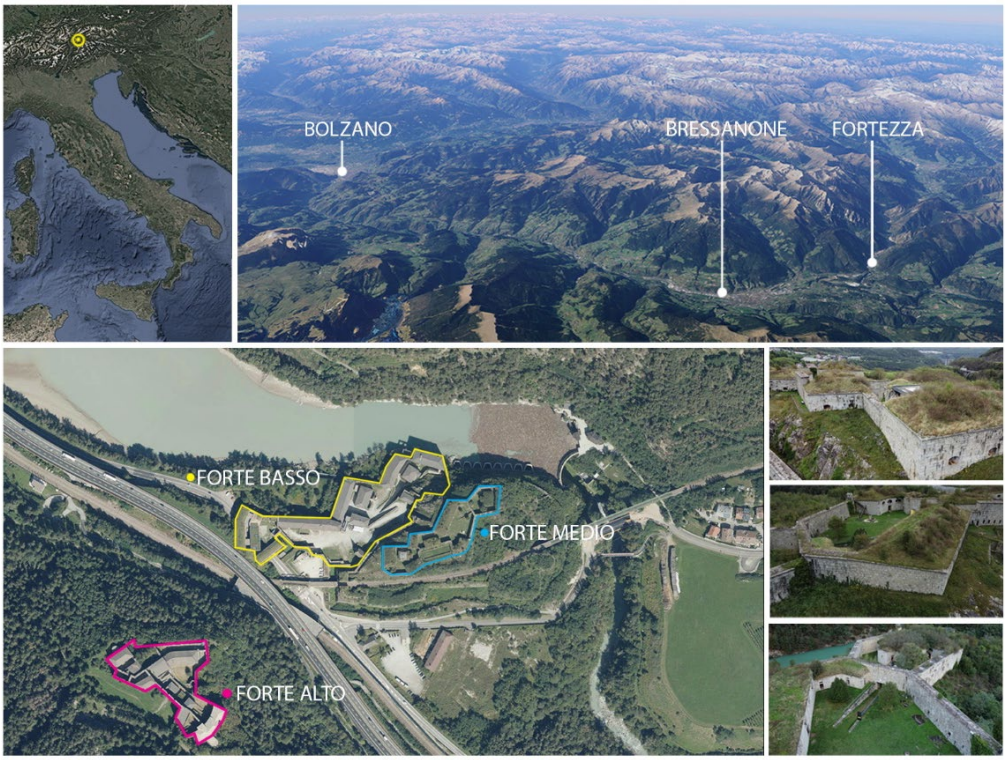


Fig. 1- Inquadramento dell'area oggetto di studio.

Attualmente il Forte di Fortezza è stato musealizzato e presenta una porzione estesa adeguata a installazioni di mostre temporanee, prevalentemente di arte contemporanea.

Il progetto di ricerca (1), sfruttando le opportunità offerte dalle tecnologie di digitalizzazione e fruizione aumentata del patrimonio culturale, intende restituire all'utente in visita al complesso una configurazione storica originaria, mai realizzata ma fondamentale per la comprensione del complesso, visto lo stretto rapporto, in questi casi, tra architettura e armamenti. Con questo obiettivo si procederà all'implementazione di un'esperienza fruibile in Realtà Aumentata che integri le più attuali tecnologie di digitalizzazione del patrimonio culturale e le riproduzioni mediante stampa 3D di modelli in scala 1:1 della artiglieria prevista per il Forte. Come è noto, infatti, la AR rende possibile la sovrapposizione di un *layer* digitale ad una scena reale ampliandone la sua comprensione e rendono possibile la visualizzazione di ipotesi interpretative inedite; allo stesso tempo, le *embodied experiences* proprie di tecnologie quali la Realtà Virtuale, collocando l'utente al centro dello spazio digitale, offrono l'opportunità di sviluppare narrazioni più ampie del patrimonio. Infine, il progetto intende sottolineare come nelle diverse fasi storiche il forte si sia trasformato da *luogo di guerra* a *luogo di pace* fortemente integrata nel territorio: infatti, il luogo è ora sede di mostre d'arte contemporanea che mettono in discussione le attuali sfide socioeconomiche delle società occidentali, come il controllo del territorio, l'immigrazione, la distribuzione del potere e la disuguaglianza.

2. Il rilievo del forte di Fortezza

Il Forte di Fortezza si configura come un articolato complesso contraddistinto dalla presenza di tre blocchi autonomi che dividono l'aria in altrettante unità architettoniche (Fig. 1): il forte basso (*Talwerk*), dal quale è possibile accedere all'intero complesso, il forte medio (*Mittelwerk*, oggetto della campagna di rilievo qui descritta) ed il forte alto (*Höhenwerk*) collegato alla struttura sottostante da una scalinata di oltre 400 gradini.



Fig. 2- La campagna di digitalizzazione del Forte.

Attualmente, ognuna delle tre unità che compongono l'intero sistema vede la presenza di ampi spazi recintati sui quali insistono gli edifici destinati allo svolgimento delle funzioni militari: in particolare, il forte medio è costituito da un insieme di tre recinti murati collegati tra loro che consentivano la successiva difesa in caso di attacco nemico. Proprio in virtù di questa distribuzione spaziale che rende di fatto autonome le tre unità (erano previste cisterne e alloggi per ognuna delle tre parti del Forte), si è potuto progettare una campagna di rilievo che prendesse avvio dalla parte mediana del complesso, come porzione autonoma dell'intero sistema militare: l'obiettivo di questa prima fase di digitalizzazione è stato quello di acquisire tutti i dati utili a descrivere le caratteristiche geometriche del forte medio con un particolare approfondimento per due delle principali casematte al centro di questa porzione di struttura.

La metodologia di rilievo scelta ha visto l'integrazione fra le tecnologie di acquisizione laser scanning per la cattura dei dati morfometrici ed una campagna fotografica speditiva SfM per la documentazione delle caratteristiche materiche delle architetture analizzate (Fig. 2): la possibilità di creare modelli 3D fotogrammetrici ha permesso di utilizzare i dati acquisiti per progettare strategie di comunicazione del valore del bene indagato che possono oggi fruire di una vasta gamma di dispositivi (smartphone, tablet, visori, etc.), concentrando la propria attenzione sui linguaggi propri della realtà aumentata. Il rilievo metrico di dettaglio delle architetture è stato eseguito mediante laser scanner 3D *Leica Blk 360 G1* (si rimanda alla tabella allegata in fig. 3 per un approfondimento sulle caratteristiche e il numero di scansioni eseguite).

Affiancata all'utilizzo del laser scanner, la metodologia di rilievo fotogrammetrico speditivo SfM è stata impiegata allo scopo di generare nuvole di punti che, accanto al dato metrico, fossero in grado di restituire anche gli aspetti relativi al colore dei materiali e dei rivestimenti: l'acquisizione di point cloud comprensive del dato relativo al colore saranno utili nella successiva fase di creazione dei modelli 3D provvisti di texture fotorealistiche.

DATASHEET					
LASER SCANNER				*STRUCTURE FORM MOTION*	
SCANNER	**Leica BLK 360 G1**			DRONE	Dji Mavic mini 2
RANGE	Up to 60 m			VIDEO RESOLUTION	2k@60fps
				FRAME RATE EXTRACTION	36 fps @1080p
CAMERA	Full dome: 30 images, auto spatial ratification, 150 Mp			TOTAL FRAMES PROCCESED	860
SCAN PARAMETERS				PROCESSING	
	FAST	STANDARD	HIGH DENS.	ALIGNMENT	High
	35 mm@10 m	10mm@10 m	5 mm@10 m		
	3 mln ps./scan	18 mln ps./scan	65 mln ps./scan	MESH (DEPHT MAP)	Utra High
SCAN DURATION (full col.)	1:40	2:50	03:40		
SCANS ACQUIRED	50	130	60	TEXTURE	High
TOTAL			**240**		

Fig. 3- Datasheet della campagna di rilievo.

Il Forte di Fortezza, così come ci si aspetterebbe da una struttura militare di quell'epoca, presenta un perimetro esterno formato da ampie mura che insistono su profondi fossati. Per questo la metodologia di rilievo adottata per poter acquisire tutto il perimetro esterno dell'edificato, ha necessitato l'impiego di un aeromobile a pilotaggio remoto (DJI Mavic mini 2) per la cattura e successiva elaborazione di dataset aerofotogrammetrici. Al fine di ottenere il giusto grado di risoluzione del rilievo, si è ritenuto opportuno eseguire una serie di voli circolari intorno alla fortezza a velocità costante, variando progressivamente la quota altimetrica di volo.

La camera è stata impostata in modalità video (ad una risoluzione di 2k e 60 fps) in maniera tale da poter ottenere 60 riprese fotografiche al secondo: in questo modo l'operatore può occuparsi esclusivamente della gestione delle fasi di volo avendo un flusso continuo di riprese video da cui, successivamente, estrapolare i frame per l'elaborazione fotogrammetrica.

Alla fine di ogni volo, una prima verifica *in situ* delle immagini catturate ha permesso di valutare la buona qualità delle prese fotografiche e l'eventuale necessità di ripetere l'acquisizione nel caso di dati mancanti o insufficienti.

Terminata la campagna di acquisizione si è potuto procedere alla verifica preliminare dei dati, utile sia alle operazioni di archiviazione dei file originali, sia ad una prima selezione dei dati da elaborare nelle successive fasi di registrazione della nuvola di punti.

3. La ricostruzione digitale degli armamenti

A partire dalle distinte degli ordini rintracciabili negli archivi del Forte è stato possibile individuare i tipi di armamenti che erano previsti per la collocazione all'interno delle casematte che compongono il complesso architettonico, le cui ricostruzioni digitali possono diventare i contenuti da implementare nell'esperienza di ricostruzione virtuale della configurazione storica originaria del Forte.

Non avendo a disposizione esemplari originali dei cannoni elencati in questi documenti, le uniche fonti a disposizione per la loro ricostruzione digitale sono una fotografia storica del XIX secolo nella quale un gruppo di soldati posa accanto a due cannoni nel cortile del Forte e alcuni disegni di progetto di cannoni tipologicamente affini ad essi (Fig. 4).

Considerando il materiale originale a disposizione per la ricostruzione digitale si è deciso di procedere su due fronti: da una parte è stata applicata una metodologia sperimentale di fotogrammetria e IA avanzata finalizzata alla valutazione delle possibilità offerte al giorno d'oggi da queste tecnologie, dall'altra è stata applicata una metodologia di *reverse-modeling* finalizzata alla realizzazione di un prototipo di allestimento multimediale in Realtà Aumentata.

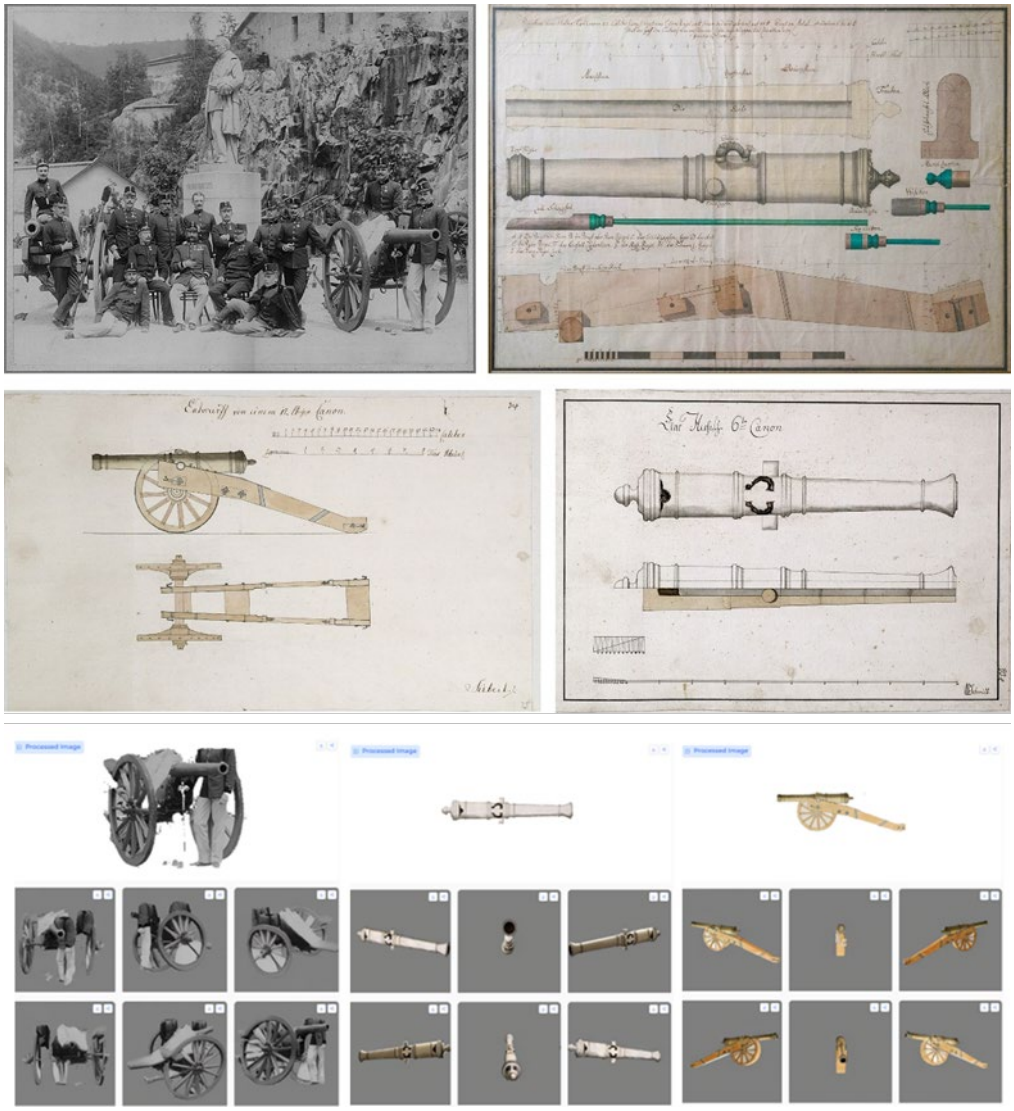


Fig. 4- (In alto) Apparato iconografico disponibile per la ricostruzione digitale degli armamenti: fotografia del XIX secolo scattata nel cortile del Forte di Fortezza; disegni di progetto di cannoni tipologicamente affini dell'Assia. (In basso) Elaborazione di foto e disegni del cannone con IA per l'ottenimento di un modello 3D virtuale.

3.1. Fotogrammetria e IA: metodologia e risultati

La prima metodologia adottata sfrutta i documenti storici, fotografie e disegni, che sono a disposizione e applica tecnologie di fotogrammetria e IA avanzata per l'ottenimento dei modelli. L'accuratezza e la risoluzione dei modelli ottenuti dipendono fortemente dalla qualità e quantità dei dati iniziali. In casi studio simili la ricostruzione 3D è particolarmente sfidante in quanto il *dataset* è formato da una sola immagine. Applicare, quindi, algoritmi standard di fotogrammetria non è possibile, per questo motivo si è ricorso all'applicazione di algoritmi basati su IA in aiuto alla pipeline SfM (Condorelli et al., 2024).



Fig. 2 - A sinistra, processo di *reverse-modeling* di un cannone tipologicamente affine a quelli previsti per l'armamento del Forte negli anni '30 del XIX sec. A destra, replica fisica ottenuta tramite prototipazione rapida.

Per il caso in esame si è implementato l'algoritmo Zero123++ (Shi et al. 2023), un modello di diffusione condizionato che permette di creare immagini 3D a partire da una singola immagine. Per sfruttare al meglio i modelli 2D già addestrati, sono stati sviluppati nuovi metodi di condizionamento e addestramento, riducendo così la necessità di modifiche rispetto ai modelli standard come *Stable Diffusion*. Zero123++ è particolarmente efficace nel produrre immagini multi-vista di alta qualità, soprattutto in relazione ai dettagli. Il primo passo per l'implementazione dell'algoritmo è la preparazione dei dati di ingresso. Le immagini devono essere preparate come immagini RGBA o RGB con sfondo bianco. Dopo la fase di training, la live demo permette di generare nuovi punti di vista di un oggetto all'interno di una singola immagine.

In Fig. 4, in basso, sono riportate alcune immagini del risultato finale in cui si evidenzia che la simmetria dei disegni di progetto del cannone ha sicuramente aiutato l'ottenimento del modello. L'algoritmo ha mostrato invece maggiore difficoltà nel ricostruire il cannone dalla foto storica in quanto la vista di partenza è fortemente scorciata ed è ulteriormente complicata dalla parziale sovrapposizione di persone e oggetti. In ogni caso la ricostruzione di nuove viste rispetto a quella originale è un punto di partenza utile per successive modifiche al modello.

3.2. *Reverse-modeling* per la realizzazione dell'allestimento multimediale

Il secondo approccio metodologico adottato si basa su processi di *reverse-modeling* consolidati finalizzati all'ottenimento di una replica digitale dell'armamento preso in considerazione, la quale può essere utilizzata in ambiente virtuale oppure per la realizzazione di un modello fisico in prototipazione rapida. In particolare, in questa prima fase di elaborazione preliminare si è deciso di ricostruire digitalmente un cannone del tipo di quello che compare sulla sinistra nella fotografia storica del XIX secolo scattata nel cortile del Forte (Fig. 4).

Per procedere in questo senso sono stati presi in considerazione contemporaneamente due dati di diversa origine (Fig. 5, a sinistra): i disegni di progetto originali di cannoni tipologicamente affini a quello preso come riferimento e il modello digitalizzato di un cannone analogo, attualmente conservato alla *Royal Arsenal Riverside* a Woolwich, Londra (2). Il modello così ottenuto (Fig. 5, a destra), nelle sue forme semplificate, può essere ottimizzato per la stampa 3d e impiegato come *model target* per attivare un'esperienza in Realtà Aumentata di tipo *phygital*, descritta nel paragrafo successivo. Lo stesso modello, successivamente, potrà essere ulteriormente dettagliato e texturizzato per l'implementazione in esperienze multimediali di

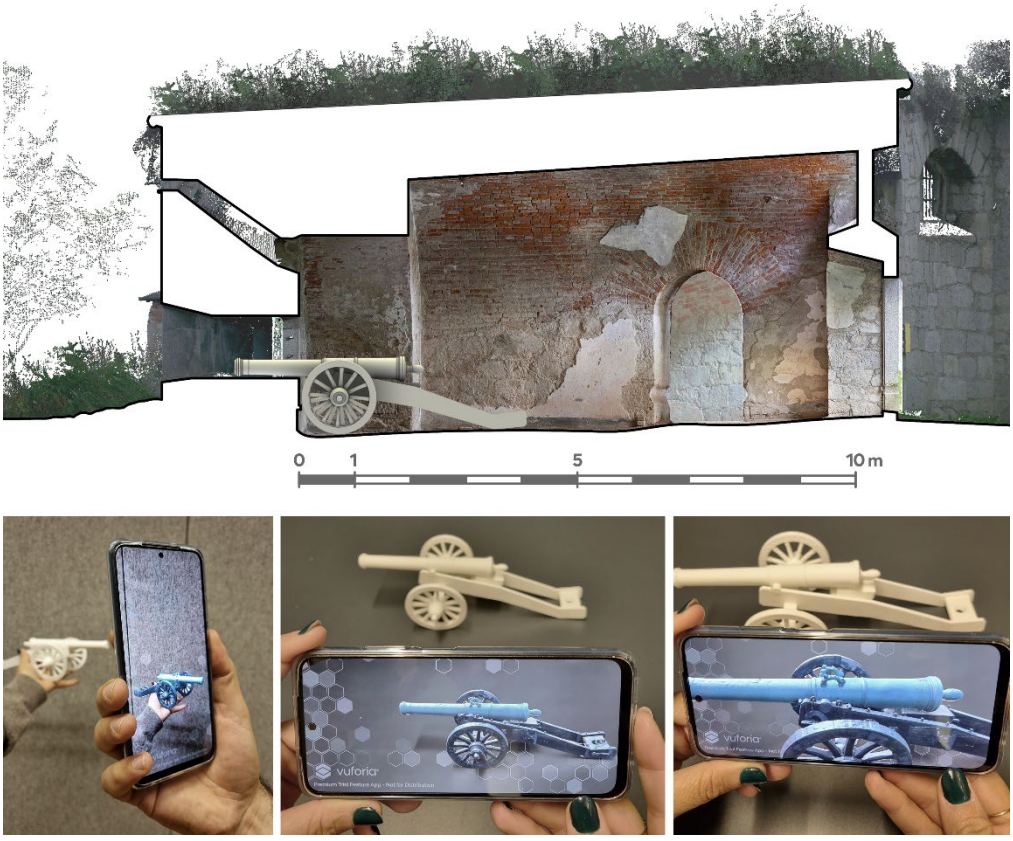


Fig. 3- In alto, ipotesi di allestimento della replica del cannone in scala 1:1 all'interno di una delle casematte del Forte medio. In basso, esperienza d'uso dell'applicazione in Realtà Aumentata che adotta il prototipo del cannone in scala 1:10 come *model target.*

altra natura, come ad esempio applicazioni in Realtà Virtuale che richiedono modelli digitali più leggeri per l'ottimizzazione delle risorse.

4. Allestimenti multimediali in Extended Reality

Negli ultimi anni si è sempre più sviluppata la ricerca che coniuga processi formativi e tecnologie di fruizione del patrimonio in ambienti digitali (Champion, 2016; Luigini & Panciroli, 2018; Challenor & Ma, 2019; Hu & al. 2019) tanto che questo connubio è ormai consolidato, seppur in continuo e rapido aggiornamento visto l'altrettanto continuo avanzamento delle tecnologie digitali.

Le nuove forme di rappresentazione dell'*Extended Reality* consentono al giorno d'oggi di realizzare allestimenti multimediali nei quali il mondo reale e quello virtuale possono interagire secondo diverse modalità. Nell'intento di fornire ai visitatori del Forte un'esperienza multimediale diversificata, si ipotizzano diversi allestimenti che adottano diverse tecnologie che rientrano nell'Extended Reality, con diversi gradi di virtualità (3). Un *virtual tour* su piattaforma web, ad esempio, consentirebbe al visitatore di visualizzare in Realtà Virtuale in remoto o sul posto diversi allestimenti dello stesso ambiente delle casematte, con la possibilità di navigare tra la ricostruzione virtuale dello stato originale con le casematte armate oppure tra i diversi allestimenti museali che si sono susseguiti negli anni e che hanno fatto del Forte un *luogo di pace*. Un'alternativa maggiormente correlata al mondo tangibile, invece, potrebbe essere quella di sviluppare un'applicazione in Realtà Aumentata *site-specific* adottando l'ambiente della casamatta

come *area target* e visualizzando in AR lo stato originale con gli armamenti collocati nella posizione prevista. Infine, la soluzione che maggiormente consentirebbe un'interazione tra mondo reale e virtuale, sarebbe un'esperienza in Realtà Aumentata di tipo *phygital* nella quale la riproduzione fisica del cannone e di altri armamenti leggeri in scala 1:1, collocati nell'ambiente della casamatta nella posizione prevista (Fig. 6, in alto) funzionerebbe contemporaneamente come replica tattile dell'oggetto originale e come *model target* attraverso cui attivare il riconoscimento in AR che consente di visualizzare il contenuto digitale strettamente coeso ad esso.

In questa sede si presentano i primi risultati ottenuti riguardo al prototipo dell'ultimo allestimento multimediale ipotizzato (Fig. 6, in basso). Per validare l'efficacia di questo tipo di allestimento è stata sviluppata un'applicazione in Realtà Aumentata che adotta la replica fisica in scala 1:10 del cannone precedentemente ricostruito digitalmente come *model target* per attivare il modello fotogrammetrico del cannone adottato come riferimento nella fase di ricostruzione (4). Si ipotizza che la possibilità di toccare con mano la replica fisica sul posto e visualizzare in Realtà Aumentata il gemello digitale dell'armamento originale, fornisca al visitatore un'esperienza emotiva importante e l'inserimento di ulteriori contenuti informativi e descrittivi consentirebbe di ampliare il portato conoscitivo e educativo di questa esperienza.

5. Allestimento, narrazione e business model

L'esperienza AR sviluppata per il Forte consentirà ai visitatori di visualizzare le installazioni di artiglieria come apparivano nel progetto originale, offrendo così una comprensione più completa del significato storico e architettonico del sito. In linea con l'approccio interdisciplinare del progetto, il design della narrazione affronterà le qualità interattive e design, di apprendimento e di business dell'intervento.

Da un punto di vista interattivo, il design dell'interfaccia sarà creato utilizzando le principali metriche di qualità dell'interazione persona-computer, ovvero accessibilità, usabilità ed esperienza utente (Preece et al. 2015). L'accessibilità si riferisce alla capacità di un prodotto o servizio di essere utilizzato da tutti, indipendentemente dal modo in cui interagiscono con esso. Sebbene esistano leggi a sostegno delle persone con disabilità, questo progetto affronta la tecnologia dal punto di vista della progettazione inclusiva universale (Abascal & Nicolle, 2005). Ciò significa che la disabilità non è una qualità di una persona, ma ciò che accade quando una persona interagisce con il mondo in un contesto.

Da questo punto di vista, i designers e sviluppatori di tecnologie devono mirare a rendere il loro lavoro inclusivo per tutti i possibili utenti attraverso diverse caratteristiche personali, siano esse permanenti (ad esempio, una persona ipovedente) o situazionali (qualcuno che guarda uno schermo scuro in una giornata di sole).

L'usabilità è la metrica della qualità che misura quanto un utente specifico in un contesto specifico possa utilizzare una tecnologia per raggiungere un obiettivo definito in modo efficace, efficiente e soddisfacente (Preece et al., 2015). La user experience (UX) aggiunge "hedonic qualities" a un'interazione efficace, misurate in termini di estetica, simbolismo e piacere/divertimento (Hassenzahl & Tractinsky, 2006). Anche se queste metriche di qualità sono state le pietre angolare della progettazione e della valutazione delle tecnologie in campi come l'interazione persona-computer, ricerche recenti mettono in discussione l'enfasi posta sulle tecnologie interattive efficaci e piacevoli.

Questo gruppo di lavori suggerisce di abilitare esperienze eudemoniche, che non mirano a fornire un piacere immediato ma un significato duraturo (Mekler & Hornbæk, 2016). Un esempio potrebbe essere l'uso della VR per evocare "the overview effect" (cioè, la sensazione di interconnessione e responsabilità verso il nostro pianeta e i suoi abitanti descritta dagli astronauti dopo aver visto la Terra durante i voli spaziali) per promuovere le emozioni e la cura per il nostro pianeta (Scurati, 2023).

Dal punto di vista dell'apprendimento, il miglioramento dell'offerta permettendo di offrire esperienze digitali interattive, consente di aumentare il valore percepito dal visitatore, rendendo la fruizione e l'esperienza di visita più coinvolgente e stimolante.

Dal punto di vista delle scienze dell'educazione, l'apprendimento nei musei è una forma di apprendimento situato (Lave e Wenger, 2006) in

cui è possibile accedere a una varietà di conoscenze, offrendo opportunità di apprendimento che aumentano l'interesse degli individui verso le conoscenze accumulate nei musei, consentendo loro di interagire con artefatti virtuali e di entrare in contatto concreto e sostanziale con gli artefatti del museo. Studi recenti dimostrano che la tecnologia, utilizzata in modo innovativo, stimola curiosità e interesse, rispondendo a bisogni informativi personalizzati, specialmente tra i giovani, offrendo loro esperienze sia educative sia divertenti. La cultura digitale funge da strumento di mediazione, permettendo la creazione e partecipazione tramite piattaforme convergenti (Andre & Durksen & Volman, 2017). In particolare, i siti del patrimonio culturale e museale possono beneficiare di queste dinamiche, utilizzando strategie che incoraggiano la co-creazione e un coinvolgimento attivo dei visitatori, rispondendo alla ricerca di esperienze stimolanti e immersive, sia fisiche che virtuali, trasformando così i visitatori in esploratori attivi del patrimonio.

Dal punto di vista del business, l'adozione di tecnologie avanzate nel settore delle industrie creative e culturali ha aperto nuove strade per la valorizzazione dei beni culturali. In particolare, le tecnologie 3D, VR e l'AR (o in sintesi XR) possono non solo arricchire il percorso esperienziale del visitatore ma cambiarne la natura, supportando anche la vera e propria trasformazione digitale del settore (Li, 2020). Per trasformazione digitale si intende infatti il percorso di integrazione delle tecnologie innovative in tutte le aree organizzative, rigenerando i processi di gestione museale tradizionali, e imponendo un cambiamento culturale volto all'accettazione dell'innovazione e alla promozione della collaborazione (Vial, 2021). In altre parole, il Forte di Fortezza non solo migliora il percorso di visita attraverso esperienze immersive che arricchiscono la percezione e la comprensione del patrimonio storico, ma potrà sviluppare nuove fonti di valore e servizi innovativi online e offline (Izzo, 2017). In termini economici, l'integrazione di tecnologie immersive attira un pubblico più ampio e diversificato, con un particolare richiamo per giovani e famiglie, spesso più interessati a modalità interattive di apprendimento e intrattenimento. La scalabilità dei contenuti digitali favorisce inoltre un ampliamento del pubblico a livello internazionale, poiché tali esperienze possono essere accessibili a distanza mediante applicazioni e piattaforme digitali, contribuendo a una fruizione del patrimonio culturale senza confini geografici e linguistici. Questo approccio permette non solo di preservare e diffondere la conoscenza, ma anche di reinterpretare e innovare la narrazione storica attraverso modalità tecnologiche avanzate, trasformando l'esperienza culturale in un processo dinamico. Inoltre, l'innovazione nella creazione culturale stimola nuove modalità di monetizzazione dei contenuti, creando flussi di reddito sia dalle visite in loco che dalla fruizione virtuale. Anche la destinazione d'uso di strutture architettoniche, come le casematte interessate dal nostro processo di digitalizzazione, può essere reinterpretata per offrire punti di vista inediti, aumentando l'attrattiva del sito e stimolando un'interazione più profonda tra il visitatore e il contesto storico-culturale. In ambienti particolari, la gestione dei servizi può beneficiare dell'uso di sistemi digitali che riducono l'esposizione diretta delle opere a condizioni ambientali dannose o che ne permettono la riproduzione 3D degli artefatti con materiali meno costosi sia a grandezza naturale sia ridotte per garantire allo stesso tempo una esperienza tattile ed immersiva nell'ambiente e degli strumenti di apprendimento per gli ipovedenti.

Note

(1) Riconoscimenti: questa ricerca viene condotta nell'ambito delle attività di ricerca PNRR del consorzio iNEST (Interconnected North-East Innovation Ecosystem) finanziato dall'Unione Europea Next-GenerationEU (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) - Missione 4 Componente 2, Investimento 1.5 D.D. 1058 23/06/2022, ECS_00000043 – CUP I43C22000250006). Questo manoscritto riflette solo il punto di vista e le opinioni degli Autori, né l'Unione Europea né la Commissione Europea possono essere considerate responsabili.

(2) Il modello "Saxony Demi Cannon" (https://skfb.ly/6WOVw) è stato realizzato dall'utente artfletch ed è rilasciato sotto licenza Creative Commons Attribuzione (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Le foto sono state scattate nel 2019 con una Sony α6000 e processate nel software Reality Capture.

(3) (Nei futuri sviluppi della ricerca si prevede di realizzare le diverse ipotesi di allestimento con l'obiettivo di compararne vantaggi e svantaggi in termini di sostenibilità di realizzazione ed efficacia nell'ambito della comunicazione con i fruitori e dell'educazione al patrimonio culturale.

(4) Il modello fotogrammetrico originale è stato epurato di alcuni elementi decorativi non coerenti con l'associazione al Forte di Fortezza. Nei futuri sviluppi della ricerca si prevede di condurre ulteriori indagini per individuare l'odierna collocazione degli esemplari originali, con il fine di digitalizzarli. Ciò consentirebbe di adottare direttamente gli esemplari originali come riferimento nella fase ricostruttiva e di usare i relativi modelli fotogrammetrici come contenuti da visualizzare in Realtà Aumentata.

Bibliografia

Abascal, J., & Nicolle, C. (2005). Moving towards inclusive design guidelines for socially and ethically aware HCI. *Interacting with computers*, 17 (5), 484-505.

Andre, L., Durksen, T., & Volman, M. L. (2017). Museums as avenues of learning for children: A decade of research. *Learning Environments Research*, 20, 47-76.

Challenor, J., Ma, M. (2019) A Review of Augmented Reality Applications for History Education and Heritage Visualization. *Multimodal Technologies Interact*, 3, 39.

Champion E. (2016) Critical Gaming: Interactive History and Virtual Heritage. Routledge, New York/ London.

Condorelli, F. & Perticarini, M. (2024). Comparative Evaluation of NeRF Algorithms on Single Image Dataset for 3D Reconstruction. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVIII-2-2024, 73–79, https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-2024-73-2024

Fontana, N. (2018). Il sistema fortificato tirolese come fattore di militarizzazione del territorio. *Turris Babel,* 111, 33-65.

Hassenzahl, M., & Tractinsky, N. (2006). User experience-a research agenda. *Behaviour & information technology*, 25(2), 91-97.

Hu, X., Ng, J., Lee, J.H. (2019) VR creation experience in cultural heritage education: A preliminary exploration. *Proceedings of the Association for Information Science and Technology*, 56, 422-426.

Izzo, F. (2017) *Musei e tecnologie: valorizzare il passato per costruire il futuro*. Cedam.

Lave, J., & Wenger, E. (2006) *L'apprendimento situato. Dall'osservazione alla partecipazione attiva nei contesti sociali.* Edizioni Erickson.

Li, F. (2020). The digital transformation of business models in creative industries: A holistic framework and emerging trends. *Technovation*, 92, 102012.

Luigini, A. & Panciroli, C. (2018), (eds.) *Ambienti digitali per l'educazione all'arte e al patrimonio*. Milano: FrancoAngeli. ISBN: 9788891773333.

Massimo, D. (2007). *La Fortezza*. Brixen, Weger.

Mekler, E. D., & Hornbæk, K. (2016). Momentary pleasure or lasting meaning? Distinguishing eudaimonic and hedonic user experiences. In: *Proceedings of the 2016 chi conference on human factors in computing systems*, New York, Association for Computing Machinery, pp. 4509-4520.

Preece, J., Rogers, Y., Sharp (2015). *Interaction Design: Beyond Human-computer interaction*. Wiley.

Scurati, G. W., Dozio, N., Ferrise, F., & Bertoni, M. (2023). Beyond the overview effect: a virtual reality experience for sustainability awareness in decision-making. *Proceedings of the Design Society*, 3, 777-786.

Shi, R., Chen, H., Zhang, Z., Liu, M., Xu, C., Wei, X., Chen, L., Zeng, C., Su, H. (2023). Zero123++: a Single Image to Consistent Multi-view Diffusion Base Model, https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.15110.

Vial, G. (2021). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *Managing digital transformation,* 13-66.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20367

The Montalbano Fortress, an updated report about a lost fortification in the Gulf of La Spezia

Ludovica Marinaro[a], Giorgio Verdiani[b]
[a] University of Florence, Firenze, Italy, ludovica.marinaro@unifi.it; [b] University of Florence, Firenze, Italy, giorgio.verdiani@unifi.it

Abstract

The following paper is an update for the research on the knowledge about the Montalbano Fortress, a crucial part of the Gulf of La Spezia's XIXth-century fortifications, comprising 42 structures and auxiliary settlements built to protect the maritime Arsenal. This study builds on a presentation at Fortmed 2024, offering expanded documentation of the fortress's architecture. Part of a vast military system developed during the Napoleonic era, La Spezia's defences combined offensive and defensive roles. Declared a military port in 1808, the city was envisioned as an arsenal hub by architect Tagliafichi, though much of the plan remained unrealized. The fortifications included complexes defending both sea and mountains, with the Montalbano Fortress standing out as one of the largest and best-preserved structures. Recently, the Municipality of La Spezia began restoring abandoned fortifications, starting with the Valdilocchi Battery (2019–2022). The Montalbano Fortress is the next focus. This research uses a digital survey to reveal the fortress's complex layout, hidden by overgrowth, and its well-preserved buildings. Highlighting its architectural and environmental significance, the study explores the potential for restoration and reuse as public space. It aims to promote an inclusive, sustainable process for regenerating the landscape and preserving this "lost" historical structure.

Keywords: Liguria, modern warfare, Nature reappropriation, Nineteenth century, abandon.

1. Introduction

Il destino delle fortificazioni è strettamente legato all'evoluzione militare e tecnologica di un territorio, che spesso ne determina l'abbandono o la distruzione. Tuttavia, le fortificazioni del Golfo della Spezia, in Italia, rappresentano un'eccezione (Ambrosi, 1983). Nonostante il loro ruolo strategico durante il XIX e il XX secolo, molte di queste strutture sono state abbandonate e progressivamente assorbite dalla vegetazione, scomparendo dal paesaggio visibile entro pochi decenni (Marinaro, Di Grazia, 2017). Nel periodo napoleonico, La Spezia fu dichiarata porto militare (1808), ma fu tra la fine dell'Ottocento e il Novecento che il golfo assunse un ruolo strategico in diversi conflitti, comprese le due guerre mondiali (Faggioni, 2008). La sua posizione, combinata con un porto militare e un sistema industriale articolato, rese necessaria la costruzione di un complesso sistema difensivo (Marmori, 1976). Vennero realizzate fortificazioni imponenti, dotate di cannoni, obici e mortai, capaci di controllare l'intero golfo (Danese, 2011), sfruttando la morfologia locale. Questo sistema difensivo integrava architettura, rifugi e strade con il paesaggio, trasformando l'area in una vera macchina da guerra (Di Grazia, Marinaro, 2015), celebrata anche in opere futuriste del XX secolo. Tra le strutture principali, il Forte di Montalbano, costruito tra il 1880 e il 1888, occupava una posizione strategica sulla collina omonima (Fig. 1), proteggendo il lato orientale della città, la Valle di Durasca e i monti circostanti. Durante la Seconda

BY-NC-SA

Guerra Mondiale, il forte fu utilizzato attivamente, ma subì gravi danni sia per gli scontri sia per demolizioni intenzionali volte a impedire l'uso dei depositi di munizioni. Dichiarato bene di interesse culturale nel 2012, oggi il forte è in parte nascosto dalla vegetazione e in condizioni di avanzato degrado. Il recupero del Forte di Montalbano si inserisce nel contesto degli interventi di riqualificazione del patrimonio militare della zona, come nel caso della Batteria Valdilocchi, restaurata tra il 2019 e il 2022. Entrambi i siti, abbandonati dopo la Seconda Guerra Mondiale, presentavano imponenti strutture in rovina, integrate nel paesaggio naturale (Marinaro, Di Grazia, 2016). Tuttavia, mentre la Batteria Valdilocchi è un edificio unico e ben definito, il Forte di Montalbano comprende un sistema più articolato di strutture distribuite lungo la collina, includendo cortili, piazze e batterie staccate (Fig. 1). Posto a 358 metri sul livello del mare, il forte è circondato da una cinta muraria e suddiviso in diverse aree funzionali, come l'Esplanade Isola Bassa e Isola Alta, progettate per ospitare sei riserve. Il corpo principale, con una pianta pentagonale irregolare e un fossato a sezione "a diamante", è collegato ad altre strutture tramite passaggi e scale. Gli interni, caratterizzati da ampi vani voltati su due livelli, convergono verso un avamposto centrale con aperture per le armi, rivolte verso il fossato asciutto. Oggi, la vegetazione avvolge il forte, rendendolo quasi invisibile sia da lontano sia durante l'esplorazione nell'area. Le spesse mura emergono tra gli alberi solo a distanza ravvicinata, rivelando archi imponenti e passaggi intricati. Nonostante i danni causati dai bombardamenti e dal tempo, le rovine del Forte di Montalbano conservano un fascino unico, testimoniando la storia e l'ingegneria militare del passato.

2. Il forte Montalbano: seconda fase di rilievo

Il primo intervento ha previsto una semplice campagna di ricognizione ed è stato incentrato sulla realizzazione di un tour virtuale, immediatamente portato online che permette la doppia funzione di rendere facilmente visibile anche in aree di più difficile accessibilità e di riattivare un interesse più ampio legato ad una costruzione di grandi dimensioni, ma apparentemente svanita nella boscaglia. Questa prima fare è stata già documentata a presentata nel contesto del convegno Fortmed 2024 (Marinaro e Verdiani, 2024). Con l'attivazione di un appropriato progetto di ricerca supportato dal Comune de La Spezia è stato possibile, nell'autunno del 2024, avviare una completa campagna di rilievo digitale. La struttura principale delle operazioni prevede la copertura tramite Laser Scanner 3D Terrestre (TLS3D) di tutta l'area della fortezza, con una prima sessione dedicata al gruppo di interni che si trovano ad est dei vani devastati dalle esplosioni e che costituiscono il principale volume del complesso. Sono previste tre fasi successive relative ai fronti esterni, ai vani ad ovest del crollo e alle strutture accessorie del complesso. Questa serie di interventi sarà operata nell'arco del 2025 successivamente a specifiche operazioni di riduzione della vegetazione, di pulizia e messa in sicurezza delle strutture presenti.



Fig. 1- Collocazione del Forte di Montalbano nel territorio del Golfo (A. Morongiu, 2024).

2. Rilievo digitale: TLS 3D

La prima sessione di rilievo laser scanner 3d è stata condotta utilizzando una unità terrestre Zoller+Fröhlich Imager 5006h (Fig. 2), dotata di misurazione a variazione di fase e capace di rilevare elementi fino ad una distanza di 80 metri. L'accuratezza di circa due millimetri su materiali normalmente riflettenti e una buona rapidità operativa, corrispondente alla presa di scansioni a risoluzione "media" (fino a 11 milioni di punti totali) in circa un minuto e mezzo con un livello di qualità standard (tripla ripetizione della stessa misurazione) e di scansiono a risoluzione "alta" (fino a 40 milioni di punti totali) in circa tre minuti sempre a qualità standard, rendevano questa strumentazione ben adatta alle operazioni da condurre negli interni della fortezza. Altri due

aspetti rendevano poi questo strumento ben idoneo alla prima fase delle operazioni, la prima riguarda la qualità della scala di grigio prodotta per le nuvole di punti, la sequenza di interni oggetto del rilievo si trova in condizioni di luce molto bassa, se non in quasi totale oscurità.



Fig. 2- L'unità laser scanner 3D in opera al Forte di Montalbano (foto degli autori, 2024).

I vani sono di grandi dimensioni, di conseguenza una presa fotografica finalizzata a integrare la nuvola di punti con colorazioni reali sarebbe dovuta essere eseguita con illuminatori che difficilmente avrebbero restituito una colorazione omogenea, specie nei condotti e nei grandi vani voltati, viceversa rimandando questa problematica alla fase di ripresa fotogrammetrica, l'unità 5006h ha offerto una generosa qualità della scala di grigi, priva di alti contrasti tipici di scanner più recenti ed ha permesso una migliore leggibilità degli apparati murari e una valida interpretazione dei principali fenomeni di degrado e deformazione.

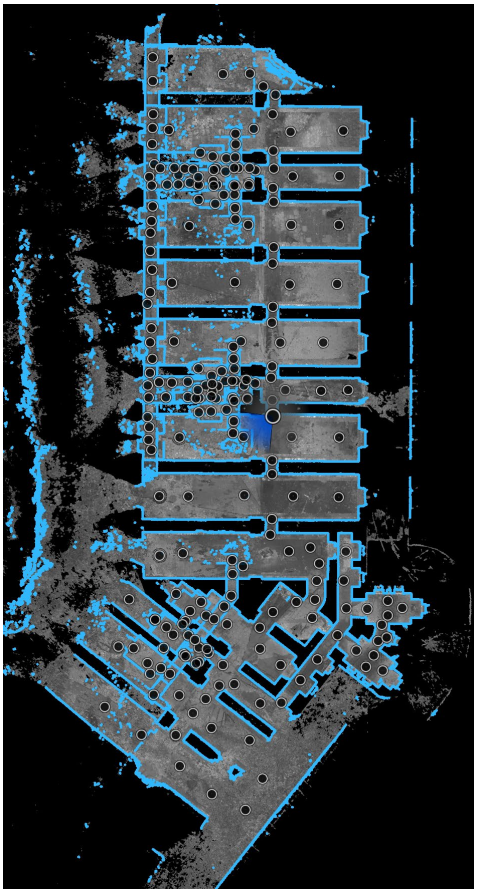


Fig. 3- L'insieme delle 231 scansioni operate nell'agosto 2024 (elaborazione degli autori, 2024).

In secondo, questa unità supporta l'uso di un classico treppiede topografico, semplice e massivo, dotato di struttura e puntali metallici, ben adatto a fissare postazioni stabili nel contesto dissestato delle pavimentazioni rimosse, dei crolli e delle invasioni di fango e detriti. In questa maniera sono state eseguite 231 scansioni totali

(Fig. 3), impostate a risoluzione alta per tutti i grandi vani e a risoluzione media per gli spazi più minuti. La pianificazione ha previsto un intervento sviluppato a partire dall'area del crollo causato dalle esplosioni e secondo un percorso verso est che è stato deviato secondo le scale di accesso agli spazi superiori e inferiori via via che questi venivano incontrati.

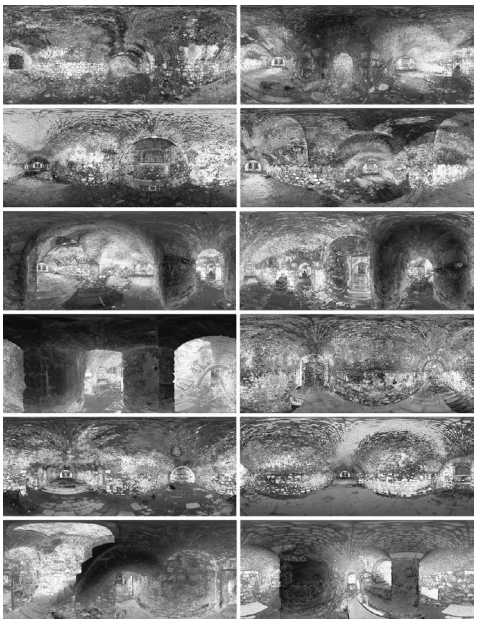


Fig. 4- Alcune delle scansioni TLS visualizzate in proiezione equirettangolare (elaborazione degli autori, 2024).

Questa procedura ha permesso di garantire una buona razionalità nella struttura del rilievo che presentando un certo numero di spazi con struttura molto simile poteva comportare alcune incertezze (sia manuali che automatiche) nella riconoscibilità dei vani specifici al fine della ricomposizione delle singole scansioni. Le scansioni sono state tutte effettuate mantenendo un ragionevole livello di sovrapponibilità e avendo cura di evitare la generazione di spazi occlusione significativi e quindi facilitando le successive operazioni di allineamento.

3. Trattamento del dato ed elaborazioni

Il successivo processo di trattamento del dato è stato quanto mai "classico" e secondo procedure di consolidata praticità. L'insieme delle scansioni effettuate è stato scaricato dall'unità TLS nel formato originale ZFS (Fig. 4), con questo anche il file ZFPRJ contenente informazioni aggiuntive circa ordine originale con cui le scansioni sono state effettuate. L'insieme dei dati è stato quindi importato in Autodesk Recap e allineato con procedura automatica. Al completamento di questa, i vari gruppi generati sono stati allineati con procedura semi-automatica (semplicemente caricando due scansioni parzialmente sovrapponibili tra i due gruppi e facendo riconoscere automaticamente la corrispondenza al software) oppure manuale (indicando tre punti omologhi tra due scansioni parzialmente sovrapponibili per una coppia di gruppi).

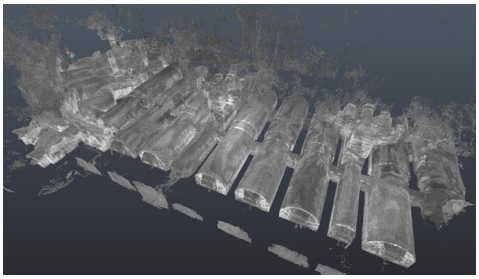


Fig. 5- Vista dell'insieme delle scansioni effettuate allineate (elaborazione degli autori, 2024).

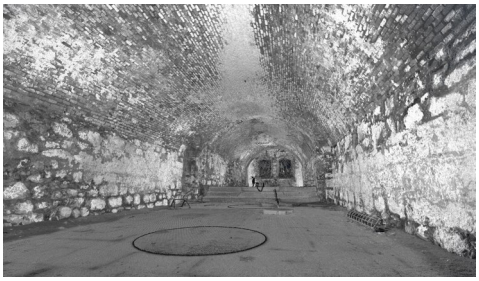


Fig. 6- Vista di uno dei vani interni dalla nuvola di punti complessiva (elaborazione degli autori, 2024).



Fig. 7- Interno di una delle "casermette" dalla nuvola di punti complessiva (elaborazione degli autori, 2024).

Ultimando l'indicizzazione dei file Autodesk Recap ha quindi completato il nuovo sistema di file in un progetto RCP che è stato successivamente gestito nel programma stesso e in Autodesk AutoCAD. La nuvola di punti complessiva è stata quindi salvata in una versione completa (Figg. 5, 6, 7), fedele al dato originale come registrato dall'unità TLS e in una versione sotto-campionata con una griglia ridotta ad un punto ogni otto millimetri di spaziatura.
In questo modo una versione estremamente semplificata (3,25 Gb complessivi di dati contro i 105 GB della versione completa) più leggera e gestibile, è stata predisposta per utilizzo in applicazioni di restituzione come Autodesk AutoCAD, Autodesk Revit, McNeel Rhino 3d, Graphisoft Archicad, ecc. Le successive operazioni in Recap sono state prevalentemente dedicate alla segmentazione del dato di rilievo, all'aggiunta di notazioni, al controllo di quote e dimensioni, alla produzione di vari estratti grafici e multimediali ed alla verifica visiva degli spazi architettonici durante le operazioni di restituzione.



Fig. 8- Pianta del piano terra dell'area rilevata (A. Marongiu, 2024).

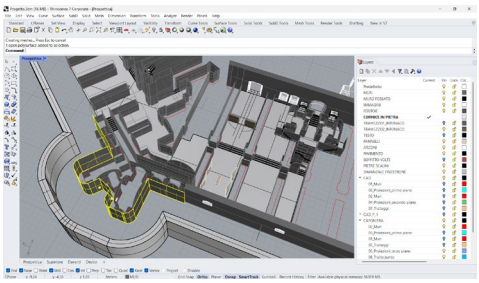


Fig. 9- Fasi di sviluppo del modello preliminare in McNeel Rhino3D (Marongiu, A., 2024).

Il primo passaggio grafico ha visto la ribattitura di un insieme di elaborati tipici, con una sequenza di piante (Figg. 8, 10), una per ognuno dei tre livelli principali e numerose sezioni, condotte una per ogni vano principale e trasversalmente lungo i passaggi principali e nei punti maggiormente significativi. Per condurre la restituzione si è operato direttamente sulla nuvola di punti, caricandola direttamente in Autodesk AutoCAD ed utilizzando le specifiche funzioni per il dato da progetto RCP per visualizzare e gestire le operazioni di ridisegno. Questi disegni hanno definito le sole aree coperte da questa prima fase del rilievo e risultano quindi ancora parziali rispetto agli allineamenti degli esterni e rispetto alle superfici di copertura, ma costituiscono una prima resa chiara e correttamente dimensionata del complesso fortificato così come arrivato nel nostro tempo. Sono risultate subito evidenti alcune difformità rispetto agli elaborati di archivio, basati sulla versione progettata della fortezza e non sul risultato eseguito. Gli elaborati documentano inoltre lo stato di degrado in modo

accurato, con la messa in evidenza dei crolli, delle crepe, delle parti saccheggiate e delle rimanenze di passate discariche. In aggiunta a questa restituzione bidimensionale è stato approntato anche un modello tridimensionale digitale per superfici, essenziale, ma accurato e prodotto a partire dall'insieme di sezioni e linee di sviluppo provenienti dalla nuvola di punti. In questo caso la modellazione è stata condotta in McNeel Rhino 3D (Fig. 9) a partire dall'insieme di tracciamenti grafici estratti dalla nuvola di punti e utilizzati come basi di sviluppo delle superfici rappresentative di volte, pareti, scale ecc.

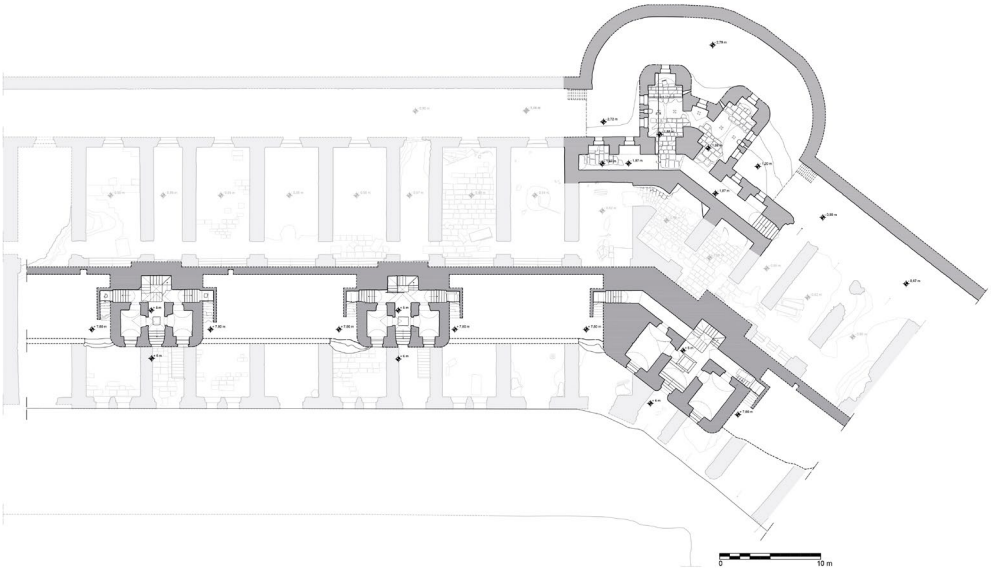


Fig. 10- Piante sovrapposte della caponiera e delle "casermette" (A. Marongiu, 2024).

4. Conclusioni

Il rilievo TLS attuato ad oggi ha messo in evidenza specificità e complessità dell'edificio, stabilendo una prima base di conoscenze utili ad avviare la pianificazione dei possibili interventi di recupero e riqualificazione. Le prossime fasi di rilievo saranno mirate a completare l'insieme della fortezza e verranno attuate appena la vegetazione invasiva sarà stata ridotta con intervento commissionato dal Comune di La Spezia e le aree per ora inaccessibili saranno riportate in condizioni di sicurezza (Fig. 11). La riduzione della vegetazione infestante permetterà inoltre l'accesso alle parti superiori della copertura e agli annessi verso ovest. Ad integrare i rilievi TLS saranno condotti una serie di interventi di fotogrammetria terrestre ed una ripresa drone dell'area, così da completare con ulteriori informazioni circa la forma, le caratteristiche e gli stati di degrado dei materiali in uso nel complesso, nonché di una restituzione fotografica dei fronti esterni e delle parti di copertura, anche per aree altrimenti più difficili all'accesso. Il dato così raccolto andrà a completare gli elaborati già prodotti, con la nuvola di punti ad oggi realizzata a fare da base per l'inserimento delle nuove parti, in modo da evitare disallineamenti tra l'attuale serie di disegni e i successivi completamenti. Una volta portata a termine la nuvola di punti della fortezza questa sarà successivamente elaborata per produrre un modello per uso di tipo H-Bim in Graphisoft Archicad, seguendo un'espressione specifica di preferenza da parte dell'Ufficio Tecnico del Comune di La Spezia, e come già precedentemente fatto nel caso della batteria Valdilocchi e secondo procedure già definite per una estesa varietà del Patrimonio Costruito, come gli elementi di Archeologia Industriale (Biagini, Arslan, 2018), edifici storici riutilizzati in forma museale (Camiz, Capparelli, 2019) e ben adattabili al contesto delle passate strutture militari. In questa maniera, la fortezza completerà una sua fondamentale fase di documentazione, venendo appropriatamente dotata di basi chiare

per stimare ed operare il restauro, il recupero ed il riuso in maniera corretta e conscia, con la messa a disposizione di un rilievo accurato, completo e dettagliato, una condizione ottimale, già verificata nell'efficienza nel caso della batteria di Valdilocchi e applicando soluzioni di intervento idonee al recupero e al rinnovamento del Patrimonio Costruito e paesaggistico del Golfo della Spezia (Marinaro et al. 2016; 2018).



Fig. 11- Scatti dall'area ovest del forte, non ancora accessibile (foto degli autori, 2024).

Fig. 12- QR code per l'accesso alle pagine web con il tour virtuale del forte nel suo stato di marzo 2024 www.didalxr.it/montalbano (elaborazione degli autori, 2024).

5. Crediti

La ricerca sul Forte di Montalbano è il risultato di un Contratto di Ricerca Conto Terzi tra il Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze e il Comune di La Spezia dal titolo "Rilievo e Restituzione Digitale del Complesso della Fortezza Montalbano, sita in Via di Montalbano, La Spezia" e programmata nel periodo 2024-2025, la ricerca, ancora in corso di sviluppo al momento della scrittura del presente contributo, è coordinata dal prof. Giorgio Verdiani, collaborano al gruppo di ricerca la prof. Ludovica Marinaro, Alexia Charalambous e Andrea Marongiu. Le attività di rilievo e restituzione sono state supportate dal Sistema DIDALABS del Dipartimento di Architettura, nello specifico il Laboratorio Extended Realities, il Laboratorio Video e Fotografico per l'Architettura e il Laboratorio di Rilievo dell'Architettura. Gli autori ringraziano sentitamente l'Amministrazione ed il personale del Comune di La Spezia per l'attiva collaborazione e il supporto tecnico e operativo.

Bibliografia

Ambrosi A.C. (1983) *Straviario. tutte le vie grandi e piccole. tutte le piazze belle e brutte della Spezia vecchia e nuova*, Cassa di Risparmio della Spezia, Stabilimento Tipografico Fabbiani, Italia.

Biagini, C., Arslan, P. (2018) Industrial Heritage in the historical neighbourhood: BIM strategies for urban regeneration, in Giordano, A.; Huffman, K., eds., in *Disegnarecon*, Vol. 11, N. 21, Advanced Technologies for Historical Cities Visualization, University of L'Aquila, Italia.

Camiz, A., Capparelli, F. (2019) BIM documentation for architecture and archaeology: the Shipwreck Museum in the Kyrenia Castle, Cyprus, in Conte, A.; Guida, A., a cura di, *Re Uso Matera Patrimonio in Divenire conoscere valorizzare abitare*, Proceedings of Reuso VII Convegno Internazionale sulla Documentazione, Conservazione e Recupero del Patrimonio Architettonico e sulla Tutela Paesaggistica, Dipartimento delle Culture Europee e del Mediterraneo Università degli Studi della Basilicata, Matera, Gangemi, Italia, pp. 1215-1226.

Danese, S. (2011) *Difesa di una piazzaforte marittima: fortificazioni e artiglierie nel Golfo della Spezia dal 1860 al 1945*, Autorità portuale della Spezia, Italia.

Di Grazia, S., Marinaro L. (2015) Fortifications and Landscape System. Geological and geomorphological resilience in the development of the La Spezia Gulf, in Rodriguez Navarro, P., a cura di, *Fortmed 2015. Defensive Architecture of the Mediterranean. XV to XVIII Centuries*, Editorial Universitat Politècnica de Valencia, Spagna, vol. I.

Faggioni, G. (2008). *Fortificazioni in provincia della Spezia: 2000 anni di architettura militare*, Ritter.

Marinaro, L., Danese, S., Carassale, S. (2016). Palmaria. Un passato militare, un futuro Paesaggio. Prospettive per la valorizzazione paesaggistica e architettonica del sistema di fortificazioni dell'isola dopo la sdemanializzazione, in Verdiani, G., a cura di, *Fortmed 2016. Defensive Architecture of the Mediterranean. XV to XVIII Centuries*, Didapress, Italia, vol. IV, pp. 365-372.

Marinaro, L., Di Grazia, S. (2016). La resilienza paesaggistica. Un approccio transdisciplinare alla progettazione, in Verdiani, G., a cura di, *Fortmed 2016. Defensive Architecture of the Mediterranean. XV to XVIII Centuries*, Didapress, Firenze, Vol. IV, pp. 341-348.

Marinaro, L., Di Grazia, S. (2017). Paesaggi Forti. Leggere le forme per riconfigurare i ruoli del sistema di fortificazioni dell'Arsenale Militare del Golfo della Spezia. Il caso di Marola, in Gonzáles Avilés, Á., a cura di, *Fortmed 2017. Defensive Architecture of the Mediterranean. XV to XVIII Centuries*, Editorial Publicacion Universitat d'Alacant, Spagna, vol. VI, pp. 435-440.

Marinaro, L., Reitano, D. & Falqui, E. (2018). Paesaggi sublimi. Un parco per valorizzare il patrimonio paesaggistico militare delle colline del Golfo della Spezia, in Marrotta, A.; Spallone, R., a cura di, *Fortmed 2018. Defensive Architecture of the Mediterranean*, Politecnico di Torino, vol. IX, pp. 1217-1222.

Marinaro, L., Verdiani, G. (2024). The Montalbano Fortress, an early report about a lost fortification in the Gulf of La Spezia, in *Defensive Architecture of the Mediterranean*, Islami, G., Veizaj, D., a cura di, Universiteti Politeknik i Tiranës, Albania, pp. 177-184.

Marmori, F. (1976). *Fortificazioni nel Golfo della Spezia: "architettura militare spezzina"*, Stringa Editore, Italia.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20369

Verso un glossario grafico castellano. Rilievo e catalogazione degli elementi tipologici delle architetture fortificate in Umbria

Valeria Menchetelli[a], Francesco Cotana[a], Eleonora Dottorini[a]
Università degli Studi di Perugia, Department of Civil and Environmental Engineering, Perugia, Italy, [a] valeria.menchetelli@unipg.it; [b] francesco.cotana@dottorandi.unipg.it, [c] eleonora.dottorini@dottorandi.unipg.it

Abstract

The architectural heritage of fortified constructions occupies an outstanding place in the collective imagination, both for the tangible presence of landscapes modelled over time by castle structures and for the suggestions born from the process of re-semantisation of the Middle Ages in the 19th century and then consolidated through various media contexts, from literature to painting to cinema. The reading and interpretation of this heritage play a crucial role in the conservation and the enhancement of the defensive architectures scattered across the territory. The tool currently used to analyse and interpret this heritage is the glossary known as 'castellan nomenclature' drawn up by the Istituto Italiano dei Castelli, a reference body for the study and the protection of fortified constructions in Italy. This work, starting from a series of architectural surveys carried out on the fortifications of the Umbrian territory, proposes the construction of a graphic glossary systematically enriched with images and drawings, supplemented by a cartographic visualisation system, to facilitate the dissemination of knowledge and recognition of the typological elements of castles, promoting the divulgation and valorisation of their peculiarities.

Keywords: imagery, graphic cataloguing, glossary, fortified landscapes, typological elements.

1. Introduzione

Quando ci troviamo di fronte a un'architettura fortificata la riconosciamo immediatamente. Ciò avviene perché possediamo un immaginario radicato e consolidato dei castelli e in generale del patrimonio architettonico fortificato. La provenienza di questo immaginario è eterogenea e stratificata: vi contribuiscono non soltanto l'esperienza diretta che abbiamo fatto o che facciamo delle fortificazioni presenti sul territorio, ma, anche e soprattutto, le numerose suggestioni immaginative e visive veicolate in una serie di differenti contesti mediali. Dalla letteratura al cinema, infatti, la narrazione del castello come luogo reale o fantastico esercita su di noi un forte fascino e, per immagini osservate, descritte o disegnate, determina la sedimentazione di un patrimonio visivo fortemente identitario.

La lettura e l'interpretazione di questo patrimonio, assieme alla conoscenza diretta delle testimonianze fortificate, rivestono un ruolo fondamentale per la conservazione e per la valorizzazione delle numerosissime architetture difensive disseminate nel territorio, sia alla scala locale che alla scala nazionale. Un castello è di solito fortemente riconoscibile per la sua immagine complessiva, che tuttavia è composta da singoli elementi identitari, singole tracce tipologiche che costruiscono e definiscono un vero e proprio lessico. La conoscenza degli elementi costituenti di questa grammatica, la cui natura è al contempo architettonica, tipologica e visiva, diviene un atto indispensabile per acquisire la consapevolezza del valore delle architetture fortificate e, di conseguenza, per "prendersi cura" di questa componente del patrimonio culturale.

Lo strumento attualmente utilizzato per l'analisi e la lettura delle architetture difensive è il glossario raccolto sotto la denominazione di "nomenclatura

BY-NC-SA

castellana" e reso pubblico dall'Istituto Italiano dei Castelli, ente di riferimento per lo studio e per la tutela delle costruzioni fortificate in Italia. Si tratta di un lemmario costituito da definizioni verbali e corredato in maniera non sistematica da immagini fotografiche, inserite al fine di facilitare l'identificazione dei singoli elementi tipologici e figurativi. Tuttavia, proprio perché il linguaggio visivo è determinante nella riconoscibilità dell'immaginario castellano, rendere sistematico tale corredo mediante un'attività di catalogazione grafica e fotografica degli elementi tipologici costituirebbe un arricchimento decisivo.

Questo contributo, a partire da una serie di rilievi architettonici effettuati sulle fortificazioni del territorio umbro, intende in tal senso proporre la costruzione di un glossario castellano illustrato da un *corpus* di artefatti visivi, sia grafici che fotografici, finalizzati non solo a supportare iconograficamente il processo di individuazione e riconoscimento dei caratteri identitari dei castelli, ma anche a divulgarne le caratteristiche sostenendo l'acquisizione progressiva di una consapevolezza diffusa del loro valore.

2. L'immaginario del castello

La pratica della fortificazione di costruzioni, città, territori e luoghi di carattere strategico affonda le proprie radici nell'epoca romana quando, già a partire dal III secolo, vengono realizzati i primi interventi finalizzati a conferire un assetto difensivo agli insediamenti, prevalentemente attraverso l'edificazione di cinte murarie e altre opere di tracciamento e strutturazione dei confini. Successivamente, nei secoli XI e X emerge il fenomeno dell'incastellamento, ovvero la realizzazione diffusa di insediamenti fortificati nel territorio segnando il declino del potere centrale carolingio e un periodo di vivacità economica e demografica (Settia, 2017). La necessità ancora esclusivamente difensiva che si pone alla base della nascita di tali sistemi fortificati ha come conseguenza una serie di importanti trasformazioni sia architettoniche che paesaggistiche, influenzando e connotando in maniera indelebile l'immagine del territorio. Dal punto di vista architettonico, le fortificazioni medievali presentano alcuni caratteri tipologici ricorrenti, tra cui percorsi viari di accesso, fossati, cinte murarie scandite da torri usualmente a pianta quadrangolare, recinti difensivi disposti in maniera concentrica, corpi di fabbrica compatti a più piani, anch'essi provvisti di una o più torri e atti a ospitare la residenza signorile, aperture e dispositivi di osservazione per l'avvistamento e il controllo del territorio. L'evoluzione progressiva delle tecniche militari si traduce nella parallela evoluzione delle caratteristiche delle architetture fortificate, alle quali vengono apportati interventi di adattamento alle mutate modalità difensive. A partire dal XV secolo, l'introduzione delle armi da fuoco genera una ulteriore trasformazione, che si traduce in un aggiornamento del repertorio tipologico degli elementi architettonici; aperture adeguate alle caratteristiche delle nuove armi, torri a pianta poligonale o circolare per ridurne la vulnerabilità agli attacchi, incremento degli spessori murari, abbassamento delle torri e delle cortine per limitare l'esposizione del bersaglio. Grazie a queste progressive modificazioni del paesaggio e dell'architettura fortificata si giunge alla definizione di un ricco lessico tipologico e di una estesa nomenclatura specifica, che viene descritta e catalogata nella trattatistica militare del Cinquecento.

I caratteri delle fortificazioni, strettamente legati alla morfologia dei territori, concorrono a definire un'identità paesaggistica chiaramente informata all'assetto difensivo. Ma la forza evocativa delle fortificazioni medievali, e con essa, l'immaginario romantico del castello nascono e si sviluppano con il processo di risemantizzazione del Medioevo che viene attuato nel XIX secolo. Nel celebre scritto *Dieci modi di sognare il Medioevo* (1985) Umberto Eco opera una distinzione fondamentale tra le prospettive di osservazione delle epoche storiche: se la classicità viene contemplata, il Medioevo viene generalmente sottoposto a un "rabberciamento utilitaristico" finalizzato al riuso delle sue testimonianze nella vita quotidiana. Nel corso dell'Ottocento, con la nascita dell'ideale romantico, il Medioevo, da un lato associato all'arretratezza, all'oscurità e alla barbarie, viene dall'altro lato interpretato come origine di tradizioni culturali e religiose identitarie, e in tal senso caricato di un forte valore simbolico idealizzato. Tale visione conduce a un approccio teso alla rievocazione, che trova espressione sia nell'istituzione di riti celebrativi che nel revival degli stili architettonici del passato, a partire dal noeogotico. Si assiste a tutti gli effetti a una "invenzione" del Medioevo (Bordone, 1993; Porciani, 2004), tanto culturale quanto materiale, che produce un'ondata di interventi architettonici in cui il linguaggio delle fortificazioni medievali viene amplificato ed esasperato intenzionalmente

(Chavarría Arnau & Zucconi, 2016). Si tratta di un Medioevo costruito a uso e consumo del tempo presente, un Medioevo da abitare e da vivere, il cui immaginario è popolato di visioni fantastiche e simboliche. Le ambientazioni descritte nelle fiabe dei fratelli Grimm, pubblicate nel primo decennio dell'Ottocento, contribuiscono alla creazione di un contesto culturale affascinante in cui agiscono personaggi animati da sentimenti universali: il coraggio, l'amore, la vendetta. A questo processo di creazione semantica concorre più avanti il ricco bagaglio di suggestioni visive generato dalla cinematografia d'animazione, paradossalmente prodotta da un Paese, gli Stati Uniti, privo dell'esperienza diretta del Medioevo. Molti dei castelli nei quali sono ambientati i film di Walt Disney sono ispirati a luoghi reali, siano essi originali oppure realizzati nell'Ottocento. L'abaco degli elementi architettonici delle fortificazioni medievali si arricchisce così di nuove declinazioni, radicandosi definitivamente nell'immaginario collettivo (figg. 1-3).





Fig. 1- In alto, il castello protagonista della sequenza di apertura nei film Disney. In basso, il castello di Neuschwanstein in Germania.





Fig. 2- In alto, il castello nel quale è ambientato il film *Rapunzel* (*Tangled*). In basso, l'isola di Mont-Saint-Michel in Normandia.



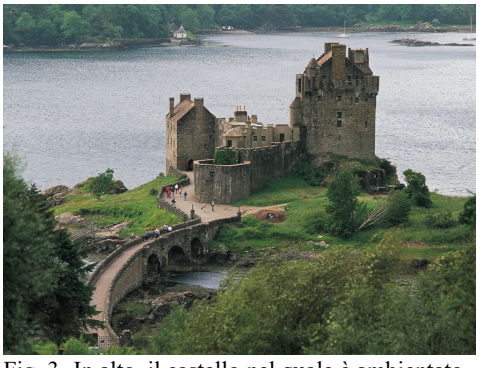


Fig. 3- In alto, il castello nel quale è ambientato il film *Ribelle* (*The Brave*). In basso, il castello di Eilean Donan nel Regno Unito.

3. La "nomenclatura castellana"

La riconoscibilità di un'architettura, dal punto di vista sia tipologico che stilistico, è determinata dalla possibilità di leggerne in modo univoco i caratteri e di identificarli stabilendo per ciascuno di essi una corrispondenza con gli elementi di un lessico già acquisito. Nel caso dei castelli, questo lessico è costituito da una gamma molto ampia di componenti, delle quali nel tempo sono stati redatti elenchi e cataloghi codificati. Già nell'ambito dei trattati militari rinascimentali iniziano a essere stabilite le specifiche modalità di rappresentazione delle architetture fortificate e ne vengono redatte definizioni verbali dettagliate (D'Amico, 2012). Una serie di studi successivi, dall'Ottocento percorrendo tutto il Novecento e giungendo ai primi anni Duemila, operano a più riprese un'attività di organizzazione, integrazione e sistematizzazione realizzando vocabolari e glossari di riferimento. Tra le pubblicazioni che emergono nell'Europa dell'Ottocento grazie al rinnovato interesse per l'architettura gotica si citano *A Glossary of Terms Used in Grecian, Roman, Italian, and Gothic Architecture* di John Henry Parker (1836) e la fondamentale opera di Eugène Viollet-le-Duc *Dictionnaire raisonné de l'architecture française* (1854-1868). In Italia, il primo vocabolario che fa da capostipite per una lunga lista di raccolte successive, è il *Vocabolario marino e militare* di Alberto Guglielmotti (1889), sulla base del quale viene redatto il "glossario minimo" di Antonio Cassi Ramelli (1964). Ulteriori testi di riferimento per la descrizione della nomenclatura relativa alle opere fortificate sono il *Glossaire* di Leonardo Villena (1975) e quello di Dino Palloni (1994). Lo studio delle architetture castellane in età contemporanea non può prescindere dall'attività scientifica svolta nell'ambito dell'Istituto Italiano dei Castelli e dagli strumenti specifici che lo stesso mette a disposizione. In particolare, relativamente alla nomenclatura correntemente utilizzata, è imprescindibile l'analisi del glossario presente nel portale dell'Istituto, originariamente pubblicato nel numero 120 della rivista *Cronache castellane* (1995) e ricavato dal lavoro di Domenico Taddei (2004), poi rieditato nel 2016. A sua volta, Taddei aveva operato sviluppando le precedenti voci di Giuseppe Caciagli (1979) e Ian Hogg (1982), poi integrate da Flavio Conti nel numero 43 del periodico *Castella*. Oltre alla nomenclatura castellana, in rete sono consultabili ulteriori glossari, nello specifico nei portali di approfondimento fortificazioni.net, icastelli.org e mondimedievali.net. Tutti gli strumenti citati, preziosissimi per il loro valore di riferimento e per la raccolta, più o meno sintetica, delle molteplici declinazioni anche territoriali del lessico architettonico dei castelli, sono accomunati dall'utilizzo estensivo del linguaggio verbale nelle descrizioni dei singoli elementi e presentano come corredo episodico alcune immagini fotografiche (portale Istituto Italiano dei Castelli) o in altri casi alcuni disegni (portale *I castelli*). Nel caso delle immagini fotografiche che integrano la *Nomenclatura castellana*, queste provengono da fonti non sistematicamente specificate e sono distribuite in maniera eterogenea: molti lemmi non sono rappresentati visivamente (v. Ballatoio), altri lo sono attraverso un'unica immagine (v. Cannoniera), altri ancora mediante due o più immagini (v. Caditoia, Ponte levatoio) che mostrano differenti esempi del medesimo elemento. Le immagini fotografiche non sempre sono riferite alle parti dell'edificato, ma talvolta descrivono armi o altri aspetti materiali legati alle tecniche militari e difensive (v. Bombarda, Dardo, Trincea). In altri repertori, come nel *Glossario* pubblicato nel portale *I castelli*, sono presenti unicamente disegni al tratto. Queste illustrazioni, realizzate da Silvio Germano, richiamano l'apparato grafico a corredo del volume di Palloni (Palloni, 1994). In entrambi i casi, per la maggior parte dei lemmi non è disponibile un riscontro visivo.

La finalità principale della redazione di un glossario va individuata nella necessità di stabilire una terminologia di riferimento per gli studi in un determinato ambito del sapere. Di norma il glossario raccoglie tutte quelle parole aventi significato specifico, che si discostano dal linguaggio corrente o che vengono declinate in accezioni peculiari nel particolare contesto degli studi. In tal senso, il glossario è uno strumento utile allo stesso tempo all'analisi e alla decodifica di un certo argomento. Per ciò che riguarda gli studi sui castelli, lo scopo del glossario è quello di fornire una nomenclatura omogenea, codificata e coerente alla quale ricondurre la descrizione delle architetture fortificate. La potenziale eterogeneità dei fruitori di tale glossario suggerisce di evidenziare alcune considerazioni: se da un lato studiosi, tecnici o esperti conoscitori dei castelli saranno già in possesso della terminologia scientifica di riferimento, dall'altro lato turisti, appassionati e utenti non esperti in

generale dovranno invece disporre di strumenti adeguati per la lettura e la comprensione delle testimonianze architettoniche. In ciascuno dei due casi, l'importanza dell'apparato visuale appare cruciale, sia allo scopo di fugare ambiguità di lettura e di facilitare il lavoro di interpretazione, sia allo scopo di fissare i principali elementi lessicali che consentono la riconoscibilità e la comprensione delle caratteristiche delle opere architettoniche. Inoltre, dal punto di vista della tutela e della conservazione delle costruzioni difensive, la raccolta di una documentazione grafica e fotografica di riferimento si inserisce nella tradizione consolidata dei manuali del recupero e degli atlanti dell'architettura storica, cataloghi aperti e implementabili di caratteri costruttivi codificati. Per tali ragioni, assumendo come principio informatore del glossario quello di soddisfare sia le istanze tecniche e di ricerca che quelle di disseminazione, appare evidente come un corredo iconografico diffuso, fotografico e grafico, si configuri come elemento chiave per la completezza del repertorio.

4. Rilievo e catalogazione dei castelli umbri

A partire dal 2022, un gruppo di ricerca interno al Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Perugia ha condotto un'attività conoscitiva (rilievo architettonico, interpretazione e comunicazione) incentrata sulle costruzioni difensive umbre, in particolare ricadenti nei distretti territoriali del Trasimeno e dell'eugubino (1). È stato selezionato un campione di 24 architetture, delle quali 18 diffuse attorno al lago Trasimeno e 6 ubicate lungo un tratto della "via di Francesco", percorso di collegamento tra i comuni di Assisi e Gubbio. I casi studio sono stati analizzati in relazione agli aspetti stilistici, tipologici, materici e costruttivi, giungendo a produrre una documentazione grafica sia generale che di dettaglio. Inoltre, nel contesto delle azioni di *heritage presentation* e *heritage interpretation* che caratterizzano oggi l'approccio al patrimonio culturale, sono state sperimentate forme di comunicazione, divulgazione ed educazione al valore dei castelli, prevedendo occasioni di presentazione pubblica accompagnate da iniziative espositive degli elaborati grafici, intese come fasi di restituzione alla collettività e svolte sia nell'ambito delle iniziative nazionali legate alla Giornata Nazionale dei Castelli che alle Giornate Europee del Patrimonio (Menchetelli et al. 2023). Tali attività hanno contribuito alla costruzione di un bagaglio di informazioni sulle architetture fortificate che si presta ad essere analizzato criticamente con l'obiettivo di mettere a sistema le conoscenze acquisite. L'approfondimento della nomenclatura castellana affrontato nell'ambito della ricerca ha condotto a individuare proprio nei principali elementi tipologici riportati nel glossario di riferimento i fattori chiave della riconoscibilità dei castelli. L'immaginario delle fortificazioni si addensa in questi aspetti, che si offrono all'osservazione e consentono di ricondurre un edificio alla funzione difensiva. La presenza di perimetrazioni murarie, l'impianto massiccio, l'inserimento di torri e altri corpi architettonici peculiari, la tipologia, la forma e la dimensione delle aperture, le tracce sui paramenti murari sono quei caratteri che l'utente generico può agevolmente assimilare e riconoscere come identitari. Costruire un catalogo pubblico, anche visivo, di questi elementi può così contribuire alla diffusa acquisizione di consapevolezza del valore dei castelli.

5. Verso un glossario grafico castellano

In aderenza alla definizione di glossario, che descrive il termine come "raccolta di vocaboli […] seguiti dalla dichiarazione del significato o da altre osservazioni" (*Glossario* s.d.), viene proposta la costruzione di un 'glossario grafico castellano' ovvero di uno strumento di lettura delle architetture difensive corredato da immagini fotografiche e disegni di rilievo che sia capace di sostenere la lettura della descrizione verbale con riferimenti visivi tratti da casi reali. A titolo esemplificativo della possibile metodologia operativa, un primo nucleo di tale glossario viene derivato dalla casistica analizzata nel corso dell'attività di rilievo dei castelli umbri, con l'obiettivo di verificare la validità dello strumento e con la prospettiva di estendere il repertorio alla scala sovralocale. Per ogni castello gli elementi tipologici individuati sono stati elencati, fotografati e ridisegnati con convenzioni grafiche omogenee, tenendo conto dell'eterogeneità delle scale di rappresentazione e selezionando gli elaborati maggiormente rappresentativi, riconoscibili ed esplicativi (fig. 4). Successivamente è stata progettata una *web map* interattiva a integrazione del glossario. La mappa si basa su un database organizzato in un foglio di calcolo (Excel) in cui ciascuna riga del database è riferita a un singolo castello.



Fig. 4- Costruzione del 'glossario grafico castellano', nel cui ambito ciascun lemma è affiancato in maniera sistematica da immagini fotografiche e da disegni di rilievo (elaborazione grafica degli autori, 2024).

Le prime colonne del foglio di calcolo riportano informazioni anagrafiche, geografiche e tipologiche, e in una seconda parte descrivono la presenza dei lemmi della nomenclatura castellana nelle varie architetture fortificate tramite i valori 0 e 1. Nell'organizzazione del database è emersa la presenza di lemmi che, pur distinti nella nomenclatura castellana, costituiscono varianti del medesimo elemento o varianti formali-funzionali dell'elemento (ad esempio torre, torrione, torre quadrata, torre campanaria oppure ingresso, andito). Nell'organizzazione del database, i sinonimi sono stati raggruppati in un'unica colonna, mentre le varianti sono state indicate in più colonne distinte. A questo stadio il database si configura unicamente come la base per un atlante geografico della distribuzione degli elementi tipologici, ma si presta a essere implementato con descrizioni di maggiore dettaglio degli elementi, collegando poi diversi fogli tra loro all'interno di software GIS. In questo studio, attraverso l'utilizzo del software *opensource* Quantum GIS (QGIS) è stata sviluppata la realizzazione di una mappa collegata al database descritto. Una volta importato il database in QGIS come file CSV, e dopo un primo processo di personalizzazione grafica, è stato installato e utilizzato il *plugin* qgis2web che, grazie alle librerie Python Leaflet e OpenLayers, genera gli script HTML, CSS e JavaScript necessari per la realizzazione di una *web map* personalizzata. Sebbene le opzioni di personalizzazione siano relativamente limitate, risultano piuttosto intuitive e facili da usare. L'utente può modificare l'aspetto e abilitare funzionalità aggiuntive, come il filtraggio dei dati secondo campi specifici e la personalizzazione e la visualizzazione dei pop-up al passaggio del mouse. Dopo aver configurato le impostazioni, il progetto viene esportato e il plugin genera i file necessari per la visualizzazione della *web map*. Il passo successivo è la pubblicazione della *web map* su un server; in questo caso, i file sono stati caricati in un repository GitHub e, attivando GitHub Pages, la *web map* diventa accessibile al pubblico. L'esito di questa sperimentazione è visibile nella figura 5: selezionando la voce *true* o *false* nel menu a tendina relativo alle voci del glossario, è possibile visualizzare nella mappa quali sono i castelli in cui queste sono riscontrabili. I pop-up che si attivano al passaggio del mouse su ciascun segnaposto consentono inoltre di visualizzare le informazioni relative a ogni castello analizzato.

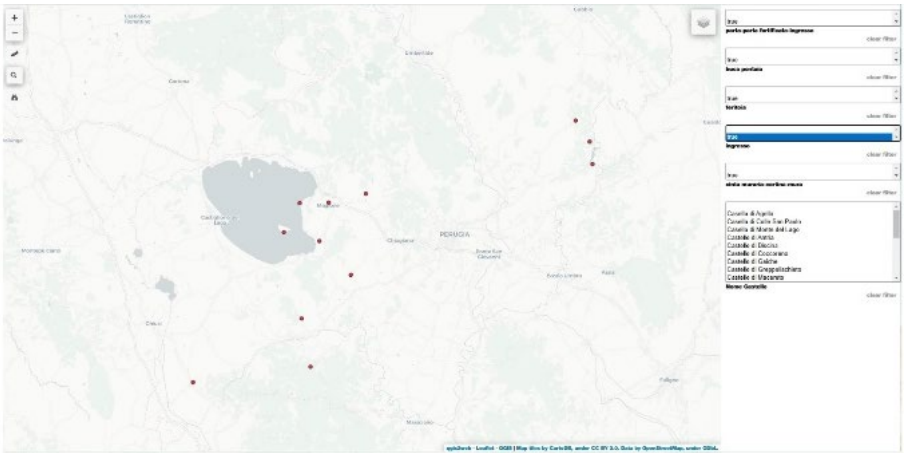


Fig. 5- Interfaccia della web map, in cui sono visibili i filtri di ricerca e i pop-up che mettono in relazione i castelli con gli elementi tipologici.

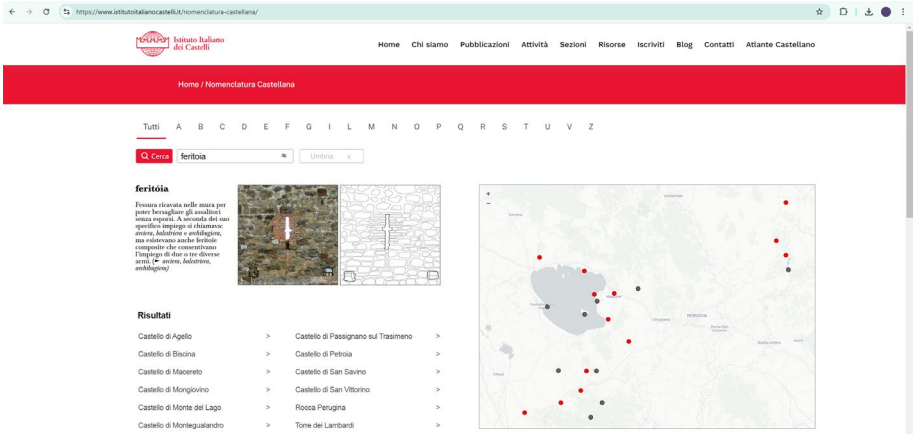


Fig. 6- Simulazione dell'interfaccia della pagina di ricerca del glossario castellano, integrata con l'apparato grafico e la mappa (*Istituto Italiano dei Castelli*).

6. Conclusioni

Obiettivo statutario dell'Istituto Italiano dei Castelli è lo studio delle costruzioni fortificate per la loro salvaguardia e conservazione oltre che ai fini dell'inserimento di queste testimonianze "nel ciclo attivo della vita contemporanea" (Istituto Italiano dei Castelli, 2021). Questa ultima finalità si traduce oggi, sempre più spesso, in azioni di sensibilizzazione culturale collettiva, capaci di promuovere la conoscenza e l'interesse generale verso i castelli e la loro importanza storico-artistica. La costruzione di un glossario castellano con caratteristiche di fruibilità e immediatezza si configura come strategia capace di contribuire al raggiungimento di tale consapevolezza diffusa. La sperimentazione condotta, sebbene limitata a un campione di ridotta numerosità, evidenzia l'utilità potenziale di un glossario grafico a fini di conoscenza e supporto tecnico. Gli strumenti digitali per la rappresentazione di informazioni spaziali mostrano in questo contesto sia vantaggi che limiti. In particolare, QGIS è uno strumento utile e accessibile, ma le sue limitate possibilità di personalizzazione grafica rendono disagevole l'usabilità per i potenziali utenti esterni. L'ipotesi qui presentata, in cui la visualizzazione del glossario castellano è collegata a una mappa, getta le basi per un più ampio sviluppo futuro di questo strumento. Attraverso l'utilizzo di software e

linguaggi di programmazione adeguati si può infatti ipotizzare un sistema capace di attuare sia una navigazione scorrevole che una ricerca avanzata dei lemmi in cui, tramite filtri, sia possibile ottenere risultati di ricerca che mettano in relazione gli elementi tipologici con i castelli di un determinato territorio. Si otterrebbe così una più chiara e immediata identificazione dell'elemento tipologico, assieme alla possibilità di individuare, conoscere e riconoscere il prezioso patrimonio architettonico e storico costituito dalla rete delle costruzioni fortificate (fig. 6).

Note

(1) L'attività di ricerca sulle fortificazioni umbre è condotta da un gruppo di lavoro interno al Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Perugia (responsabilità scientifica: V. Menchetelli; gruppo di ricerca: F. Cotana, E. Dottorini, V. Menchetelli, C. Spippoli). L'attività didattica di rilievo architettonico dei castelli nei territori del Trasimeno e dell'eugubino è stata svolta negli aa.aa. 2021-2022, 2022-2023 e 2023-2024 nell'insegnamento di Rilievo dell'architettura del corso di laurea magistrale a ciclo unico in Ingegneria edile-Architettura (docente: V. Menchetelli; cultori della materia: F. Cotana, E. Dottorini).

Crediti

Relativamente all'apporto fornito da Eleonora Dottorini, si specifica che il lavoro è stato finanziato dall'Unione europea – Next Generation EU. I punti di vista e le opinioni espresse sono tuttavia solo quelli dell'autrice e non riflettono necessariamente quelli dell'Unione europea o della Commissione europea. Né l'Unione europea né la Commissione europea possono essere ritenute responsabili per essi.

Bibliografia

Bordone, R. (1993) *Lo specchio di Shalott. L'invenzione del Medioevo nella cultura dell'Ottocento*. Napoli, Liguori.

Caciagli, G. (1979) *Il castello in Italia. Saggio d'interpretazione storica dell'architettura e dell'urbanistica castellana*. Firenze, Giorgi & Gambi. (Prima ed. Istituto Geografico Militare 1975).

Cassi Ramelli, A. (1964) *Dalle caverne ai rifugi blindati. Trenta secoli di architettura militare*. Milano, Nuova Accademia editrice.

Chavarria Arnau, A. & Zucconi, G. (a cura di) (2016) *Medioevo fantastico. L'invenzione di uno stile nell'architettura tra fine 800 e inizio 900*. Sesto Fiorentino, All'Insegna del Giglio.

D'Amico, S. (2012) *La rappresentazione dell'architettura militare nei trattati cinquecenteschi*. [Tesi di dottorato]. Firenze, Università degli Studi di Firenze.

Glossario (s.d.) www.treccani.it/vocabolario/glossario/ (consultato il 27 settembre 2024)

Guglielmotti, A. (1889) *Vocabolario marino e militare*. Roma, Voghera. (Rist. anast. 1987).

Hogg, I. (1982) *Storia delle fortificazioni*. Novara, Istituto Geografico De Agostini.

Istituto Italiano dei Castelli (2021) *Mission*. https://www.istitutoitalianocastelli.it/chi-siamo/ (consultato il 27 settembre 2024)

Menchetelli, V., Cotana, F. & Spippoli, C. (2023) A Methodological Workflow for Cultural Heritage Management. The Case Study of Umbrian Castles. *DisegnareCON*, 31, 12.1-12.9. https://doi.org/10.20365/disegnarecon.31.2023.12

Palloni, D. (1994) *I castelli*. Verucchio, Pazzini.

Parker, J. H. (1836) *A glossary of terms used in Grecian, Roman, Italian, and Gothic architecture*. London, Charles Tilt.

Porciani, I. (2004) L'invenzione del Medioevo. In: Castelnuovo, E., Sergi, G. (a cura di). *Arti e storia nel Medioevo. Il Medioevo al passato e al presente*. Torino, Einaudi, pp. 253-279.

Settia, A. A. (2017) *Castelli medievali*. Bologna, Il Mulino.

Taddei, D. (2004) (a cura di). *Le parole del castello. Nomenclatura castellana*. Osmannoro, Sesto Fiorentino, PLAN.

Villena, L. (1975) *Glossaire. Fichier multilangue d'architecture militaire médiévale publié par l'Institut International des Châteaux Historiques comme contribution à l'Anné du Patrimoine Architectural européen*. Frankfurt am Main, Weidlich.

Viollet-le-Duc, E. (1854-1868) *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle* (Voll. 1-10). Paris, P. Bance.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20370

Análisis territorial y caracterización tipológica-constructiva de la torre del Villar de Oria (Almería) mediante modelos digitales

Jorge Moya-Muñoz
Universidad de Sevilla, Sevilla, España, jmmunoz@us.es

Abstract

Dotted strategically around the entire province of Almería (Spain) are numerous defence elements belonging to the Kingdom of Granada. Recent investigations have produced new sets of plans using photogrammetry, the results of which have furnished information about the geometry and pathological status of the wall structures, as well as the factors that determined these elements. Other important studies have conducted spatial analyses of defence systems along the coast of Almería. However, only a few studies have approached these cultural assets from different scales, viewing them as a part of a general development. This article aims to provide new knowledge about these fortifications obtained through the use of digital models based on different software programs, and it therefore sheds light on their territorial scale, the scale of the architectural objects themselves and the scale of their materiality. Taking the Villar de Oria tower as a case study, the first step was to conduct a territorial study using geographical information systems in order to understand the reason behind the placement of the tower and its relationship with other nearby defence elements and the immediate vicinity. The next step was to examine geometric and architectural aspects of the tower, and the final stage of the study was a typological-construction characterisation of the building systems and the materiality identified in the wall analysis. The results obtained contribute to existing knowledge about the cultural heritage associated with the old Kingdom of Granada in a general context. They also provide a baseline for conducting comparative and chrono-typological studies of other nearby defence infrastructures.

Keywords: GIS, CAD, rammed earth, earth architecture, cultural heritage.

1. Introducción

El Reino de Granada contaba con un importante número de elementos defensivos. Muchos de ellos se localizaban en los límites administrativos actuales de la provincia de Almería. Recientes investigaciones, fundamentadas en el uso de modelos digitales, han aportado nueva luz sobre estas fortificaciones.

Dependiendo del tipo de técnica y tecnología aplicada, los trabajos han estado centrados en: el análisis espacial territorial (Rouco y Civantos, 2019); la geometría y los aspectos patológicos de las estructuras murarias (García, 2014); la pormenorización de las técnicas constructivas (Moya et al., 2020); entre otros. Sin embargo, son menos las pesquisas que proponen un planteamiento metodológico desde diferentes escalas de aproximación a las fortificaciones almerienses, donde destacamos los trabajos de Ríos et al. (2023), Rouco (2021), y Ruiz y García (2020).

Pese a la existencia de estos trabajos de investigación y a importantes actividades de difusión, junto con el hecho de tratarse de Bienes de Interés Cultural, en la actualidad, un buen número de las fortificaciones almerienses presentan un estado de degradación avanzado. Tal es el caso de la conocida como torre del Villar (Fig.1), perteneciente al antiguo Partido

(cc) BY-NC-SA

de Baza y actual municipio almeriense de Oria, cuya construcción dataría de los siglos XII-XIII, según los materiales cerámicos fragmentados encontrados en el lugar por Domínguez y Muñoz (1987).

Se trata de una torre de vega vinculada a una alquería (1) que aún conserva parte de la *albacara* o recinto amurallado que, en estas torres, servía para paliar los efectos de ataques, así como para acoger ganado (Fábregas y González, 2015).



Fig. 1- Vistas de la torre del Villar de Oria, Almería, España. (elaboración gráfica por José Ángel García Carricondo, 2024).

En la actualidad, pese al nivel de protección patrimonial que recae sobre la misma y a presentar un estado de degradación avanzado, estando su estabilidad comprometida, no se han acometido ni propuesto ningún tipo de obras de consolidación de sus estructuras murarias desde las administraciones responsables.

2. Objetivos y metodología

El objetivo del presente trabajo es el de generar conocimiento relacionado con el sistema defensivo del Reino Nazarí en la provincia de Almería. Para ello, tomando como caso de estudio la torre del Villar se propone, por un lado, su análisis territorial y, posteriormente, un estudio del objeto arquitectónico desde una perspectiva funcional y tipológica-constructiva. Esta aproximación multiescalar a la torre se desarrolla a partir de la creación de dos modelos digitales: un modelo SIG (Sistemas de información Geográfica) a partir del software QGIS, y un modelo CAD (*Computer-Aided Design*) mediante el software Autocad-2023.

3. El modelo SIG

3.1. Arquitectura del modelo

La organización del modelo SIG se estructura en tres carpetas (Fig. 2). La primera está destinada a los archivos vectoriales (*shapefiles*) tipo punto correspondientes a la torre del Villar y del resto de elementos defensivos de su entorno obtenidos a partir de Castellón (2017). La segunda carpeta alberga archivos de apoyo tipo vectorial (perfiles topográficos y puntos de observación), y tipo raster. Estas son: la ortofotografía de máxima actualidad del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA 2022), obtenida a partir de enlace *Web Map Service* (WMS) a la Red Ambiental de Andalucía (REDIAM); el Modelo Digital del Terreno MDT-02, descargado del Instituto Geográfico Nacional (IGN); el Modelo Digital del Terreno generado a partir del fichero LIDAR de 1ª cobertura (2008-2015) con una densidad de 0,5 puntos/m2 descargado desde el IGN; y la red hidrográfica principal, obtenida mediante el mismo cauce que la ortofotografía aérea.

Por último, la tercera carpeta es donde se alojan los archivos generados como resultado de los análisis territoriales realizados, los cuales vienen determinados por el carácter defensivo y de la actividad agropecuaria del entorno inmediato donde se implanta la torre. Estos quedan definidos a continuación.



Fig. 2- Arquitectura del modelo SIG (elaboración gráfica del autor, 2024).

3.2. Análisis espaciales territoriales

El primer análisis territorial trata sobre la implantación de la torre respecto a la topografía del entorno en el que se ubica. Para ello se han obtenido a partir del MDT-02 y del MDT extraído de los datos LIDAR un conjunto de perfiles topográficos (Fig.3). A su vez, se han calculado las pendientes del terreno.

En cuanto a la implantación exacta de la torre, se aprecia cómo la pendiente del terreno oscila entre los 21 y los 34 grados, mientras que su entorno presenta un relieve donde predominan los rangos de pendientes menores a los 5 grados y los situados entre los 5 y los 15 grados (Fig.4). Estas pendientes se corresponden con tierras óptimas para el cultivo de regadío-secano y de secano respectivamente según Pedraza (1996).

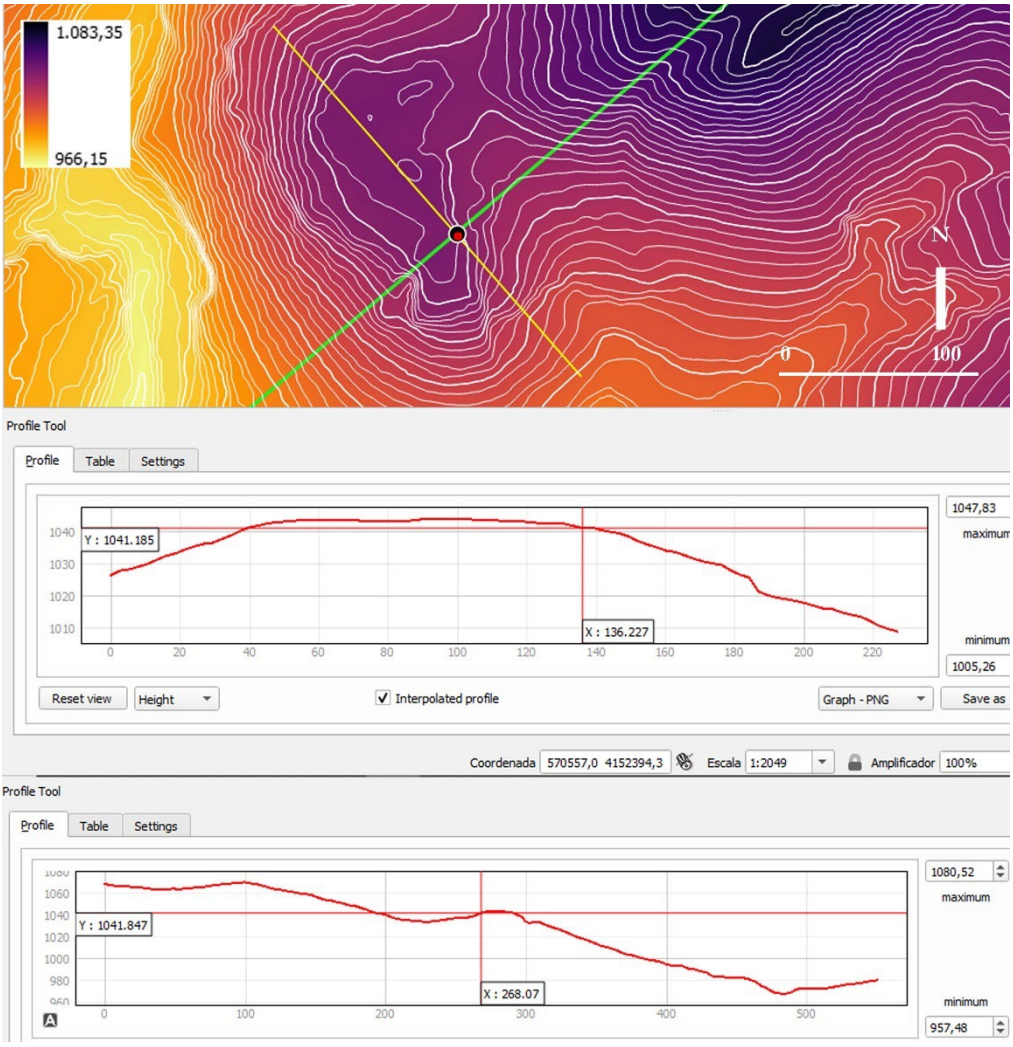


Fig. 3- Mapa del relieve obtenido mediante el *plugin Profile Tools* a partir del MDT-02 donde se representan las curvas de nivel cada 2 m y un perfil topográfico longitudinal (amarillo y arriba), y otro trasversal (verde y abajo) coincidentes con la ubicación de la torre del Villar. Se aprecia cómo la torre se sitúa en una zona amesetada de cota inferior a los cerros próximos (elaboración gráfica del autor, 2024).

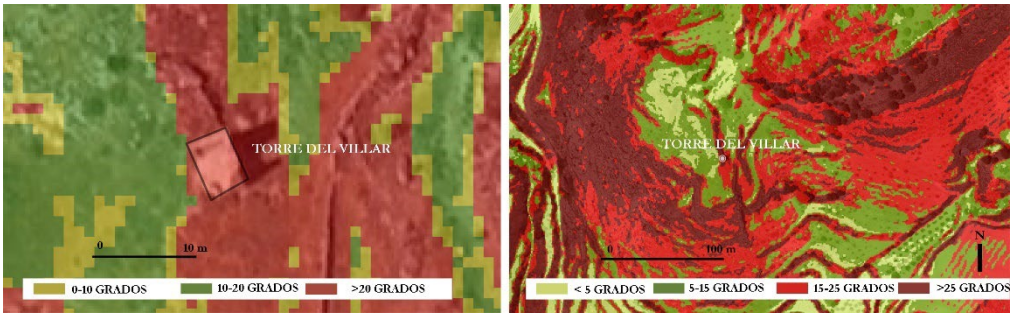


Fig. 4- Mapa de pendientes del entorno de la torre del Villar, obtenido mediante el *plugin Slope* a partir del MDT obtenido de los datos LIDAR. Se aprecia cómo la torre se sitúa en una zona de fuertes pendientes y que su entorno es amesetado. (elaboración gráfica del autor, 2024).

De esta forma se entiende la particularidad de la implantación de la torre del Villar, localizada en un entorno bondadosa en cuanto a la posibilidad de cultivar la tierra y de acceso al agua, situada en la cabecera de dos ramblas (Carricondo et al., 2010).

No obstante, esta ubicación sería poco ventajosa para un sistema defensivo aislado, por lo que hubo de estar supeditada a otros sistemas defensivos del entorno. Para entender bien este aspecto se ha llevado a cabo el segundo de los análisis: el cálculo de la cuenca visual de la torre del Villar y la del Castillo de la Balsa Vieja (situado a menos de 750 m de la torre del Villar) buscando la relación visual entre ambas y con el Castellón de Olías, fortificación próxima situada al sur. Para ello se ha utilizado el plugin Visibility, asignando la altura de las torres así como la de las personas observadoras al análisis y estableciéndose un radio de visibilidad de 5 km que permitiera asegurar el alcance del Castellón de Olías en el proceso (Fig. 5).

De este análisis se evidencia cómo la torre del Villar disponía de control visual de huertas, cultivos y pastos, y respecto al Castellón de la Balsa Vieja, mientras que no guarda conexión visual con el Castellón de Olías.

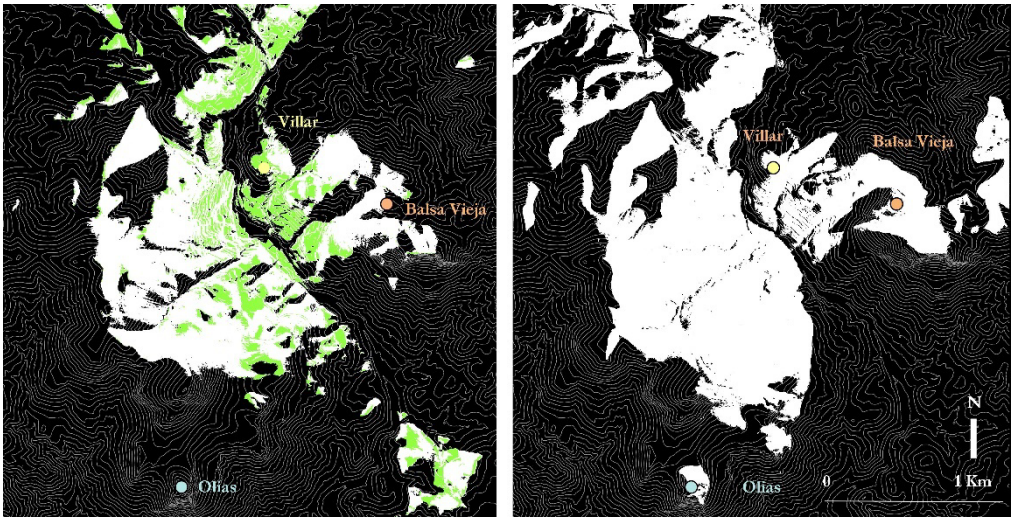


Fig. 5- Geotiffs correspondientes a la cuenca visual de la torre del Villar (izquierda) y a la cuenca visual de la fortificación de la Balsa Vieja, ambas respecto al Castellón de Olías. En verde se representa la superficie con pendientes menores a 15 grados (óptimas para cultivos) que es visible y, por lo tanto, controlable, desde la torre del Villar. (elaboración gráfica del autor, 2024).

4. El modelo CAD

4.1. Base gráfica y estructura del modelo

Dada la existencia de un levantamiento reciente de la torre del Villar realizado por Ruiz y García (2020), se planteó inicialmente el utilizar dicha base gráfica para confeccionar el modelo CAD. Previamente se estimó oportuno el desarrollar una visita de campo con el fin de cotejar que el estado de conservación de la torre se correspondiera con el del levantamiento. Para ello se propuso la toma de imágenes de los paramentos de la torre mediante cámara integrada en un dron (2). Una vez se comprobó que el estado de la torre en la actualidad se corresponde con el del levantamiento, se digitalizaron los alzados a partir del software AutoCAD 2023, obteniendo el modelo CAD.

En cuanto a la estructura del modelo, este se ha organizado a partir de sencillas capas vectoriales que se corresponden con los elementos que definen constructivamente el sistema de la tapia calicostrada para cada uno de los cuatro alzados: agujales; hiladas; perímetro del muro; y tapiada. Sobre estos se hacen las diferentes consultas que determinan las métricas y pautas constructivas de las estructuras murarias de la torre del Villar.

4.2. Caracterización tipológica-constructiva

La torre del Villar, al igual que cualquier arquitectura tradicional, se sustenta en el aprovechamiento de los recursos que el medio físico le aporta, aspecto que determina el uso del sistema constructivo de la tapia calicostrada. Cabe destacar que la ejecución de dicho sistema implicaba atender a unas pautas de ejecución sometidas a métricas que determinarían la morfología de la torre.

En este sentido, se trata de una estructura de planta cuadrangular de 5 varas de lado (la vara se establece en 82-83 cm) que va reduciendo sus dimensiones en altura dando lugar a una volumetría tronco-piramidal. En la actualidad, se identifican hasta 10 tapiadas en altura (unos 8 m), siendo previsible que tuviera dos o tres tapiadas más, considerando la posibilidad de que la torre se rematara con merlones o pretiles, y la existencia de lo que podría ser un fragmento de madera de una viga de la cubrición de la torre en la tapiada novena.

En lo que respecta a la cimentación de la torre, los muros de tapia bien apoyan directamente sobre la roca caliza, bien en unos sobrecimientos de mampostería de piedra tomada con argamasa necesarios para nivelar el arranque de los cuatro muros de tapia. Cabe destacar que, en el caso del lado Oeste de la torre, el muro de mampostería del sobrecimiento se eleva hasta la tercera tapiada. Hasta dicha cota, la torre es maciza en su interior, coincidiendo por tanto el suelo de la torre con el arranque de la cuarta tapiada.

Con respecto a las plantas interiores, es probable que existiera un forjado intermedio. Por otra parte, no se puede saber si existieron o no saeteras en alguno de los paramentos de la torre, aunque la ausencia de dichas aperturas en su lado Norte donde se conserva casi todo el paramento y el carácter de torre asociada a un alquería, hace pensar que no fue así.

En cuanto al acceso al interior de la torre, es previsible que se hiciera en el cuarto nivel de tapiada desde su lado Oeste, donde el terreno es más favorable que en los otros lados. Esto es factible a sabiendas de que todo el recinto estaba amurallado y que, por tanto, el entorno de la torre era un espacio protegido. A este respeto, Ruiz y García (2020) proponen también un acceso por el lado Oeste, mientras que Carricondo et al. (2010) sitúan el acceso a la torre, en la fachada Este, siendo en este caso, un acceso más difícil y, por tanto, más segura la torre en caso de correrías.

A continuación, valiéndonos del modelo CAD (Fig. 6) y de los datos recabados en las distintas visitas de campo, se ha cumplimentado un formulario (Tabla 1) con campos descriptivos de los elementos correspondientes a la clasificación tipológica-constructiva de las estructuras de tapia de la torre del Villar (Fig. 7). Dicho formulario mantiene la estructura base de las desarrolladas en investigaciones anteriores vinculadas también a estructuras murarias localizadas en el municipio de Oria y de origen medieval: la Alcazaba de Oria (Moya et al., 2020); y el Castellón de Olías (Moya, 2024). La confección de la misma se fundamenta en los trabajos de: Canivell y Graciani (2015); Gil y Maldonado (2015); Sánchez i Signes (2013); y Quesada y García (2015).

Estructura	Monolítica
Niveles o hiladas	9 niveles identificados
Tapiadas identificadas	10 tapiadas
Altura torre actualidad	7.75 m desde nivel 0 del muro de tapia
Parte interior de torre maciza	Hasta tercera tapiada o hilo cuarto
Anchura muros	Sección variable en altura. Base del muro hasta la sexta tapiada 1 vara y dos palmos,. Desde la sexta tapiada 1 vara
Encofrado	Tapial individual
Articulación entre cajones	Sin material (articulación simple) y puntualmente con gravas de regularización
Tipo de cajón	Rectangular con frontera
Módulo de la tapiada	Módulo bajo (82-83 cm)
Longitud de la tapiada	2 varas y 1 vara
Número de cajones por hilo	Dos cajones de dos varas y otro de dimensión aproximada de una vara y un cajón de dos varas y tres de valores aproximados a una vara
Materialidad	Grava y cal
Calibre del árido (apreciación organoléptica)	Granulometría compensada con baja presencia de tamaños de partículas superiores a los 5 cm
Tipo de construcción	Tapia calicostrada
Anchura calicostrado	Variable 16-25 cm
Valor tongadas	Inapreciables
Talud entre juntas	Vertical
Traba entre juntas	Solapamiento vertical de llagas
Acabado paramentos	Calicostrado exterior e interior
Situación agujales	En el hilo inferior
Profundidad de agujales	Pasantes
Formación de agujales	Sin cajeado hasta tercera tapiada y cajeado en hilos superiores con lajas de pizarra y puntualmente cajeados en diagonal
Recuperación de agujas	No recuperables hasta la tercera tapiada y recuperables en el resto de tapiadas
Sección de agujales	Plana en las tres tapiadas inferiores, cuadrada en hilos superiores y triangulares en zonas puntuales del cuerpo superior
Distancia de separación entre agujales	Rangos desde los 40 hasta los 90 cm en todos los lienzos y alturas
Distancia mínima desde agujal hasta arista de la torre	Rangos desde 20 hasta 25 cm para los tres tapiadas inferiores (posiblemente coincidente con calicostrado) y 50-90 cm en tapiadas superiores
Ritmo de agujales por hilada	7-8 agujales en las tres primeras hiladas y 5-6 en el resto superiores
Ritmo de agujales por tapiada	Cajones de una vara 3-4, cajones de una vara 2-3
Otras improntas	Barzones rectangulares, fronteras de las tapiadas y tableros de los tapiales (4 por tapiada)
Sobrecimiento	Mampostería de piedra tomada con argamasa

Tab. 1- Clasificación tipológica-constructiva de la torre del Villar (elaboración gráfica del autor, 2024).



Fig. 6- Alzados de la torre del Villar obtenidos del modelo CAD. Destaca la diferencia de la ejecución de los muros hasta la tapiada tercera respecto el cuerpo superior, con un ritmo y localización distinto en los agujales. Se muestra además las tapiadas del alzado Norte, al ser el único que mantiene todo el paramento. (elaboración gráfica del autor, 2024, a partir de Ruiz y García, 2020).



Fig. 7- Intradós del alzado Norte de la torre del Villar correspondiente a las tapiadas 6. 7 y 8. Se aprecia la dirección de las tapiadas, el retranqueo del muro en la tapiada sexta, el acabado de calicostrado, los tipos y ritmos de agujales, el uso de áridos de regularización en algunas tapiadas, el uso de diferentes tipos de tierras en varias tapiadas, y las improntas de los tableros de los tapiales. (elaboración gráfica por José Ángel García Carricondo, 2024).

5. Conclusiones

Mediante el presente artículo se ha constatado la necesidad de abordar cualquier trabajo relacionado con un bien patrimonial desde una óptica multiescalar (lógicamente también es necesaria la multidisciplinariedad), para lo que las modelos digitales son unas herramientas cuyo uso está sobradamente contrastado en la generación de conocimiento patrimonial.

Gracias a los SIG se ha podido entender la implantación de la torre del Villar como elemento vinculado a una población, tanto desde el aprovechamiento y control agropecuario del medio en el que se ubica, como desde la interacción respecto a elementos próximos cuya funcionalidad era netamente de defensa.

Respecto al modelo CAD, se ha podido estudiar tipológica y constructivamente la torre.

A tenor de los resultados expuestos anteriormente, surge la duda de si la torre es monofásica o bien aprovecha una preexistencia ejecutada con una técnica diferente a la de la tapia. En relación a los muros de tapia, se evidencian dos pautas constructivas diferenciadas en dos cuerpos de la torre que, en este caso, sí que se considera que pertenecen a una sola fase. Por otra parte se constata cómo el proceso constructivo presenta una inadecuada praxis de ejecución, al dar continuidad de las juntas verticales entre tapiadas en niveles de altura consecutivos.

Esta circunstancia, que bien ha podido ser un agravante en la degradación de los muros, pudo deberse a la rapidez con la que quizás hubo de erigirse la torre ante inminentes ataques y/o a la menor tecnificación de las zonas rurales.

Notas

(1) Martín et al. (2010) diferencian entre torres de alquería y torres de vega, caracterizándose estas segundas por su menor dimensión y por la no existencia de aljibe en su interior en favor de una primera altura maciza, tal y como ocurre en la torre del Villar.

(2) El presente trabajo ha sido posible gracias al técnico de apoyo (vuelo del dron) José Ángel García Carricondo.

Referencias

Canivell, J. & Graciani García, A. (2015) Caracterización constructiva de las fábricas de tapia en las fortificaciones almohades del antiguo Reino de Sevilla. *Arqueología de la Arquitectura*, 12, e025-1-e025-22. https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2015.003

Carricondo Sánchez, J.F., Mora Sánchez, J.M., Reche García, J. & Sánchez Martínez, B.V. (2010) *Oria. Medio Natural, Histórica y Patrimonio Cultural*. Oria, Instituto de Estudios Almerienses.

Castellón Sánchez del Pino, A. (2017) *Castillos y atalayas del Almanzora*. Almería, Instituto de Estudios Almerienses.

Domínguez Bedmar, M.; & Muñoz Martín, M. (1987) Materiales cerámicos islámicos de la atalaya de El Villar. (Oria, Almería). *Roel*. 7-8, 21-48.

Fábregas García, A., & González Arévalo, R. (2006) Los espacios del poder en el medio rural: torres de alquería en el mundo nazarí. *Arqueología y Territorio Medieval* 22, 63-78. https://doi.org/10.17561/aytm.v22i0.2676.

García Pulido, L. J. (2014) Estudio preliminar de la torre nazarí de Agicampe (Loja, Granada) elaborado para su proyecto de consolidación. *Revista Pátina-ESCRBC* (Escuela de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Madrid), (17 y 18), 105-128.

Gil Crespo, I. J. & Maldonado Ramos, L. (2015) Hacia una taxonomía constructiva de las tapias de tierra y fábricas encofradas histórica. *Informes de la Construcción*, 67(538), e086. https://doi.org/10.3989/ic.14.009.

Martín García, M. (2010) Torres de alquería de la vega de Granada. *Revista PH Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 74, 18-73. https://doi.org/10.33349/2010.74.2957.

Moya Muñoz, J. (2024) Survey and Typological-Construction Characterisation of the Rammed Earth Walls of Olías de Oria Castle (Almería) Using Aerial and Terrestrial Photogrammetry. In: Hermida González, L., Xavier, J.P., Pernas Alonso, I., Losada Pérez, C. (eds) Graphic Horizons. *EGA 2024*. Springer Series in Design and Innovation, vol 44. Springer, Cham. pp. 308-315. https://doi.org/10.1007/978-3-031-57579-2_37.

Moya Muñoz, J., González Serrano, A. M., & Pinto Puerto, F. S. (2020) Preliminary studies to value enhancement of the old citadel in Oria, Almeria, Spain. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIV-M-1-2020, 389-396. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-M-1-2020-389-2020

Pedraza Gilsanz, J. (1996) *Geomorfología. Principios, Métodos y Aplicaciones*. Madrid, Editorial Rueda.

Quesada García, S., & García Pulido, L. J. (2015) El sistema de torres de origen medieval en el valle de Segura de la Sierra. La construcción de un paisaje. *Boletín del Instituto de Estudios Giennenses*, 212, 99-165.

Ríos Jiménez, J. M., Rojas Cáceres, J. A., & Trani Sánchez, M. (2023) La fortificación de Pesquera (Algarinejo, Granada): De torre de alquería a fortificación auxiliar en la frontera del emirato nazarí de Granada. *Arqueología y Territorio Medieval*, 30, 131-154. https://doi.org/10.17561/aytm.v30.7726.

Rouco collazo, J. & Martín Civantos, J. M. (2020). Análisis espacial del sistema defensivo de la costa granadina en época nazarí y su transformación tras la conquista castellana. In: Navarro Palazón,J. & García-Pulido, J.L. (eds.). *Defensive Architecture of the Mediterranean.* Vol X. Proceedings of FORTMED –Fortification of the Mediterranean Coast, 4-6 Noviembre 2020, Granada. Universitat Politécnica de Valencia. pp. 189-196. https://dx.doi.org/10.4995/FORTMED2020.2020.11351.

Rouco Collazo, J.(2021) *Las fortificaciones medievales de la Alpujarra Alta desde la Arqueología de la Arquitectura y del Paisaje*. [Tesis inédita]. Granada: Universidad de Granada. http://hdl.handle.net/10481/71115.

Ruiz Jaramillo, J., & García Pulido, L. J. (2020) La defensa histórica del territorio Almeriense. Una visión del desarrollo y evolución de su sistema defensivo litoral y de interior a través de sus atalayas. Repositorio Institucional de la Universidad de Málaga. https://hdl.handle.net/10630/20354.

Sánchez i Signes, M. (2013) El refugio en altura andalusí de Vilella (Almiserat, Valencia), un ejemplo de arquitectura defensiva rural en el ámbito centro-meridional valenciano (ca. 1150-1250), *Arqueología de la Arquitectura*, 10, e005. https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2013.004.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20371

Documentare i caratteri dei sistemi fortificati in terra cruda dello Ksar di Tamnougalt in Marocco

Giovanni Pancani[a], Alberto Pettineo[b]
[a] Università di Firenze, Firenze, Italia, [a]giovanni.pancani@unifi.it, [b] Università di Firenze, Firenze, Italia, [b]alberto.pettineo@unifi.it

Abstract

The paper analyses the complex defensive system of the Ksar of Tamnougalt in the Drâa Valley, built using traditional earthen construction techniques. Despite its current state of partial abandonment, the village's historical and cultural importance is tangible in its material traces, witnesses of the Berber cultural presence, as well as its architectural features.
In this context, the research uses fast-survey technologies and digital tools to document and understand the site's defensive elements. It explores representation techniques that convey the material quality and morphological complexity of defensive systems typical of vernacular architecture while ensuring the metric accuracy of drawings and technical documents.
The digital documentation of the site led to the creation of a high-resolution database rich in morphometric data. This allowed the production of two-dimensional drawings and facilitated detailed graphic analyses, providing a deeper understanding of the defensive structures and their architectural components from a typological and technological perspective. It also makes it possible to develop critical syntheses that favour innovation in the descriptive methods of defensive systems built through traditional construction practices. The documentation process digitally preserves the architectural peculiarities and traditional building techniques of this historic site, but also provides a valuable resource for future research and conservation efforts.

Keywords: Valle del Drâa, Kasbah des Caids, architettura berbera, rilievo digitale multi-strumentale.

1. Introduzione

I villaggi berberi del Marocco presahariano rappresentano un complesso e antico sistema insediativo fortificato che si sviluppò lungo le valli fertili, in particolare dei fiumi Drâa e Ziz. Le architetture tradizionali di questa regione si distinguono per il loro carattere difensivo: le cittadelle fortificate, gli *Ksar* (pl. *Ksour*), come pure le singole strutture abitative (*Kasbah*), che testimoniano una storia di adattamento e resilienza in un ambiente arido e caratterizzato da forti contrasti climatici (Hensen, 1986). L'organizzazione architettonica rispondeva infatti alle esigenze difensive delle comunità, costrette a proteggersi dalle incursioni e dalle dure condizioni ambientali (Curtis, 1983; Pietropaolo, 2018). Questi insediamenti rappresentavano le principali tappe lungo le rotte carovaniere che connettevano il Mediterraneo alle regioni interne del Marocco e al Sahara, favorendo il commercio e gli scambi culturali (Austen, 2010). I resti materiali delle architetture vernacolari costituiscono ancora oggi, a distanza di secoli, un patrimonio culturale unico che affascina per il suo carattere e la forte simbiosi

BY-NC-SA

con il paesaggio circostante (Zerhouni & Guillard, 2001). All'interno di questo contesto si inserisce il villaggio fortificato di Tamnougalt che grazie alla sua posizione strategica, al centro della valle del Drâa, tra Ouarzazate e Zagora, diventò un centro vitale per il controllo del traffico carovaniero. Originariamente fondato da Berberi nomadi, Tamnougalt ha svolto un ruolo centrale nel sistema economico e politico della regione, grazie anche alla sua vicinanza ai palmeti irrigati del Drâa, essenziali per l'agricoltura e l'allevamento locali (Badia Rodriguez, 2000; Elkarimi, 2005).

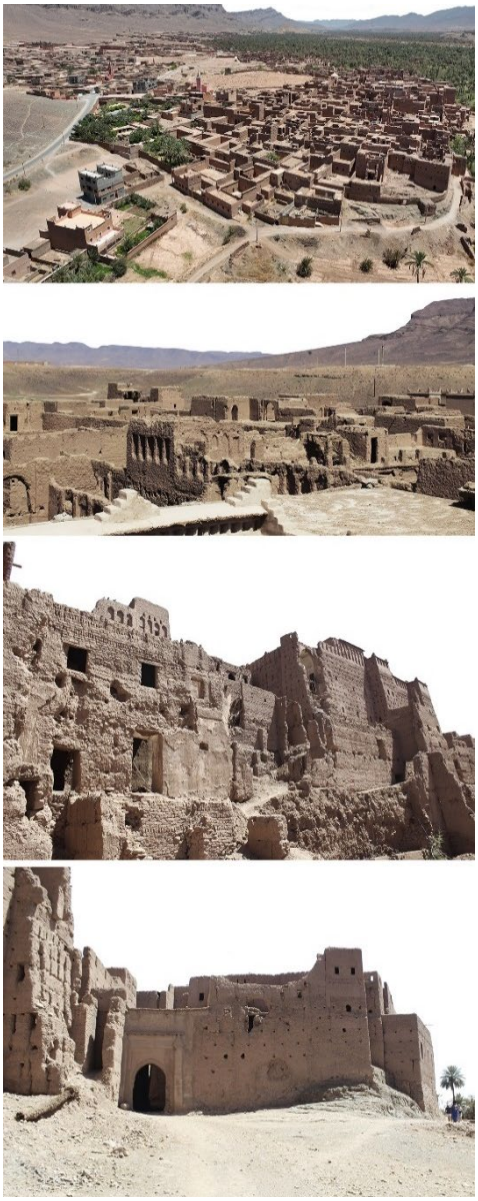


Fig. 1- Tamnougalt, ciò che resta delle strutture abitative dell'antico insediamento (foto degli autori, 2024).

Questo complesso, straordinario esempio di architettura tradizionale berbera, conserva tuttora la sua rilevanza grazie alle imponenti strutture in terra cruda. Tuttavia, l'abbandono del villaggio, con la conseguente assenza di manutenzione, ha accelerato il processo di deterioramento delle costruzioni in terra, mettendo a rischio l'integrità di questa preziosa testimonianza storica e culturale. Per preservarne i caratteri, si rendono dunque necessari interventi urgenti di documentazione, conservazione e valorizzazione.

2. Lo Ksar di Tamnougalt e la Kasbah del Caids

L'antico villaggio di Tamnougalt, oggi affiancato a nord da un insediamento di recente costruzione, è caratterizzato da una disposizione irregolare degli spazi urbani, con un fitto agglomerato di edifici costruiti in terra cruda che si sviluppano attorno a patii interni. L'architettura del luogo è pensata per rispondere alle condizioni climatiche estreme, con vie strette e coperte che proteggono dal caldo e dal vento, e abitazioni compatte per ottimizzare l'uso delle risorse.

Il villaggio è organizzato in quartieri, ciascuno dei quali riflette la divisione sociale tra le diverse classi e tribù che abitavano la zona. All'interno dell'impianto insediativo è possibile rintracciare, ad esempio, il quartiere della K*asbah* destinato ai membri della famiglia dominante, il Tighremt, abitato dai servitori della *Kasbah*, e il quartiere ebraico o *Mellah*. Il centro vitale del villaggio è la piazza Assarag, intorno alla quale si trovano edifici di uso comune come l'hammam, il bazar e il Marabutto (Sacchetti et al. 2005). Le tecniche costruttive impiegate a Tamnougalt sono principalmente basate sull'uso di materiali locali come la terra cruda, lavorata in forma di *pisé* o mattoni di *adobe*. Questi materiali, oltre a essere economici e facili da reperire, offrono eccellenti proprietà isolanti, fondamentali per mantenere freschi gli interni durante il giorno e trattenere il calore durante la notte (Mecca et al. 2012).

Uno degli edifici più rappresentativi di Tamnougalt è la K*asbah del Caids*, residenza della famiglia del Caid, il governatore locale. La *Kasbah* è una costruzione imponente e fortificata, simbolo del potere politico e sociale del Caid nella

regione. Costruita anch'essa in terra, la struttura è inglobata all'interno dell'insediamento, e si sviluppa attorno a numerosi cortili interni, dove si svolgevano la maggior parte delle attività quotidiane.

Attualmente, il complesso di Tamnougalt e la K*asbah* presentano diverse criticità, frutto sia della fragilità del materiale costruttivo sia dell'assenza di interventi di manutenzione, che li hanno condotti a uno stato di parziale abbandono.

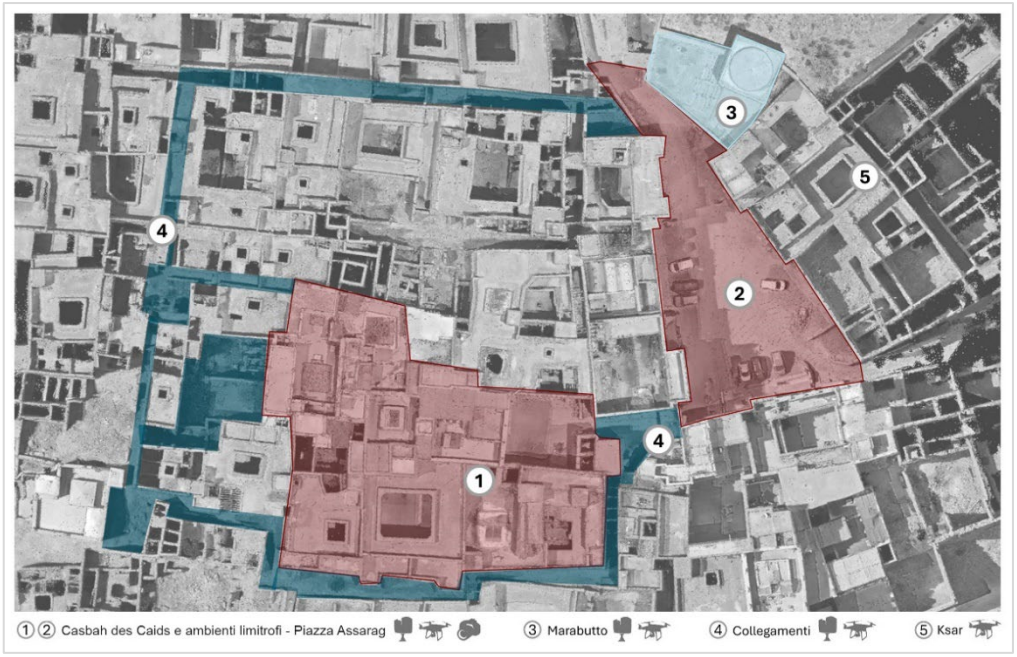


Fig. 2- Aree interessate dalle azioni di documentazione suddivise per strumentazione utilizzata (elaborazione degli autori, 2024).

Alcune aree sono state recuperate e adattate a nuovi usi, come la locazione turistica, ma spesso sono state adottate tecniche e materiali, come l'utilizzo deliberato di elementi strutturali in calcestruzzo armato, non conformi alle caratteristiche originarie della struttura.

Ciò sta intaccando le specificità e i caratteri di questo complesso architettonico, compromettendone la comprensione delle sue caratteristiche originali.

3. Documentazione digitale dell'insediamento

Nel maggio 2024, grazie alla collaborazione tra il Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze e il Dipartimento di Geologia dell'Università Cadi Ayyad di Marrakech è stato organizzato un *workshop* internazionale, rivolto a studenti delle due facoltà, per avviare azioni conoscitive sulle specificità e le tecniche costruttive artigianali del complesso insediativo di Tamnougalt.

La campagna di documentazione digitale mirava a un duplice obiettivo: da un lato, registrare il valore architettonico del monumento, evidenziandone le peculiarità e le criticità legate alla stabilità e alla conservazione; dall'altro, approfondire gli aspetti costruttivi e tecnologici (Parrinello & Cioli, 2019; Florio, 2024).

Attraverso la sperimentazione di tecniche di rilievo speditivo, grazie all'integrazione di sistemi LiDAR terrestri e tecniche di fotogrammetria SfM (*Structure-from-Motion*) è stato possibile strutturare e gestire, sia in termini di scala territoriale che di big data, un database digitale georeferenziato di punti rappresentativo delle complessità morfologiche della *Kasbah* e dello sviluppo urbano dell'interno villaggio (Leon et al. 2020; Parrinello, Picchio et al. 2024).

3.1 Le attività di rilevamento sul campo

La campagna di documentazione digitale è stata condotta con un protocollo di indagine integrato, attraverso l'applicazione di diverse metodologie e strumentazioni di rilievo e restituzione. Le scelte sono state effettuate in relazione alla più adeguata capacità di interazione con la morfologia del complesso e per ottenere i migliori risultati in termini di tempistiche, elaborazione dei dati e di obiettivi di ricerca. Sono stati integrati due principali sistemi di indagine: misurazioni con laser scanner terrestre (TLS) e tecniche di fotogrammetria SfM con acquisizioni aeree, attraverso sistemi UAV, e da terra, con fotocamere DSLR (Chiarabrando et al. 2016, Pancani & Bigongiari, 2022).

L'elevata complessità morfologica degli ambienti dell'insediamento, sia per l'articolazione planimetrica sia per lo sviluppo su più livelli caratteristico di questo tipo architettonico, ha reso necessario scomporre il complesso prima di procedere alle attività di rilevamento. La suddivisione è stata effettuata in unità spaziali, corrispondenti alle aree di sviluppo degli ambienti attorno ai patii. Questa suddivisione ha facilitato le operazioni di rilievo, che sono state quindi condotte su unità geometriche relativamente semplificate e impostando il ricongiungimento dei settori su una seconda fase di elaborazione.

In particolare, le attività di documentazione digitale hanno interessato, a differenti livelli di risoluzione: (i) l'intero villaggio fortificato attraverso l'applicazione di metodologie di fotogrammetria *close-range* con strumentazioni UAV per una acquisizione a livello territoriale; (ii) gli ambienti interni della *Kasbah*, attraverso l'utilizzo integrato di strumentazioni TLS, UAV e DSLR per una comprensione a scala architettonica in grado di facilitare la lettura degli articolati ambienti interni e delle caratteristiche materiche delle superfici; (iii) la piazza principale e i relativi collegamenti con la *Kasbah*, combinando TLS e UAV per comprendere le relazioni spaziali tra questo complesso e il resto del villaggio, nell'ottica di mantenere un elevato grado di affidabilità e sovrapposizione nei nodi cruciali (De Marco & Pettineo, 2022).

Durante le operazioni di misurazione, sono stati definiti specifici vincoli geometrici con punti di controllo, che hanno garantito un'elevata affidabilità e accuratezza nella fase di allineamento e roto-traslazione delle singole porzioni rilevate su un unico sistema di riferimento globale. Il rilievo laser scanner terrestre (TLS) ha acquisito dati e misure nello spazio tridimensionale attraverso postazioni di scansione sviluppate lungo percorsi poligonali, concatenando le unità spaziali tra loro, con i collegamenti e con gli ambienti esterni.

Con la distribuzione delle operazioni di scansione su più postazioni, è stato possibile concentrarsi sulla documentazione delle superfici aggirando gli ostacoli e risolvendo i problemi rappresentati dalla complessa articolazione degli spazi e da elementi di disturbo come arredi e macerie.

Il rilievo TLS è stato effettuato con un Leica BLK360, le cui caratteristiche e la facilità di trasporto, hanno permesso all'operatore di raggiungere agevolmente tutti gli ambienti, in particolare gli interni della K*asbah*, rendendo le attività di documentazione agevoli e rispondenti alla richiesta di un rilievo speditivo. Sono state effettuate un totale di 650 stazioni con un tempo medio di acquisizione di 2 minuti per scansione e una velocità di misurazione dei punti fino a 680.000 pts/sec.

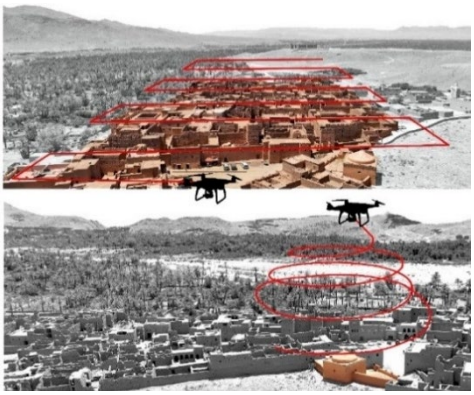


Fig. 3- Acquisizione fotogrammetrica con UAV: strutturazione di percorsi a griglia (sopra) e per punti di interesse sugli edifici isolati (sotto) (elaborazione degli autori, 2024).

Parallelamente, è stata condotta una duplice campagna fotogrammetrica. La prima, aerea, è stata realizzata con strumentazione UAV per documentare l'intero complesso architettonico, restituendo superfici materiali e dettagli architettonici a integrazione del rilievo laser. La seconda, da terra, è stata effettuata con fotocamere DSLR per mappare i fronti principali e produrre una documentazione di dettaglio.

La strategia di acquisizione aerea, realizzata con un drone DJI Phtantom 3 Pro, è stata strutturata in 5 piani di volo da 200-250 foto ciascuno (risoluzione 96dpi e dimensioni 5280x3956).

La prima fase ha previsto l'esecuzione di piani di volo a griglia (3 piani, con angoli di ripresa nadirali e doppi a 45°), per consentire un'acquisizione complessiva dello *Ksar*. La seconda fase ha previsto l'esecuzione di 2 piani di volo radiali, eseguiti sulla *Kasbah* con traiettorie concentriche multi-altimetriche (con angolo di ripresa di 45°), completando una copertura "a cono" intorno all'oggetto architettonico.

I dati ottenuti (nuvola di punti ad alta risoluzione con una densità media di 5 milioni di punti/mq) hanno permesso di elaborare un unico dataset tridimensionale dell'area urbana. La documentazione attraverso UAV ha reso possibile l'acquisizione di elementi altrimenti inaccessibili all'operatore da terra, come aree pericolanti e coperture.

La metodologia adottata in fase di rilievo ha permesso di integrare la banca dati in fase di post-produzione, garantendo una copertura totale e affidabile delle informazioni morfologiche e colorimetriche non acquisite attraverso strumentazioni terrestri. La campagna fotografica attraverso DSLR si è rivelata utile per la documentazione delle superfici, nell'ottica di mappare le eventuali criticità del complesso, come la presenza di degradi localizzati e problematiche a carattere strutturale. Questo ha permesso la realizzazione di schede di analisi a supporto dello studio del complesso.

3.2 La strutturazione di una banca dati digitale

La fase di post-produzione ha visto l'elaborazione dei dati provenienti dalle diverse strumentazioni e il successivo riferimento dei *dataset* a UCS comune, nell'ottica di ottenere un unico database multi-scalare e ad alta risoluzione dell'interno complesso. Le scansioni provenienti da TLS, dopo aver subito un processo di importazione, filtraggio e selezione, sono state allineate all'interno del software di gestione di nuvole di punti Leica Cyclone.

Nell'allineamento dei dati TLS, le scansioni sono state suddivise in relazione alla suddivisione per unità spaziali operata in fase di rilevamento, considerando il rapporto della *Kasbah* con l'intero insediamento e in relazione ai percorsi di collegamento principali e secondari. La suddivisione delle aree acquisite ha garantito un migliore controllo, facilitando la gestione dei database durante la registrazione.

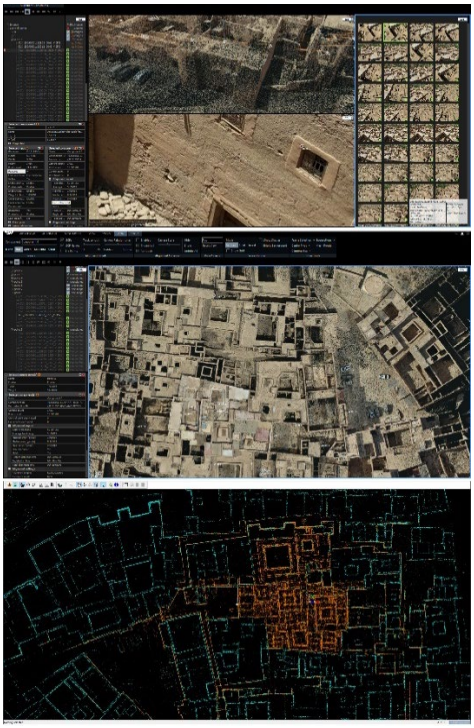


Fig. 4- Allineamento e unione della banca dati fotogrammetrica con il dato TLS (elaborazione degli autori, 2024).

L'interazione tra le diverse scansioni, sviluppata in modalità cloud-to-cloud, è risultata ottimale con sezioni di sovrapposizione media di 10m tra le scansioni (5m nel caso degli ambienti interni, e circa 2 metri negli spazi ristretti come le scale e i collegamenti interni) e un errore medio di 20 mm accettabile sul dato complessivo della *Kasbah*.

Il primo risultato parziale è una nuvola di punti ad alta risoluzione (6.211.893.275 punti in totale) della *Kasbah*. Le fotografie provenienti da rilievo UAV sono state elaborate attraverso il software RealityCapture in un unico processo, che ha permesso di ottenere una nuvola di punti densa (con un totale di 120 milioni di punti) dell'intero insediamento. Il dato elaborato, privo di valore dimensionale, è stato poi referenziato e scalato sulla base della nuvola di punti laser scanner, identificando i punti morfologici comuni ai due dataset e inserendo le coordinate, nella nuvola di

punti fotogrammetrica, provenienti dal sistema di riferimento TLS. L'integrazione tra banche dati, sia in termini di rilievo estensivo (UAV) che puntuale (TLS), ha incrementato la quantità e la qualità delle informazioni gestibili in termini di documentazione rapida del complesso. La complementarità strumentale e il controllo dell'affidabilità nell'allineamento dei dati metrici hanno permesso la restituzione della morfologia dell'intero complesso, rendendo possibili analisi del contesto architettonico alle diverse scale di indagine.

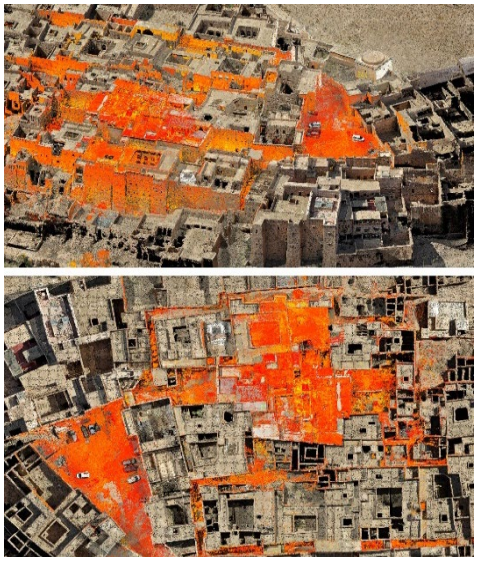


Fig. 5- Dettagli della banca dati complessiva, è evidenziata la porzione acquisita attraverso TLS (elaborazione degli autori, 2024).



Fig. 6- Banca dati 3D, l'acquisizione multiscalare ha reso possibile la comprensione morfometrica delle complessità architettoniche del villaggio e in particolare della Kasbah (elaborazione degli autori, 2024).

Il risultato è quindi una banca dati tridimensionale che si presta ora a molteplici usi (Galeazzo & Parrinello, 2024): una rete metrica di base, un sistema organico di informazioni adattabile a successive azioni di discretizzazione e integrazione.

4. Conclusioni e sviluppi futuri

A partire dal database digitale sviluppato, è in corso uno studio sul complesso architettonico per approfondire la morfologia e le tecniche costruttive utilizzate. Un primo sviluppo della ricerca ha visto la realizzazione di elaborati bidimensionali da cui è possibile apprezzare le complessità intrinseche e i caratteri dell'oggetto architettonico, andando ad evidenziare quelli che sono gli aspetti tecnologici e le eventuali criticità nella conservazione delle strutture. La documentazione digitale, integrando disegni bidimensionali, modelli fotogrammetrici e nuvole di punti, ha permesso di restituire in maniera accurata le qualità materiche e la complessità delle architetture tradizionali, preservando l'affidabilità metrica degli elaborati tecnici. Questi strumenti digitali non solo supportano la conservazione delle strutture, ma offrono una base solida per ulteriori studi e interventi (Kowalski et al. 2023; Galasso, 2024). A partire da queste azioni, l'obiettivo è quello di sviluppare sistemi informativi complessi che raccolgano e organizzino non solo le informazioni morfometriche, ma anche schede di analisi e i disegni bidimensionali. L'utilizzo integrato di informazioni e metadati provenienti da differenti sorgenti, renderà la fruizione e la comprensione del patrimonio più accessibile, facilitando il lavoro di ricercatori, tecnici, e anche del grande pubblico, creando un ponte tra passato e presente (Picchio et el. 2022, Parrinello et al. 2024). Coinvolgere il pubblico nella scoperta di questo patrimonio, attraverso iniziative didattiche e culturali, può essere un'opportunità per stimolare l'interesse e la consapevolezza sull'importanza della sua conservazione (Borucka et al. 2023). Inoltre, avviare percorsi di recupero mirati, basati sulla preservazione delle tecniche costruttive originali, contribuirà a mantenere l'integrità e l'autenticità di questi complessi architettonici, evitando interventi che potrebbero alterarne le caratteristiche essenziali. In questo modo, il patrimonio architettonico di Tamnougalt e di altre strutture simili potrà non solo essere preservato, ma anche valorizzato e reso comprensibile, attraverso l'uso di tecnologie innovative e la condivisione delle conoscenze, stimolando un approccio integrato tra ricerca, conservazione e valorizzazione culturale.



Fig. 7- Nuvola di punti complessiva dello Ksar di Tamnougalt: oltre alle caratteristiche morfometriche è possibile apprezzare le peculiarità materiche delle strutture in terra cruda (elaborazione degli autori, 2024).

Ringraziamenti

Le attività di documentazione sono state svolte durante un workshop internazionale tenutosi presso il villaggio di Tamnougalt, coordinato congiuntamente dal Dipartimento di Geologia della Facoltà di Scienze Semlalia dell'Università Cadi Ayyad (UCA) e dal Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze (UNIFI). Il workshop è stato organizzato dai professori Mounsif Ibnoussina (UCA), Sandro Parrinello (UNIFI) e Giovanni Pancani (UNIFI), con la collaborazione dei professori Admou Khaoula, El Abbassi Fatima Zahra, Bahammou Younes, Berroug Fatiha (UCA) e Letizia Di Pasquale, Lamia Hadda (UNIFI), Fabio Fratini (CNR Firenze), con la partecipazione della dott.ssa Monica Lusoli (UNIFI). Monica Lusoli (UNIFI).

Al workshop hanno partecipato:

1 - Università Cadi Ayyad - PhD Khaoula Admou e studenti Daayout Fatima Ezzahra; Bouhrachi Imane; Hafyan Saadt; Hicham Rihab; Ait Benali Azzdine.

2 - Università di Firenze - PhDs Alberto Pettineo e studenti Houssem Kouidhi; Francesco Pini; Maria Chiarella; Rachele Parrini; Federico Strazza; Asia Salvestrini; Guglielmo Rocco; Raffaele Vergaro; Mariachiara Sammito; Giacomo Talozzi; Alessia Antonia Nicoletti; Emma Castelli; Davide Vinci; Tommaso Mannari; Lorenzo Gianassi; Jurgen Rina; Andrea Maria Sacchetti; Kawtar El Hamdani; Edoardo Finucci.

Bibliografia

Austen, R.A. (2010). *Trans-Saharan Africa in world history*, Oxford University Press.

Badia Rodríguez, J., Cusidó Garí, O., Graus, R., Villaverde, M. (2000). *Marruecos presahariano: hábitat y patrimonio*. BIA Madrid, 209, pp. 84-88.

Borucka, J., Parrinello, S., & Picchio, F. (2023). Digital data and tools in transformative education to preserve architecture and cultural heritage: case studies from Italy and Poland. *Global Journal of Engineering Education*, *25*(2), 129-134.

Chiabrando, F., Di Pietra, V., Lingua, A., Maschio, P., Noardo, F., Sammartano, G., & Spanò, A., (2016). TLS models generation assisted by UAV survey. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41, pp. 413-420.

Curtis W.J.R. (1983). Type and Variation: Berber Collective Dwellings of the Northwestern Sahara. *Muqarnas: An Annual on Islamic Art and Architecture I*, pp.181-209.

De Marco R., Pettineo A. (2022). The recognition of Heritage qualities from feature-based digital procedures in the analysis of historical urban contexts. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 46, pp. 175-182.

Elkarimi A. (2005). La gestion des ressources en eaux d irrigation dans la vallée du Dra moyen au Maroc. Nouveaux acteurs et nouvelles approches. In: *1st int. research seminar on architectural heritage and sustainable development*, pp. 29-38.

Florio, R. (2024). Procedure e metodologie per la conoscenza e il disegno delle architetture della città. *TRIBELON Journal of Drawing and Representation of Architecture, Landscape and Environment*, 1(1), 40-49.

Galasso, F. (2024). Rappresentazione digitale e restauro virtuale per la validazione di ipotesi ricostruttive del ciborio della Pieve di San Giorgio in Valpolicella. *Restauro Archeologico*, 32(1), 80-101.

Galeazzo, L., & Parrinello, S. (2024). Historical and 3D Survey Analyses for an Informative Database on the Venetian fort of Sant'Andrea. In: Islami G., Veizaj D. (Eds.) *Defensive Architecture of the Mediterranean XV to XVIII Centuries*. Vol. 17: Proceedings of FORTMED – Modern Age Fortification of the Mediterranean Coast, 18-20 April, Tirana, Universiteti Politeknik i Tiranës, pp. 619-626.

Hensens J. (1986). *Qsours et Qasbas du Maroc. Réflexions sur l'Evolution de l'Habitat Rural Traditionnel*, Singapur, Marka Print Pte Ltd.

Kowalski, S., La Placa, S., & Pettineo, A., (2023). From archives sources to virtual 3D reconstruction of military heritage–the case study of Port Battery, Gdańsk. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, 885-893.

Leon I., Pérez J.J., Senderos M. (2020). Advanced techniques for fast and accurate heritage digitisation in multiple case studies. *Sustainability*, 12.15: 6068.

Mecca S., Baglioni E., Dipasquale L. (2012). Cultural landscape of the Drâa Valley, Morocco. In: *TERRA 2012 proceedings, 11th International Conference*, pp.141-146.

Pancani, G., Bigongiari, M. (2022). The aerial photogrammetric survey for the documentation of the Cultural Heritage: The Verruca Fortress on the pisan mountains. In *D-SITE: Drones-Systems of Information on Cultural Heritage for a spatial and social investigation, Pavia University Press, pp. 76-83.*

Parrinello, S., & Cioli, F. (2019). Establishment of a Complex Database for the Study of Cultural Heritage Through the Reading and Analysis. *Digital Cultural Heritage*, 51.

Parrinello, S., Dell'Amico, A., Galasso, F., Porcheddu, G. (2024). Virtual Spaces for Knowledge Preservation: Digitization of a Vanished Archaeological Excavation. In: Giordano, A., Russo, M., Spallone, R. (eds) *Advances in Representation. Digital Innovations in Architecture, Engineering and Construction*. Springer, Cham.

Parrinello, S., Picchio, F., La Placa, S. (2024). The Construction of an Informative 3D Model for the Monitoring of City Heritage Risk. In: Thiel, F., Orabi, R. (eds) *Reviving Aleppo. Cities, Heritage and Transformation*. Springer, Cham.

Picchio, F., Galasso, F., & Porcheddu, G. (2022). Sistemi di documentazione per scavi archeologici preventivi: piattaforme GIS per la gestione dello scavo del Santa Margherita a Pavia. *Mimesis*, 2(1), 56-71.

Pietropaolo C., (2018). The Theme of the Kasbah in Islamic–Mediterranean Architecture. Settlements Along Draâ Valley, Morocco. In: *Putting Tradition into Practice: Heritage, Place and Design: Proceedings of 5th INTBAU International Annual Event 5*. Springer Int. Publishing.

Sacchetti, F., Stefanelli Tacconi, C., Gonzalez Vilchez, J. M. (2005). Doors of the city. Avenues of the Ksar of Tamnougalt. In: *1st international research seminar on architectural heritage and sustainable development of small and medium cities in south Mediterranean regions: results and strategies of research and cooperation*, pp. 53-61.

Zerhouni S., Guillaud H. (2001) *L'architecture de terre au Maroc*, Paris, ACR Edition.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20372

Surveying and LiDAR scanning of fortification on Goriška Gradina site near Šibenik

Josip Pavić[a], Tomislav Zojčeski[b], Andrija Nakić[c]

[a] Fortress of Culture, Šibenik, Croatia, josip@tvrdjava-kulture.hr, [b] Archaeologist, Ruina Ltd, Šibenik, Croatia, arheo@ruina.hr, [c] Fortress of Culture, Šibenik, Croatia, arheo@tvrdjava-kulture.hr

Abstract

The village of Goriš is located in the hinterland of Šibenik, about 15 kilometres to the northeast, on the border of the former medieval Šibenik district. In the midst of conflict with the magnates of the Croatian noble Nelipić family, the communal government of Šibenik (then under Venetian protection) built a fort in Goriš in the mid-14th century. The fort was allegedly mentioned for the last time during the Ottoman conquests two centuries later. The modest remains of this fort were detected in early months of 2020 on a steep, difficult-to-access hill overgrown with rough maquis vegetation. The hill is located about 1km east of the village, on a top of a peninsula overlooking the valley of a nearby Čikola river. The first field survey suggested that the newfound fragments are the remains of a fortified watchtower. The location was then documented with a LiDAR scanner in late 2022, with the results showing a number of previously undetected structures. A new, more detailed field survey showed that the commune of Šibenik constructed a respectable fort which occupied more than 300 square metres. It is one of the first cases of a Dalmatian commune planning and building a fortification to protect its own territory, which would become more common throughout the second half of the 15th century.

Keywords: Šibenik, Dalmatia, late medieval fortification, LiDAR scanning.

1. Introduction

Goriška Gradina archaeological site is located in the hinterland of Šibenik (Fig. 1), about 1 km west of the Goriš village. Several smaller archeological points are all located on this land protrusion, a peninsula positioned between the slopes of Čikola river canyon on the northwest side and the bay and then the dry creek of Punčka draga on the southwest side. The only approach to the site is from the eastern side, with a macadam path from the Goriš hamlet of Đakovići.

Although it does not dominate the landscape in height, from this easily defensible position one can monitor a large part of the Čikola canyon toward the northeast and the river's confluence to the Krka River about 2 km downstream. Goriška Gradina is today covered with maquis, a typical Mediterranean low-vegetation biome which is here dominated by cade juniper and mastic shrubs along with low Aleppo pines. It is important to note that the lower course of Čikola river, together with the surrounding land area, is within the protected area of Krka National Park since 1985.

Goriška Gradina site consists of several elevated positions on the peninsula's ridge, used in different historical periods. The aforementioned land approach from the eastern side was defended by a wide drywall rampart positioned at the beginning of the ridge. The wall remains are built of crude stone blocks arranged in a straight north-south line about 35 metres long. The external face

CC BY-NC-SA

of the wall, built out of somewhat larger blocks, is still visible on some places. The lack of this face on a central part of the wall can suggest an entrance or a passage. At the ends of the ridge where the rampart ends, the defensive role was taken over by the rocky terrain and the steep cliffs, especially on the southern side. The construction method and present-day appearance of the rampart suggest its prehistoric origin.

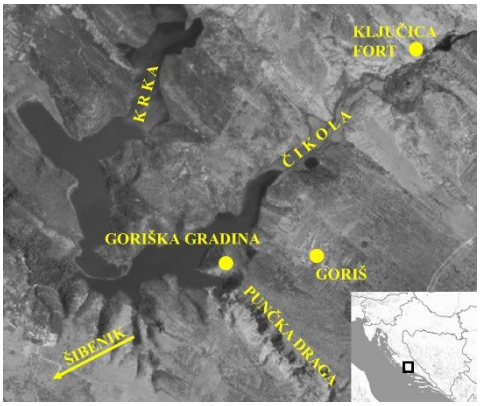


Fig. 1- The location of Goriška Gradina and other sites mentioned in the paper (graphic elaboration by Josip Pavic, 2024).

About 150 metres along the ridge towards the west, a narrow path leads to a small elevation on the narrowest part of the ridge. A large amount of various-sized uncarved and crudely carved stones can be found on the northeastern slopes of this elevation. Numerous larger fragments of mortar-bound stones are also dispersed there, and traces of limestone mortar are scattered all around the slope. Although the foundations of the walls are not visible, the abundance of fragments show that there was an object – a wall or a building – on this position, probably a fortification which guarded the approach.



Fig. 2- Aerial view of Goriška Gradina towards the west (photo by Fortress of Culture, 2021).

Crljenica, the highest peak of Goriška Gradina is located another 120 metres to the west (Fig. 2). The remains of semicircular and straight-line walls are clearly visible on the southern side of the peak, preserved in several rows and made of crudely carved mortar-bound rocks. Fragments of mortar and mortar-bound rocks are also found scattered on the surrounding slopes. Further analysis showed that these are the remains of a medieval fortification.

2. Historical development

The objects on Goriška Gradina were noted for the first time when Frano Dujmović, then a director of Šibenik city museum, visited Goriš in mid-June of 1955. He remarked in his notes: "There are significant ruins of a large and small hillfort on a nose above Čikola to the west of the village (…) The closer one is smaller and the one about 50 m further is larger. On this one, the foundation wall can easily be seen towards the south in the shape of a circle. They dominate Čikola and the surroundings in an extraordinary way. The smaller one was probably a rampart or something similar because the width of the nose is the narrowest there. (…) These are the towers of Šibenik that were mentioned in the Middle Ages for defence against feudal lords" (Belaj, Pavić & Krnčević, 2022). The location was not furtherly explored.

As was already noted by Dujmović and other authors (Stošić, 1941; Dujmović, 1976; Kolanović, 1995), well-known archival sources from the 1340's testify about a relatively long-lasting conflict between the commune of Šibenik, then under a very tame protection of Venice, and count Nelipac, whose family (and later, successors) controlled the largest part of Dalmatian hinterland. This conflict was a continuation from the early 1320's when the commune rebelled against the Šubić family, the *de facto* rulers of Croatia and Dalmatia, and sought protection of Venice. The Šubić's were soon replaced as the most powerful feudal lords by count Nelipac, whose nephew Konstantin was based in Ključica fort on the right bank of Čikola, about 4 km upstream from Goriš. As Ključica was on the border of the Šibenik district, Konstantin used his position to, according to the reports from Šibenik, impose tolls on the merchants, disrupting the trading routes and "ancient customs" (Jakovljević & Isailović, 2019). In late 1342, the commune was, with the permission of Venice,

constructing the fort of Goriš on the other bank of Čikola, as a counter to Ključica fort. Goriš fort was mentioned several more times in 1343, before the final agreement between count Nelipac and Venice in October – Ključica fort was to be demolished, trade was supposed to continue without tolls or interruptions, and then the new Šibenik-made fort was also to be demolished. However, Konstantin was stalling the destruction of Ključica for several years, and the well-preserved remains of this fort today suggest that it was never completely demolished.

As we have seen, there is no evidence that Ključica fort was completely destroyed and similarly, there is no evidence that Goriš fort was completely finished. However, there are vague traces that the fort was indeed used for some time. The last, although questionable archival mention allegedly comes from 1529, when the surrounding area was in a devastated no man's land between Venice and the Ottoman Empire (Stošić, 1941). A fortress or a tower at this very precise position (left bank of Čikola above the confluence with Krka) is also shown on a recently published map from the first decade of 16th century (Fig. 3), and it seems that – despite differing opinions – this is indeed a structure on the Goriška Gradina site (Juran, Barzman & Faričić, 2019).



Fig. 3- A fortification on the peninsula near the destroyed village (?) of Goriš (Juran, Barzman & Faričić, 2019).

3. Field surveys and documentation of the site

The researchers and publishers of the aforementioned early 16th century map have suggested that the tower near the ruins of Goriš (?) could be located on the site of Goriška Gradina. The first reconnaissance survey, motivated precisely by this paper, took place on January 27th, 2020. Due to the overgrown evergreen vegetation, the survey was quite demanding. Nevertheless, the remains of an object were detected at the highest Crljenica peak, and later contextualized as the walls of 14th-century castrum Goris (Fig. 4). The survey results and photo-documentation were published in 2021 (Pavić & Nakić, 2021). Since the cartography source showed only a tower, and during the survey this object appeared to be of modest dimensions (~10x10m), the site was published as a "tower", which prompted other authors who researched this area to conclude that castrum Goris "has yet to be discovered" (Josipović & Krnčević, 2022).


Fig. 4- Mortar-bound walls detected during the first survey (photo by Fortress of Culture, 2020).

Due to the inaccessibility and the impassability of the terrain, it was concluded that – before any classical type of archaeological research – the site should be documented with non-destructive methods. Therefore, during the December of 2022 Goriška Gradina and its wider area of about 30 ha was surveyed by using a UAV system with LiDAR sensor and rgb camera. The survey included an integrated application of LiDAR and photogrammetry by using a system which collected point cloud and image data simultaneously. Airborne laser scanning (ALS) is a remote sensing technology which uses laser beams to accurately and repeatedly measure the distance from the sensor to an object and then stores those measurements into a point cloud. Some laser beams returns will pass through the gaps in vegetation canopy, reaching the ground and allowing us to "see through" the dense shrubland. (Opitz & Cowley, 2013; Opitz, 2013).

LiDAR data collected at the site was processed and classified (filtered) to obtain a precise and detailed DTM (digital terrain model). Density of

the ground class was 240 points/m², generating a high resolution DTM (0.1 m), which was then visualized and interpreted for archaeological remains. Visualization of the data was done by using Relief visualization toolbox – RVT (Kokalj & Hesse, 2017), while all the interpretation, mapping and database management was completed in QGIS software.

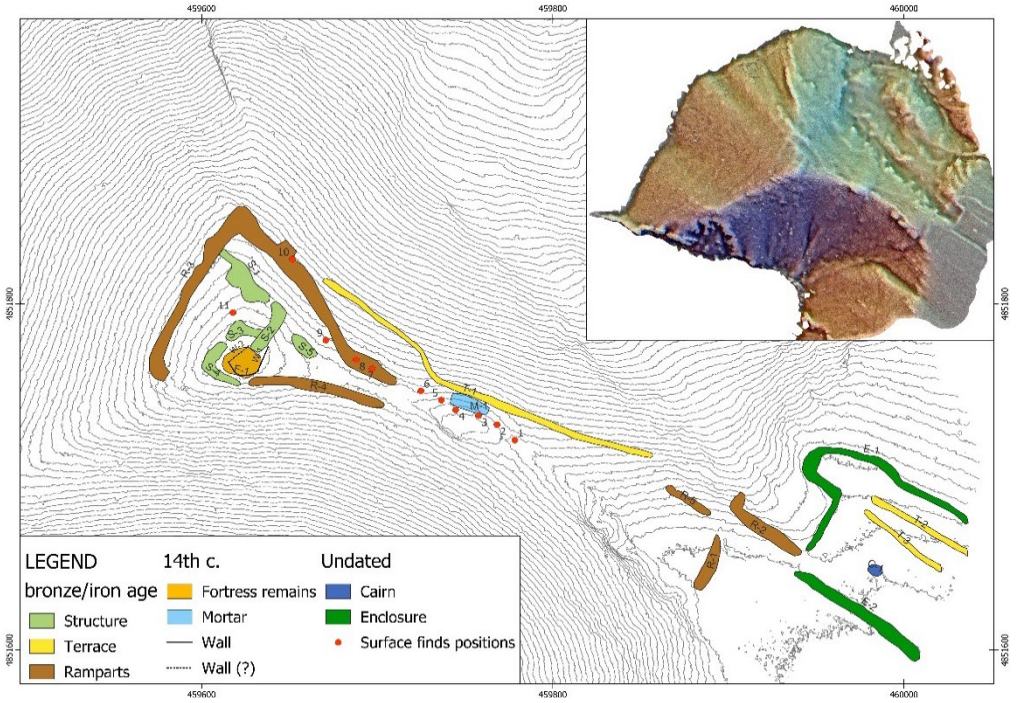


Fig. 5- LiDAR results (graphic elaboration by Ruina Ltd., 2022).

The company Ruina Ltd. completed the survey as well as processing and interpretation of the LiDAR data. As was mentioned earlier the site has remains from prehistoric and late medieval periods, but both reflect the comparable nature of the site, that of fortified character.

All the structures described before, and many others can clearly be seen on LiDAR mostly as smaller banks formed from stones of collapsed structures. At least 3 clear phases can be recognized on the site, the oldest one belonging to a prehistoric bronze and iron age hillfort - based on the surface finds collected at the site (Fig. 5).

The vast majority of all remains discovered from LiDAR survey were attributed to this phase and they can be distinguished as structures built in dry-stone technique. The entrance to the ridge was protected by three ramparts (R-1, R-2, R-5). A narrow path between them, supported by a retaining wall on the northern side, formed a thin terrace which was the only communication toward the interior (T-1).

The path ended on a northernmost position on the ridge which was additionally protected by a larger rampart (R-3, R-4) surrounding the site peak on all sides with a narrow funnel-shaped entrance which was supposed to maximize its defensive capabilities. Inside the protected area of the hillfort more dry-stone remains can be seen (S-1, S-2, S-3, S-4, S-5).

The remains of a 14th century fort (W-1, W-2) are located at the peak of the site. The fragments of its walls are preserved on eastern and southern side, and most likely on the western side as well (Fig. 6), but these latter lines were not precisely defined due to the thick vegetation cover. Aside for the described fortification remains, on the eastern side of the ridge entrance, there is a larger enclosure with the remains of two terraces (T-2, T-3) and one clearance cairn (C-1) of unknown date, but with modern wall added onto the top of the enclosure, which can eliminate their modern origin.

After the interpretation of the archaeological remains was completed, in May and September of

2024 the site was visited again to complete the field survey of recognized remains.

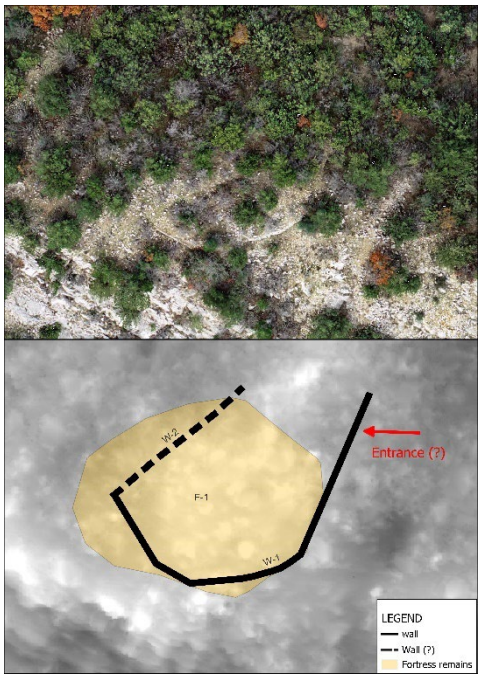


Fig. 6- Fortification remains on Crljenica Peak (graphic elaboration Ruina Ltd., 2024).



Fig. 7- Lines of the fortification wall (photo by Fortress of Culture, 2024).

The results of LiDAR data were the basis for these field surveys in which the interpreted maps and visualizations in the Qfield application on mobile devices were used to further document and map remains. A new survey has shown that the remains of the fort are more significant than what was observed in 2020 (Fig. 7).

The lines of the walls were longer, and the fort occupied an area of about 300 m^2, which shows that it was not just a guard tower. Some very modest traces of lines on the eastern side could indicate a protected entrance, but the dense vegetation has prevented a definite conclusion. The same is true for the western wall, which could not be fully defined, although the relief and some surface remains hint at it. Numerous remains of stones with mortar on the central part of the ridge (M-1) shows that this was indeed a fortified position with a structure guarding the funnel-shaped passage toward the peak.

Small surface finds and fragments were collected at the ridge and on the peak, at 11 locations overall, marked precisely with Qfield application. Most of the finds are pottery sherds which can be dated to bronze and/or iron age (Fig. 8).

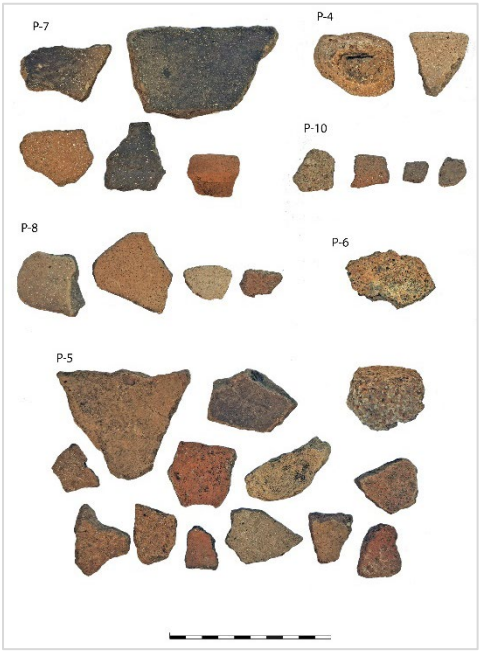


Fig. 8- Pottery sherds from the site (photo by Ruina Ltd., 2024).

Only four diagnostic fragments can be attributed to pots with concave necks which belong to a wider dating period and since no other distinctive diagnostic or decorated sherds were found, it is very difficult to precisely date the finds. Pottery vessels were made by hand, without the use of a pottery wheel and were fired in the open without the kiln.

The clay was mixed with calcite temper. All these characteristics represent a general Liburnian pottery production. (Čelhar & Borzić, 2016; Vujevic, 2011). Except pottery, a fragment of metal slag was found near the entrance to the

hillfort, which can suggest some type of metalworking on the site.

4. Conclusions

The site of Goriška Gradina was recognized (again) in 2020 as the location where the medieval Šibenik commune was building a border fortress in the mid-14th century (with Venetian permission) with the goal of restricting the power of the magnate Nelipčić family. In that period, the construction of fortifications was usually limited to the city ramparts, or to the noble forts on their estates. This was thus one of the first recorded endeavours of an Eastern Adriatic commune to build its own, communal fort within its district, but outside the immediate vicinity of the city. This decision was probably helped by the fact that the entire village of Goriš was a communal estate (Kolanović, 1995). It is not completely certain that the fort was fully completed or that it was in operation, but archival sources can be found up to the first half of the 16th century. Field surveys in 2020 suggested the existence of fortification structures of modest dimensions. A difficult terrain and the site being in a protected area (national park) made classic archaeological methods impossible, so the site was documented with LiDAR in 2022.

The results showed numerous structures from the prehistoric period, as well as some medieval ones. After that, new 2024 field surveys showed that the remains of *castrum* Goriš are more significant than was previously thought, with the collected surface finds confirming the use of this strategic position since prehistoric times.

Further research will probably be carried out by the research team of Krka National Park. Due to the already described topographic and terrain situation, this study presents the maximum of non-invasive research extent for a potential archaeological site.

References

Belaj, J., Pavić, J. & Krnčević, Ž. (2022) O arheološkim istraživanjima lokaliteta Mukoše kraj Goriša 2021. godine = On the archaeological excavations of the site of Mukoše near Goriš in 2021. *Annales Instituti Archeologici* 18, 143-156.

Čelhar, M. & Borzić, I. (2016) Gradina u Zemuniku Donjem - nalazi željeznog i rimskog doba. In: Faričić, J. & Dundović Z. (eds), *Zemunik u prostoru i vremenu*. Zadar, Sveučilište u Zadru & Zavod za povijesne znanosti HAZU u Zadru, Župa Marije Kraljice Mira, Općina Zemunik, 69-117.

Dujmović, F. (1976) Postanak i razvoj Šibenika od 1066. do 1409. godine. In: Grubišić, S. (ed), *Šibenik: spomen zbornik o 900. obljetnici*. Šibenik, Muzej grada Šibenika, 133–288.

Jakovljević, A. & Isailović N. (2019) *Petrovo polje u vrelima osmanskog razdoblja (1528.-1604.)*. Šibenik, Državni arhiv u Šibeniku, Nacionalni park Krka.

Josipović, I. & Krnčević, Ž. (2022) Predromanički ulomci iz srednjovjekovne crkve Sancti Georgii de villa Coglieurate (današnji Sv. Ivan Krstitelj u Konjevratima kraj Šibenika). *Radovi Instituta za povijest umjetnosti* 46, 7-24.

Juran, K.; Barzman, Karen-edis & Faričić, J. (2019) Kartografija u službi mletačke države: karta sjeverne i srednje Dalmacije nepoznatog autora s početka 16. stoljeća = Cartography in the service of the Venetian state: An early 16th-century map of central and northern Dalmatia by an unknown draftsman. *Geoadria* 24 (2), 93-139.

Kokalj, Ž. & Hesse, R. (2017) Airborne laser scanning raster data visualization: A Guide to Good Practice. Ljubljana, Založba ZRC.

Kolanović, J. (1995) *Šibenik u kasnome srednjem vijeku*. Zagreb, Školska knjiga.

Opitz, R. & Cowley, D. (2013) Interpreting archaeological topography: lasers, 3D data, observation, visualization and applications. In: Opitz, R. & Cowley, D. (eds), *Interpreting archaeological topography, airborne laser scanning, 3d data and ground observation*. Oxford, Oxbow Books, 1-12.

Opitz, R. (2013) An overview of airborne and terrestrial laser scanning in archaeology. In: Opitz, R. & Cowley, D. (eds), *Interpreting archaeological topography, airborne laser scanning, 3d data and ground observation*. Oxford, Oxbow Books, 13-31.

Pavić, J. & Nakić, A. (2021) *Mura Incognita: nepoznata utvrđenja Šibenika i okolice (istraživanja 2017. - 2021.) = Unknown fortifications of Šibenik and its Surroundings*. Šibenik, PCI Fortress of Culture.

Stošić, K. (1941) *Sela šibenskoga kotara*. Šibenik, Tiskara Kačić.

Vujević, D. (2011) Istraživanja tumula na Ljubačkoj kosi 2007. godine. *Archaeologia Adriatica* 5, 1-31.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20373

Su alcune chiese medievali inglobate in strutture fortificate. I casi di Trani, Bari e Monopoli in Puglia

Paolo Perfido[a], Nicola Rossi[b], Sebastiano Narracci[c]
[a] Politecnico di Bari, Dipartimento ArCoD, Bari, Italia, [a] paolo.perfido@poliba.it; [b] nicola.rossi@poliba.it [c] Architetto, libero professionista, narraccisebastiano@gmail.com

Abstract

Castles often have devotional chapels or small churches for the garrison. These places of worship were an integral part of the fortresses and fulfilled the important function of spiritually supporting those who resided there. They could be small, adapted spaces or environments designed to fulfil sacred functions already in the design phase. There are many examples of this, some of great value with frescoed walls, quality architectural details and rich furnishings. This contribution aims to address a particular aspect of the relationship between places of worship and fortified architecture. That is, the cases in which pre-existing churches and monasteries, due to subsequent defensive needs, are incorporated into the walls and bastions of castles and forts, especially in the Renaissance period. Some cases present in Terra di Bari have been examined in depth which, although presenting different situations and states of conservation, are united by the loss of the original function to become an integral part of the fortified structures in which they are incorporated. The remains of four medieval churches with a contracted cross plan with dome were examined: two, dedicated to St. Anthony the Abbot, stood at the mouth of the ports of Trani and Bari and were transformed into forts in the 16th century; a third, from the 11th century, also in Bari, was incorporated into the bastion of Santa Scolastica on the extreme tip of the peninsula on which the ancient city stands; the fourth was part of the monastic complex of San Nicola de Pinna and was absorbed by the castle of Monopoli. The research involves the spatial re-proposition of the volume of the churches, their relationship with the fortified environments that incorporate them and the changes to the urban layout following these transformations.

Keywords: castle, domed churches, urban transformation, survey.

1. Introduzione

Il tema affrontato in questo saggio si sofferma su un fenomeno singolare presente in alcune opere fortificate del territorio barese e del capoluogo. Sono stati presi in esame quattro casi studio per presentare una casistica diversificata sia per morfologia che per cronologia senza avere la pretesa di esaustività del fenomeno che conta diversi altri esempi.

Gli edifici religiosi che vengono occultati dai muri possenti delle fortezze sono in alcuni casi abbattuti, come nel caso del bastione di Santa Scolastica e del Fortino di Sant'Antonio a Bari, mentre restano sostanzialmente integre nei casi del castello di Monopoli e del Fortino di Sant'Antuono, a Trani.

La circostanza che gli edifici di culto e monastici fossero preesistenti alla fondazione o all'ampliamento delle fortificazioni ci fa comprendere che anche gli assetti urbani di quelle aree fossero differenti da quanto possiamo vedere oggi e che mutate esigenze di difesa vengono a imporsi soprattutto a partire dalla seconda metà del XV secolo. Queste saranno talmente impellenti che non risparmieranno importanti

BY-NC-SA

edifici con secoli di storia che insistevano su quelle aree. Tutti e quattro gli esempi presi in esame riguardano chiese con tipologie ben definite, molto diffuse nella Puglia medievale, che vedono l'utilizzo della cupola e della volta a botte come elemento costruttivo per la copertura delle navate centrali (Ionescu, 1935; Belli Delia, 1975; Mongiello, 1988). L'impianto planimetrico delle chiese, che sarà meglio definito nelle descrizioni dei singoli casi, va ascritta a quella della "croce contratta" che riporta l'icnografia di origine orientale della croce greca in ambito latino con uno sviluppo ad aula longitudinale con copertura a cupola di una o più campate. Gli esempi considerati presentano tre campate con navatelle laterali nei casi di Trani e Bari e aula unica nel caso di Monopoli.

2. Il fortino di Sant'Antuono a Trani (1)

La chiesa sorge sulla punta orientale dell'imboccatura del porto di Trani (Fig. 1). Risale, presumibilmente, al XII secolo, ma già nel 1269 è inglobata in una fortificazione necessaria alla protezione dell'invaso portuale. La chiesa continua a mantenere anche la sua funzione cultuale fino al 1478 quando verrà sconsacrata e adibita a deposito/cantiere per la costruzione di navigli (Colapietra, 1980; Pane, 2015).

L'edificio di culto si è conservato sostanzialmente intatto e presenta la navata centrale definita da tre campate di cui quella centrale coperta da una volta a botte e la prima e la terza da cupole. In origine anche la campata centrale era sovrastata da una cupola andata persa a causa di un crollo. Le due navate laterali, con dimensioni dimezzate rispetto alla centrale, hanno una copertura a semibotte rampante (Fig. 2). La navata centrale termina con un'abside mentre quelle laterali con un muro cieco. Questa tipologia a tre cupole in asse con semibotti laterali lega l'esempio tranese ad altri modelli coevi come Ognissanti di Cuti a Valenzano e San Benedetto di Conversano, nell'entroterra barese, e San Francesco, sempre a Trani.

Questa tipologia vanta una lunga tradizione di studi (Ionescu, 1935; Belli D'Elia, 1975; Mongiello, 1996), ma ciò che caratterizza il caso tranese è la sua trasformazione in un piccolo bastione.

Se l'interno ha mantenuto intatto il suo aspetto originario, pur perdendone la funzione, è all'esterno che l'edificio ha subito le trasformazioni più significative. Del resto, non avrebbe potuto essere diversamente visto il radicale cambio di funzione.



Fig. 1- Trani, ubicazione del Fortino di Sant'Antuono (*Google Earth*, 2024).



Fig. 2- Trani, Fortino di Sant'Antuono: pianta e interno.

Le cortine murarie originarie sono state pesantemente trasformate per adeguarle alle nuove esigenze di controllo e difesa del porto

perdendo completamente la loro riconoscibilità originaria. Solo in un tratto del prospetto settentrionale si riconosce un lacerto della cortina originaria della chiesa con una stretta apertura con arco a doppia ghiera lunata. A sinistra di questa si addossa una torretta cilindrica (Fig. 3) che termina con una corona di archetti pensili polilobati su mensole, mentre a destra un bastione poligonale, con base a scarpa, avvolge e protegge l'edificio nei fronti occidentale e settentrionale.



Fig. 3- Trani Sant'Antuono: esterno (foto degli autori, 2024).

Il prospetto meridionale presenta tre contrafforti che si addossano ad uno spesso muro che a sua volta si addossa all'originaria cortina della chiesa. A est la cinta delle mura urbane prende avvio dalla torretta cilindrica nascondendo alla vista l'estradosso dell'unica abside visibile solo dall'interno. Le mura proseguono verso est fino ad una piccola torretta distante cento settanta metri e da qui proseguono circondando il nucleo urbano e il bacino portuale fino al castello che sorge sul lato opposto dell'invaso al pari della cattedrale.

Il sito su cui sorgeva isolato l'edificio di culto si presentava in maniera completamente diversa da quanto possiamo percepire oggi. La chiesa e, successivamente, il fortino, sorgeva direttamente sul banco roccioso e costituiva un avamposto affacciato sul mare. Chi entrava nel porto aveva a sinistra Sant'Antuono e a destra lo scoglio di Santa Lucia che già Federico II aveva provveduto a collegare con una catena che impediva l'accesso al porto nelle ore notturne e in caso di pericolo.

3. Il fortino di Sant'Antonio a Bari (2)

Il fortino di Sant'Antonio costituisce la punta orientale della cinta muraria della città, posto a guardia di quello che era l'antico scalo portuale della città di Bari. L'aspetto attuale del fortilizio risale al rifacimento delle fortificazioni urbane e del castello voluto da Bona Sforza a metà del XVI secolo ma la storia di questo sito prende avvio già alcuni secoli prima e si lega alla morfologia del territorio.

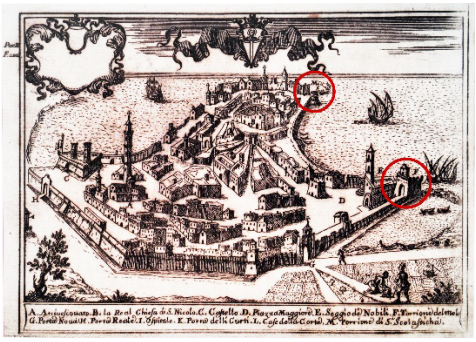


Fig. 4- Bari nella veduta di G. B. Pacichelli del 1703 in cui sono evidenziati il Fortino di Sant' Antonio, in basso, e S. Scolastica, in alto).

La città di Bari sorge su uno sperone roccioso (Fig. 4), proteso verso nord, che si eleva solo di qualche metro sul livello del mare e che degrada a mezzogiorno dove si lega alla terraferma. La parte orientale della penisola, protetta dai venti dominanti del quadrante di nord-ovest è stata da sempre il principale approdo cittadino protetto anche dalla presenza di alcuni isolotti, come riportato in diverse mappe storiche. In alcuni documenti è attestata, a ridosso dell'invaso, già a partire dal medioevo, la presenza di una cappella dedicata a Sant'Antonio. Nel 1359 Roberto d'Angiò elargisce alla città una somma destinata alla riparazione di una torre, dedicata al Santo eremita, danneggiata da una forte mareggiata. Antonio Beatillo riporta la notizia della costruzione di una torre da parte di Giovanni Antonio del Balzo, Principe di Taranto (Beatillo, 1637), che inglobava al proprio interno una chiesa. Infine, nel 1462, in una supplica dei cittadini baresi rivolta a Ferdinando Re di Sicilia si legge: "*... trovandose fatta sopra il porto ... una torre in la quale era inclusa una ecclesia sub vocabulo Sanctii Antonii, ... per contenteza universale de tutti i cittadini la fece abbattere et ruinare*". Da queste sintetiche note storiche possiamo prefigurarci lo stato dei luoghi prima delle trasformazioni cinquecentesche quando ciò che restava della chiesa e della torre, isolate fino a quel momento, vengono inglobate nel nuovo fortino e questo nella nuova cinta muraria (Fig. 5).

I resti della chiesa ancora visibili nel bastione sono venuti alla luce nel 1994 durante alcuni

lavori di recupero previsti dal Piano Urban (Cusatelli et al. 2008) e consistono nell'elevato del fianco destro dell'edificio di culto. In pratica, cosa alquanto rara, si è conservata la sezione della chiesa e si è persa invece la pianta (Fig. 6).



Fig. 5- Bari, Fortino di S. Antonio: resti della campata centrale della chiesa con la cornice su cui si impostava la cupola.

Da quanto rimasto delle strutture più antiche è comunque possibile ricostruire con precisione l'impianto morfologico completo della cappella. Si tratta di un'aula a croce contratta con tre campate: quella centrale era coperta da una cupola di cui resta un breve tratto della cornice d'imposta mentre la prima e la terza campata erano voltate a botte di cui se ne legge l'andamento solo a livello di imposta. Sulla parete di fondo della terza campata si conserva l'abside centrale e quella di destra.

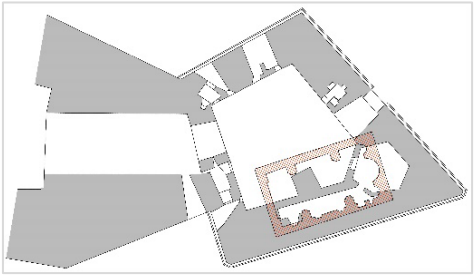


Fig. 6- Bari, fortino di S. Antonio: pianta.

Dall'esterno non emerge nessuna traccia della chiesa. Le spesse mura del bastione lanceolato cinquecentesco avviluppano completamente la struttura medievale e si presentano uniformi nella tessitura muraria. Questa è realizzata in conci di calcarenite nella parte superiore e in pietra calcarea nel basamento (Fig. 7). L'utilizzo della pietra calcarea impediva la risalita dell'umidità nelle pareti dato che originariamente, il fortino, come tutto il circuito delle mura urbane, era lambito dalle acque marine prima della realizzazione, negli anni Trenta del '900, dell'ampia strada che oggi circonda tutta la penisola su cui sorgeva la città antica e medievale (Petrignani & Porsia, 1982). Il basamento è segnato in alto da una robusta cornice modanata su cui si innalza la parete in calcarenite a scarpa che termina anch'essa con un redondone che definisce il passaggio con la parete verticale della parte superiore del fortino.



Fig. 7- Bari, fortino di S. Antonio: esterno.

4. Bastione di Santa Scolastica a Bari (3)

Più articolata e complessa è la vicenda dei resti di una chiesa visibili all'interno del "bastione di Santa Scolastica" sull'estremità settentrionale della penisola (Fig. 4). Qui sorgeva un insediamento benedettino (Cardamone, 1979) che, insieme ad altre fondazioni monastiche, chiudeva e proteggeva il versante nord-occidentale del tessuto urbano dell'XI-XII secolo. L'area su cui viene fondato il cenobio dedicato alla sorella del santo di Norcia, aveva già livelli di frequentazione precedenti come emerso dalla campagna di scavi (Fornaro, 1979) eseguita durante il restauro dell'intero complesso avvenuto negli anni Settanta del '900 (Ambrosi, 1979). Le strutture dell'originario monastero ancora in parte riconoscibili si riducono ad alcuni ampi lacerti di cortine murarie e al pavimento in opus *tessellatum* (Fig. 8) della chiesa di cui si conservano anche alcune basi dei pilastri

cruciformi delle campate e parte del catino absidale. L'impianto planimetrico della chiesa è riconducibile al modello della croce contratta a tre navate.



Fig. 8- Bari, Santa Scolastica: resti del pavimento tessellato della chiesa medievale.

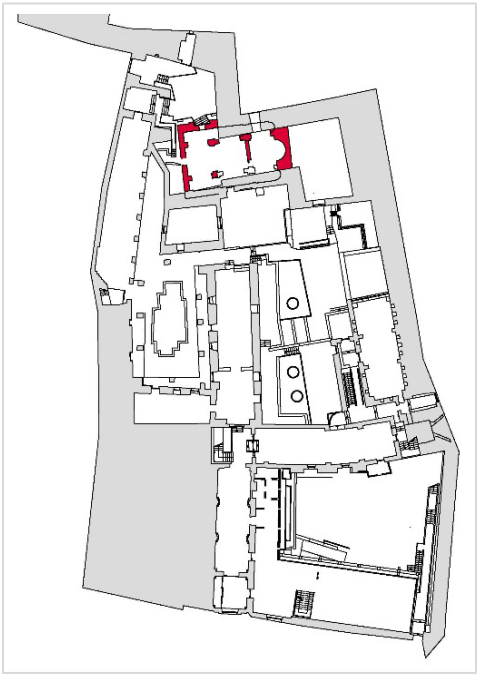


Fig. 9- Bari, Santa Scolastica: Pianta generale del complesso. In rosso è evidenziata la posizione della chiesa.

Per quanto riguarda gli elevati non sono rimaste tracce che possano indicare con certezza la loro fattura, ma da un'analisi comparativa con altri esempi si può ipotizzare che in questo caso, come per il fortino di Bari, le tre campate della navata centrale fossero coperte da una cupola su quella centrale e volte a botte nelle restanti due. Questo è evidenziato dalla forma quadrata della campata centrale, adatta a ospitare una cupola, e rettangolare la prima e la terza, più adatte ad una copertura voltata a botte. Al contrario dell'altro caso barese, questo presenta le navate laterali che possiamo ipotizzare essere coperte da semibotti laterali (Fig. 9), anche se non ci sono evidenze archeologiche per sostenere con certezza questa ipotesi.



Fig. 10- Bari, Santa Scolastica: porzioni di murature medievali del monastero inglobate nella fortificazione cinquecentesca.

Nel XVI secolo la duchessa Bona Sforza d'Aragona (1494-1557) reggente della città di Bari dal 1524 fino alla sua morte, intraprende imponenti opere di fortificazione che riguardano il castello e la cinta delle mura adeguando le difese urbane ai più moderni dettami della poliorcetica rinascimentale.

È in questo contesto che le fabbriche dell'antico monastero di Santa Scolastica, che nel corso dei secoli avevano subito innumerevoli trasformazioni e ampliamenti, vengono inglobate integralmente in un possente bastione posto a difesa della porzione più settentrionale della cinta muraria cittadina (Fig. 10).

5. San Nicola de Pinna a Monopoli (4)

Il castello di Monopoli sorge a ridosso dell'imboccatura del porto (Fig. 11) e la sua realizzazione, come ricorda una iscrizione che porta la data del 1552, è da attribuire a Don Pedro Álvarez de Toledo y Zúñiga (1484-1553), Vicerè del Regno di Napoli dal 1532.

La fortezza, di modeste dimensioni se confrontata con altri esempi coevi nelle città costiere pugliesi, venne eretta in un'area che già in documenti del

X secolo era indicata come *promontorium*. In questo sito, nella parte terminale che sporgeva verso il mare sorgeva un cenobio bizantino, San Nicola *de Pinna* o *in Pinna* da distinguere dall'altro complesso monastico, sempre dedicato al Santo di Myra, che invece era titolato *in porto aspero* (Blattman, 1983). Diversi documenti citano questo insediamento che doveva avere una non trascurabile importanza viste le numerose donazioni da parte di figure di spicco come Argiro, figlio di quel Melo noto per la sua opposizione al potere bizantino e Goffredo, conte di Conversano. Ancora nel 1393 in una bolla di Bonifacio IX è citata l'*ecclesiam Sancti Nicolai de Pinna*.



Fig. 11- Monopoli, ubicazione del castello.

Dell'antico monastero non restano tracce se non nei resti di una piccola chiesa ad aula unica absidata (Fig. 12). Originariamente questa si sviluppava su tre campate, segnate da paraste. Quella centrale di forma quadrangolare è coperta da una cupola dal profilo leggermente ovoidale, mentre quella a ridosso dell'abside, di minore dimensione e di forma rettangolare, è voltata a botte. La prima campata è andata persa distrutta con la costruzione del castello ma alcune tracce nelle murature dimostrano con evidenza che doveva essere per forma e dimensione simile alla terza.

L'orientamento dell'aula, con l'abside rivolto a nord-est, è condizionato dalla presenza di un tratto dell'antica cinta muraria della città composta da grossi blocchi calcarei. Il complesso monastico sorgeva a ridosso di una porta che si apriva sul porto ancora ben visibile e l'abside della chiesa scavata nello spessore delle mura. Un aspetto interessante, che andrebbe ulteriormente approfondito, è dato dal fatto che l'abside è leggermente decentrata (Fig. 13) rispetto all'asse longitudinale della chiesa forse a causa di due fasi costruttive diverse, anche se cronologicamente vicine, o a un ripensamento in corso d'opera.

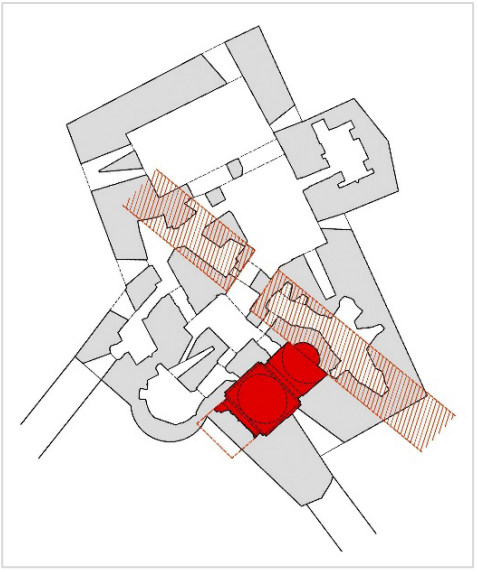


Fig. 12- Monopoli, Pianta dei livelli sotterranei del castello con l'ubicazione della chiesa addossata al tratto di mura medievali.



Fig. 13- Monopoli, Chiesa di San Nicola de Pinna: parete absidale.

Tutto questo sistema viene cancellato con la realizzazione della fortezza voluta da Carlo V che nell'impianto generale non tiene più in conto delle vecchie direttrici determinate dalla giacitura

delle mura e della chiesa. Queste però si palesano negli ambienti sotterranei del castello dove, oltre alla presenza della chiesa e della porta urbana vi sono ambienti che seguono l'andamento dell'antica cinta urbana (Fig. 14).

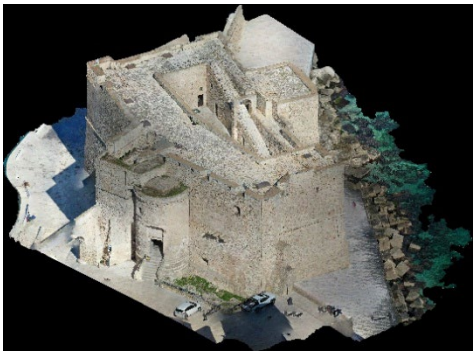


Fig. 14- Monopoli, rilievo aerofotogrammetrico (R. Pavone) del castello in cui sono contenuti i resti della chiesa di S. Nicola de Pinna.

6. Conclusioni

Gli esempi trattati in questo contributo non sono esaustivi e molti altri potrebbero essere approfonditi - si pensi ad esempio ai resti di una chiesa bizantina ritrovata sotto i bastioni del castello di Bari -. Ciò che si è voluto sottolineare limitando i casi a fasi cronologiche coeve e a tipologie assimilabili, è come determinate aree urbane subiscono radicali trasformazioni a causa del mutamento delle necessità di difesa sopravvenute soprattutto tra la fine del XV secolo e il XVI. Inoltre, è interessante notare come nei secoli che vanno dal X al XIV, in molti casi, sono le stesse fondazioni ecclesiastiche a svolgere un fondamentale ruolo di difesa delle città con strutture monastiche fortificate. Non è un caso che queste sorgano in punti strategici come le imboccature degli scali portuali o in posizioni isolate ma cruciali per la difesa da possibili incursioni provenienti dal mare.

Si tratta di aree non urbanizzate che vengono occupate, quasi in avanscoperta, dai monasteri che diventeranno successivamente elementi attrattori per lo sviluppo urbano. Questi insediamenti vengono col tempo inglobati nelle cinte murarie fino a scomparire fagocitati dai possenti bastioni delle fortezze rinascimentali.

La ricerca, partendo da puntuali e approfonditi rilievi di alcuni casi significativi di fortificazioni, si propone di analizzare le profonde trasformazioni che avvengono non solo a scala architettonica ma anche a livello urbano tra XV e XVI secolo con l'avvento delle armi da fuoco. Trasformazioni lette attraverso un fenomeno del tutto particolare come quello della sostituzione funzionale di alcune parti *extra moenia* di città che da aree destinate al culto diventano fortezze inglobate nelle cinte urbane.

Questo contributo rientra in un ambito di ricerca sull'architettura fortificata in Puglia, sviluppato nel corso degli anni presso il Poliba (Castagnolo et al. 2017), che ha prodotto una approfondita riflessione sul tema basata su rilievi critici di castelli, torri e masserie fortificate.

Note

(1) Il rilievo del Fortino di Sant'Antuono a Trani è stato realizzato da P. Perfido con D. Pastore nel Prin "Spazi e culture del Mediterraneo 2005-2007".

(2) Il rilievo del fortino di Sant'Antonio a Bari è stato realizzato da P. Perfido con D. Cara nel Prin "Spazi e culture del Mediterraneo 2005-2007".

(3) Il rilievo del complesso di S. Scolastica a Bari è stato eseguito sotto la direzione scientifica di P. Perfido nel 2003 con S. Angiuli, M. Carone, M. Franchini.

(4) Il rilievo del castello di Monopoli è stato eseguito nel 2024 con V. Castagnolo, S. Narracci, R. Pavone, N. Rossi, F. Strippoli.

Bibliografia

Ambrosi, A. (1979) Il complesso conventuale di santa Scolastica, in *Rassegna tecnica pugliese – Continuità* n. 13, Bari, A.R.I.A.P.

Ambrosi, A., Cardamone, E., Fornaro, A., (1980) Fondazioni benedettine e sviluppo della Bari medioevale (Ipotesi per una nuova lettura della struttura urbana Barese) in M.S Calò Mariani (a cura), *Insediamenti benedettini in Puglia. Per una storia dell'arte dall'XI al XVIII secolo*, vol. I, Galatina, Congedo Ed. p. 133-152.

Andreassi, G., Radina F. (1988), *Archeologia di una città. Bari dalle origini al X secolo*, Bari, Edipuglia.

Apollonj Ghetti, B. M., (1972) *Bari Vecchia*, Bari, Favia.

Barletta, M., Papio, A. & Rotondo, S. (1991), Contributo storico-critico ad uno studio sistematico sulle trasformazioni del castello di Monopoli, in *Monopoli nel suo passato 5. Quaderni di storia locale a cura della Biblioteca Comunale "Prospero Rendella"*, Monopoli.

Beatillo, A. (1637) *Historia di Bari, Principal Città della Puglia nel Regno di Napoli*, Stamperia di Francesco Savio della Corte Arcivescovale, p. 170.

Belli D'Elia, P. (a cura) (1975) *Alle sorgenti del romanico. Puglia XI secolo*, Bari, Dedalo.

Blattman, I. (1983) *Chiesa di S. Nicola in Pinna (Monopoli),* in L'Abate, V., (a cura), *Il territorio a sud-est di Bari in età medioevale*, Fasano (BR) Grafischena, pp. 162-163.

Cardamone, E. (1979) Note cronologiche del convento di Santa Scolastica in *Rassegna tecnica pugliese - Continuità*, n.13, Bari, A.R.I.A.P.

Castagnolo, V., De Cadilhac, R., Perfido, P. & Rossi, G. (2017) *Architettura fortificata. Rilievo e restauro*. Atti delle Giornate di studio dICAR_Politecnico di Bari (Bari, 7-9 aprile 2016), Martina Franca, Aesei.

Colapietra, R. (1980) *Profilo storico-urbanistico di Trani dalle origini alla fine dell'Ottocento,* In: Archivio storico pugliese vol. 33, p. 3-107

Cusatelli, D., De Palo, M. R. (2008) Il Fortino di S. Antonio. Cenni storici e progetto di restauro, in De Palo, M. R., Radina F. (a cura), (2008), *Bari, sotto la città. Luoghi della memoria*, Bari, Adda.

Fornaro, A. (1979) Ricerche archeologiche nel complesso di S. Scolastica in Bari. *Rassegna tecnica pugliese - Continuità,* n.13, Bari, A.R.I.A.P.

Intini, P. C., Intini, P. & Quartulli, A. (2023) Il Castello Carlo V di Monopoli. Restauro delle facciate prospicienti il Porto Vecchio. In: Bevilacqua, M. G. & Ulivieri, D. (eds.) *Defensive architecture of the mediterranean: vol. XIV*: *PROCEEDINGS of the International Conference on Fortifications of the Mediterranean Coast, 23, 24 and 25 March 2023, Pisa*. Pisa, Pisa University Press, pp. 637-644.

Ionescu, G. (1935) Le chiese pugliesi a tre cupole. *Ephemeris Dacoromana, Annuario della Scuola Romena di Roma*, Bucureşti, Ed. Accademia Romena p. 50-128.

Mongiello L. (1996) *Chiese di Puglia. Il fenomeno delle chiese a cupola*, Bari, Adda.

Pacichelli, G. B. (1703) *Il regno di Napoli in prospettiva: diviso in dodeci provincie, in cui si descrivono la sua Metropoli Fidelissima città di Napoli*, Napoli, Stamperia di Michele Luigi Mutio.

Pane, A. (2015) Il porto antico di Trani: storia urbana e questioni attuali di tutela. In: Prete, F. (a cura), *I centri storici tra cultura, arte e tecniche. Il caso studio di Trani*, Bari, Ed. Adriatica, pp.57-67.

Petrignani, M. & Porsia, F. (1982) *La città nella storia d'Italia*. *Bari*, Bari, Laterza, p. 153.

Tateo, F. (1989) *Storia di Bari dalla Preistoria al Mille*, I, Bari, Laterza.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20374

Digital dialogues between Military Architecture Treatises. The case of "Le Fortificationi..." by Bonaiuto Lorini and "La Fortificatione guardia difesa et espugnatione delle fortezze..." by Francesco Tensini

Piergiuseppe Rechichi[a], Virginia Miele[b], Marco Giorgio Bevilacqua[c]
University of Pisa, Pisa, Italy, email: [a] piergiuseppe.rechichi@phd.unipi.it, [b] virginia.miele@ing.unipi.it, [c]marco.giorgio.bevilacqua@unipi.it

Abstract

The paper presents the results of an experimentation developed within the activities of the PRIN2022 INFORTREAT research project, aimed at the production of digital information systems to collect, translate and transfer the knowledge about construction of bastioned fortifications in Early Modern treatises, in order to create an original knowledge tool in the field of conservation of the fortified heritage. The study primarily focuses on the "La fortificatione guardia difesa et espugnatione delle fortezze" by Francesco Tensini (first edition 1624), since it is recognized as an important milestone in the evolution of fortification models. The treatise is rich with references to other authors. Among them, Tensini frequently recalls one author without explicitly mentioning his name. The analysis of a wide range of treatises from the mid-16th century, carried out for the INFORTREAT research objectives, considering the state of the art on the subject, allows us to state with some confidence that Tensini refers to the "Le Fortificationi.." by Bonaiuto Lorini (first ediction 1597). This allowed us to set up a comparison between the treatises through critical redrawing and digital modeling of the fortification systems proposed by both authors. To this end, a workflow based on the integration of VPL and BIM is tested.

Keywords: parametric modeling, computational modeling, military srchitecture, Francesco Tensini, Bonaiuto Lorini.

1. Introduction

The PRIN2022 INFORTREAT research project is aimed at the production of digital information systems to interpret, translate and communicate the constructive knowledge of fortification as described in key treatises on military architecture of the Early Modern Age (16th-18th centuries), in order to create an original knowledge tool in the field of conservation of the fortified heritage, which today is exposed to increasing environmental risks. Following the first experimentation carried out on the "Corno Dogale" by Pietro Sardi (1639) (Rechichi et al., 2024), in which a workflow based on the integration of VPL and BIM was tested for the INFORTREAT objectives, the present study focuses on the "La fortificatione guardia difesa et espugnatione delle fortezze" by Francesco Tensini (1630, 1st ed. 1624). The treatise, considered an important milestone in the evolution of bastioned fortifications, is rich in references to other authors. Among them, Tensini frequently recalls one author without explicitly mentioning his name. Considering the results of the analysis of a large number of treatises from the mid-16th century and of the state of the art on the subject, we may advance the hypothesis that the anonymous author to whom Tensini refers, is Buonaiuto Lorini, and specifically his "Le

BY-NC-SA

Fortificationi" (1609, 1st ed. 1597). To this end, the critical redrawing and digital modeling of the fortification models proposed by both authors have been developed.

2. State of the art

The literature highlights a range of studies focused on conceptual models derived from architectural treatises, formalizing architectural knowledge for model libraries (De Luca, 2014; Carpo, 2016; Cache, 2009). Information systems have developed to provide semantic interpretations of these models, as seen in Apollonio et al. (2013). Reconstructing 3D models from treatises supports comprehension through graphical analysis, and web integration is recognized as essential for accessibility and practical application (De Luca et al. 2011; Stefani et al. 2013). Research has advanced ontologies and data tools to enhance semantization and customized queries, enriching BIM methodology for built heritage representation via Semantic Web technologies. Simeone et al. (2019) address the formalization of cultural heritage information models to foster deeper interpretations. In recent years, research has generated innovative approaches combining BIM and Visual Programming Languages (VPL) in architectural design. The integrated approach emphasizes the benefit offered by HBIM, with further critical evaluation of BIM and VPL in heritage enhancement as the next step. Lo Turco's team (2022) combines BIM's structure with VPL flexibility for dynamic heritage applications. Moreover, the state of art in web-based BIM visualization is evolving rapidly, with an increasing focus on intuitive interfaces for nonexperts and advanced metadata query functions. Early collaborative BIM platforms, as noted by Grilo et al. (2010), highlighted the need for visualization independent of model-generation software. Kiviniemi et al. (2011) emphasized BIM data management to enable queryability in collaborative settings. Recent advancements, such as Furuta et al. (2023), support web-based geometry and semantic data with update capabilities. El Yamany et al. (2012) developed a web application replicating selected IFC objects, and subsequent studies later enhanced processing speed for larger models (Liu et al. 2015; Li et al. 2022). Nonetheless, gaps remain in semantic comprehension of IFC models for non-specialists, as reviewed by Furuta et al. (2022). Finally, Silva et al. (2022) proposed a platform for web-based IFC updates, integrating geographic data into IFC models.

3. Methods

The INFORTEAT project objectives led to the definition of a 5-step methodology for the digitization of fortified knowledge from the treatises (fig. 1): 1. Analysis of the treatise; 2. Critical redrawing of the models; 3. Digital parametrization and modeling in Grasshopper; 4. Integration into the BIM environment; 5. BIM model online visualization/distribution.

The increasing relevance of precise tracing rules from the second half of the 16th century, translates into fortification models that can assume a parametric characterization and can be digitized with the support of parametric modeling tools (e.g. Grasshopper) to realize dynamic models. Based on the recurring pattern of treaty structuring of the time, the first step consists in the realization of a VPL script for the defense tracing for regular polygonal fortifications. The script allows the user to modify the number of sides of the polygon, and returns the defended perimeter with bastions, curtains, and shooting lines.

To obtain a 3D model of the whole fortification, the relationships between this basic geometry and the different parts of the fortification are extracted from a deep analysis of textual and iconographic material in the treatise. To this aim, the information on different fortification components is catalogued to define the model ontology and properly associate information with geometry.

Once these relationships are identified, the script is enriched with all the transformations (translations, offsets, cuts, lofts and ruled surfaces) to realize parametric 3D geometries of the different components in the whole fortification, still related to the main parameter of the number of sides of the polygon.

Rhino.Inside.Revit plugin allows Grasshopper scripts to be directly opened in Revit. Each fortification component geometry is associated with a Direct Shape and transferred in the BIM environment. The information process is completed in Revit, but parameters dependent on the number of sides (e.g. ramparts volume) are

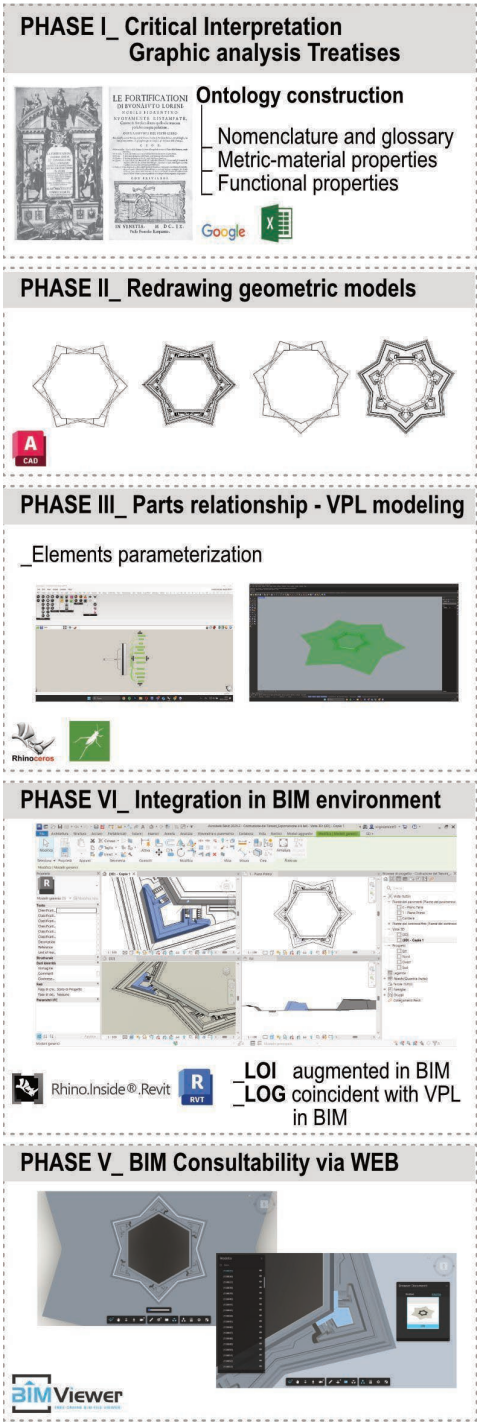


Fig. 1- Methodology workflow (graphic elaboration by Virginia Miele, 2024).

informed in Grasshopper, to guarantee the dynamic update of the values.

The complete informed models of the fortifications are finally uploaded to web BIM visualization tools, to maximize public accessibility to this knowledge. This research evaluated the efficacy of different open-source online tools to identify the best fit for the declared purpose.

Referring to "La Fortificatione" by Tensini, the analysis of the treatise underlined the continuous reference to a great author of his times, whose name is never made explicit. Cross-treatise research performed through the database of treatises in the INFORTREAT Project, allowed to identify in Bonaiuto Lorini the author corresponding to Tensini's description, and specifically his "Le Fortificationi" (first ed. 1597). For this reason, the described methodology has been applied on the two treatises. The digital models of regular polygonal fortifications by the two authors were fundamental to achieve a critical and visual comparison between the two treaties.

4. "La Fortificatione" by Francesco Tensini

Franesco Tensini da Crema began his military career at a young age, gaining great direct experience and theoretical knowledge from the treaties circulating in Italy and the rest of Europe. He was particularly influenced by field experiences in Flanders and Friesland in the late 16th and early 17th centuries. The first edition of "La Fortificatione" was printed in Venice by Evangelista Deuchino in 1624, followed by a second edition in 1630 in Venice by the Bariletti brothers, and a third in 1655, at Brogiollo.

The treatise in three books and ninety total chapters encompasses all the author's military knowledge, including the design of a fortification, its defense and offense, with inventions and machines by the author.

Tensini's genius lies in his ability to abstract the best of the fortification models of the past Italian tradition, contaminating them with his own inventions strongly influenced by his military experiences in Holland. This characteristic allows him to perfect state-of-the-art fortification models that are extremely effective and efficient in terms of construction and maintenance costs.

5. "Le fortificationi" by Bonaiuto Lorini

Lorini's treatise "Le Fortificationi" serves as a pivotal link between early mechanical science and the science of weights, including graphic scales and machines. This seminal work on military fortification underscores a significant relationship between theoretical concepts and practical application. Lorini (1596) is credited as the first Italian author to explicitly demonstrate the construction of axonometry (Scolari, 2005, p. 28). Lorini also provides a comprehensive discussion of fortification advancements spurred by innovations in artillery and weaponry. Drawing upon the mechanical principles of Archimedes (specifically, the law of leverage) and Guidobaldo del Monte (1545–1607), author of "Le Mecaniche" (1577–1581), Lorini incorporates advanced mechanical insights.

The first edition of this five-book treatise on fortifications was published by Rampazzetto in Venice, preceded in 1596 by a limited print run of fifteen copies (noted by Jordan; Writing on Architecture), which were dedicated and sent to rulers and influential noble families. The treatise gained considerable circulation, with a German translation printed in Frankfurt by Theodor de Bry in 1607. In 1609, Francesco Rampazzetto published a second, expanded edition in Venice, which included an additional sixth book dedicated to Grand Duke Cosimo II.

6. Tensini's references to Lorini

On page 22 of the first book of his treatise, Tensini introduces his model of fortification by comparing himself to an author of his time whom he will later refer to throughout the book as "his author". The treatise includes a multitude of explicit references to works by others, such as De Marchi, Maggi, Theti, Busca, and Errard. Other references, such as to "his author" of inspiration, and others of a more hostile nature, remain unspoken. Identifying Tensini's author of reference allows for enriching the critical analysis of his work and fortification models, as well as attesting to the authoritativeness and actual relevance of the reference. Understanding the dynamics of the transmission of military architectural knowledge among important authors of that era also allows us to reread through a causal thread the design transformations during the transition from the 16th to the 17th century. Tensini's references to 'his author' were systematically compared point by point with the fortification models proposed by other treatise authors, allowing Bonaiuto Lorini himself to be identified as the author in question (1).

7. Results and Discussion

The critical redrawing started from the study and the replication of the design techniques of the defense profile. Tensini describes the design of a regular fortress observing that a longer curtain can reduce the number of ramparts, defending a wider surface; he states that his hexagonal fortification is wider than his author's heptagonal one. A comparison figure is proposed (Fig. 2).

It is fundamental to note that Tensini's definition of curtain is intended as the internal polygon side and not the line between two opposite flanks. The reason for this peculiar definition relies in his use of ramparts detached from the perimeter and emptied in their inside area, or '*in isola'*. When he describes his author's curtain length, he refers to 180 '*passi veneziani'* which corresponds to Lorini's suggested polygon side for a heptagonal fortification. Tensini extends this length to 217 *passi*, probably with the favour of stronger artillery. Tensini's author divides his curtain in six parts of 30 *passi* and uses this measure to set the length of the gorges and flanks. Tensini due to his extension of the curtain decides to use the seventh part, reaching 31 *passi*. The second flank is set to a length of one third of the line between the opposite flanks both for Tensini and his author. This simple process leads to the design of the whole defense perimeter. A Grasshopper script for the preliminary tracing of fortifications by Tensini and Lorini was developed with the possibility to dynamically change the number of sides of the defended polygon.

The study of iconographies and orthographies in support of text reading led to a proper definition of all the fortification entities, the verification of measurements and design processes, and the definition of design relationships between the first tracing and the physical consistency of the fortification. The grasshopper script of the first tracing was implemented, developing dynamic digital 3D models of the fortifications of both authors. The digital models were useful verifying the correspondences and discrepancies between Lorini and Tensini's fortifications, leading to a critical analysis of the reasons behind the evolution of defensive architecture in the first decades of the 16th century.

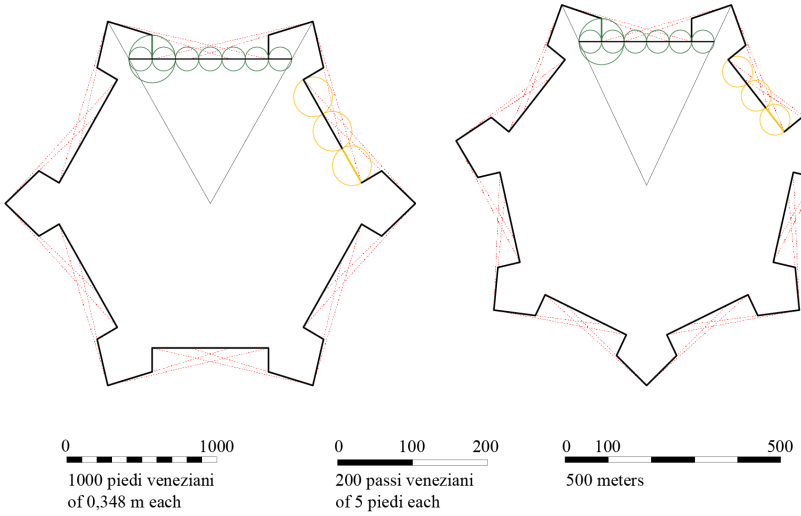


Fig. 2- Comparison between the tracing methods of Tensini's hexagonal fortress (left) and his author Lorini's heptagonal one(right) (graphic elaboration by Piergiuseppe Rechichi, 2024).

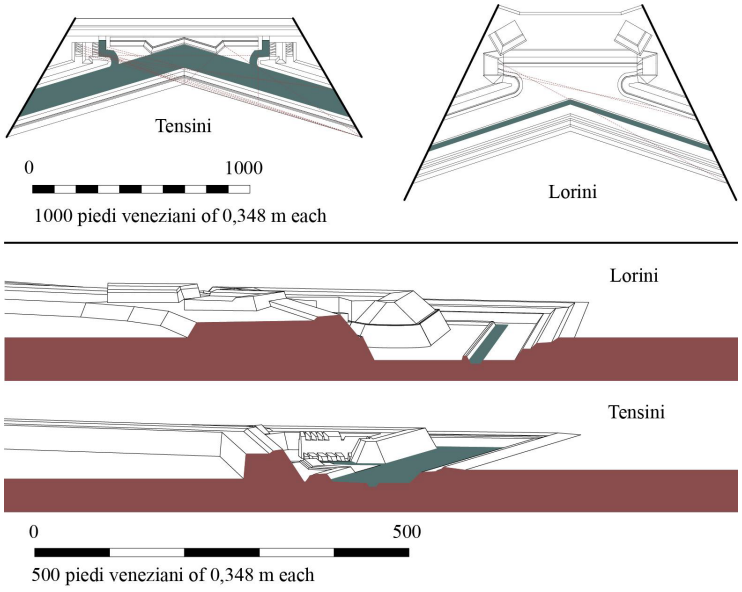


Fig. 3- Comparison between the tracing methods of Tensini's hexagon (left) and Lorini's heptagon (right): plans and perspective sections (graphic elaboration by Piergiuseppe Rechichi, 2024).

It is fundamental to observe that Tensini's fortification is characterized by a lighter approach, eliminating walls from curtains which are realized only with earth (Fig. 3). The ramparts are isolated from the curtains and emptied inside, reducing the effort and the cost of their realization and making them conquer irrelevant for the enemy. Chevaliers are removed from the fortification as the curtain already stands upon the isolated ramparts. The ramparts are slender, with high parapets.

One interesting innovation proposed by Tensini is his *'Barbacannone'*, a faussebraye designed to

specifically defend portions of the moat through artillery pieces and not just musket. This design purpose gives the '*barbacannone'* it's tenaille shape in the central portion. Tensini also rejects the great Italian tradition, in accordance with his author, when defining the shape of the parapet. The slope of the parapet is set inward the fortification and not outward, as previously suggested by great authors (eg. Maggi, Theti) and naively followed by 'modern authors' (eg. Sardi, Busca). Tensini also observes that the *'parapettino'* proposed by his author (matching Lorini) during sieges, can be substituted by shooting stations digged in the inward parapet. High and strong merlons are proposed by both authors with consistent construction techniques (use of strong wooden planks).

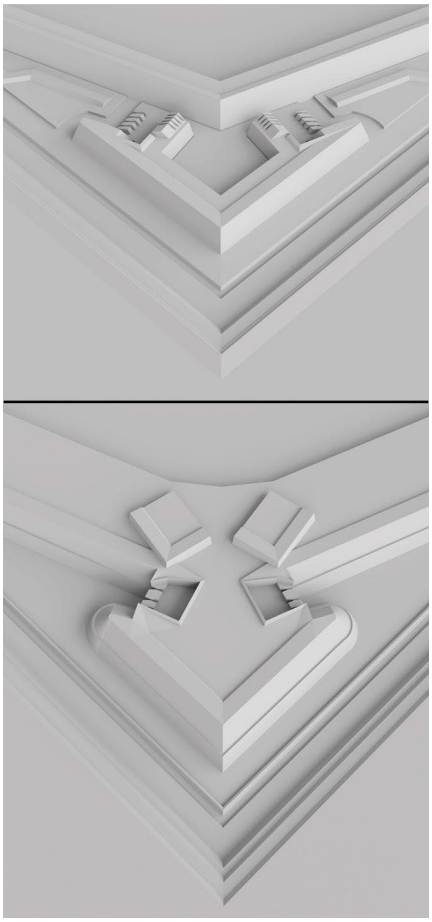


Fig. 4- Comparison between models of bastion: top, by F. Tensini; bottom, by B. Lorini (drawing by Piergiuseppe Rechichi, 2024).



Fig. 5- Informational characterization (LOI) of the fortification model in BIM environment (graphic elaboration by Virginia Miele, 2024).

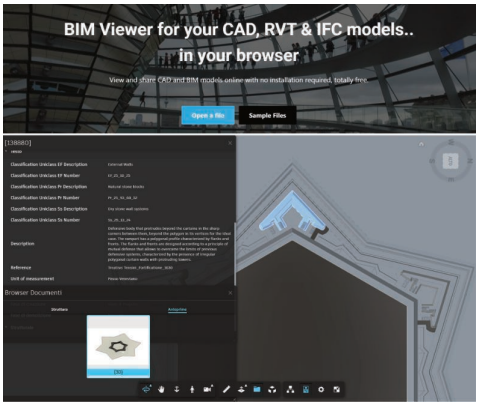


Fig. 6- Visualization of the property of fortification's element in BIM Viewer (graphic elaboration by Virginia Miele, 2024).

Another important discrepancy stands in the definition of the flank's firepower, which is extremely high in Tensini's fortification, with uncovered low places and a total of ten artillery pieces on each flank. Tensini depicts his authors limits in the moat and flanks design, with the support of '*Figura Undecima*' (Tensini, 1630, p.57) in which his author's fortification is drawn.

Matching Lorini, only the cunette is filled with water, the shoulder occupies two thirds (and not half, as Tensini suggests) of the flank of the rampart, three artillery pieces are located in the flank place and there is no faussebraye. Also *'Figura Nona'* (Tensini, 1630, p.47) depicts the placement of a chevalier in a fortification, near the gorges of the bastions, with an orthographic projection consistent with Lorini's one. Lorini suggests the exact same placement of the chevaliers of Tensini's author (Fig. 4).

8. BIM models and consultability via Web

Following the methodology already tested for the case study of "Corno Dogale" by Pietro Sardi, the Grasshopper script was finally updated implementing the Rhino.Inside.Revit tools to read and inform the geometries with the knowledge structured during the textual analysis phase in a BIM environment (Fig. 5).

As for the accessibility of BIM-HBIM models via web platforms, recent efforts focus on enabling visualization, querying, and management of complex 3D models directly within the browser, without needing specific software. Current solutions support both the visualization and querying online, although challenges remain in optimization, and semantic structuring. Popular tools include WebGL-powered platforms, which render 3D content in browsers without external plugins. Widely used solutions are Autodesk Forge Viewer, Unity with WebGL, and CesiumJS. Our project enables web-based access to BIM models of fortifications through a user-centered interface, initially considering open-source viewers. Converting models to IFC format in this system preserves essential geometric and metadata details, making the information accessible to non-specialist users. By integrating these viewers into a streamlined web interface, users can explore fortification elements, with real-time display of descriptions and metadata in an adjacent panel. After evaluating options, we ultimately selected BIM Viewer due to its flexibility in supporting various file formats, eliminating the need for conversion to IFC and enabling straightforward sharing across other platforms. This choice, coupled with filtering functions, enhances accessibility and allows seamless interaction with detailed architectural data in a structured, interactive web environment (Fig. 6).

9. Conclusions

The INFORTREAT methodology for the digitization of fortification models from the treatises was validated on two other case studies after the first results on Pietro Sardi's "Corno Dogale": Bonaiuto Lorini's "Le Fortificationi" and Francesco Tensini's "La Fortificatione". These two treatises propose greater simplicity in defense tracing but are characterized by a higher complexity in the fortification ontology and physical geometry, with multiple complex elements. Despite these criticalities, the parametric modelling process was completed, generating all regular fortresses from both the treatises with a direct link to Revit already guaranteed. Testing the INFORTREAT methodology on multiple treatises also highlighted promising results in the efficacy of the informed models in support of historical research on fortified architecture, facilitating the critical comparison between treatises.

The efficacy of this methodology is maximized by a wider public accessibility to models through online BIM visualization tools, definitively providing useful research tools in the field, and simplifying the readability of defensive architecture for non-specialized users.

Notes

(1) Twelve references were noted with page number and verified on Lorini's treatise , finding an exact correspondence between Tensini's (T) author and Lorini's prescriptions (L): curtain length, defense angle, prolonged flank proportion (L. p. 12, T. p.22); demigorges proportion, flank length (L. p.11, T. p.28); shoulder proportion (L. p.9, T. p.32); merlon wooden planks (L. p.79, T. p.36); parapet slope (L. p. 28, T. p.41); small parapet for muskets(L. p.71, T. p.41); chevalier (L. p.36, T. p.44); moat with cunette (L. p. 28, T. p.55); artillery pieces on flanks (L. p.35, T. p.56).

Acknowledgments

This study received funding from the European Union - Next-GenerationEU - National Recovery and Resilience Plan (NRRP) – MISSION 4 COMPONENT 2, INVESTMENT N. 1.1, CALL PRIN 2022 D.D. 104 02-02-2022 – (INFORTREAT. Reconstructing the Early Modern bastioned front. INformation models for the fruition of constructive knowledge in

FORtified architecture TREATises (16th-18th Century): a new integrated analysis tool for the interpretation, restoration and maintenance of Early Modern fortified heritage) CUP N. I53D23005420006. Authors' contributions: 1. MGB; 2. VM; 3-4. PR; 5. VM; 6-7. PR; 8. VM; 9. MGB.

References

Apollonio, F. I., Baldissini, S., Clini, P., Gaiani, M., Palestini, C. & Trevisan, C. (2013) The Palladio Library Geo-Models: an open 3D archive to manage and visualize information-communication resources about Palladio. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.,* XL-5/W2, pp. 49–54.

Cache, B. (2009) *Fortuito supra acanthi radicem: Essai de lecture contemporaine du De Architectura de Vitruve*. University of Paris I.

Carpo, M. (2016) Parametric Notations. In *Architectural Design.* 2, pp. 24–29.

De Luca, L. (2014) Methods, formalisms and tools for the semantic-based surveying and representation of architectural heritage. In *Applied Geomatics* 6, pp.115–139

De Luca, L., Busayarat, C., Stefani, C., Véron, P. & Florenzano, M. (2011) A semantic-based platform for the digital analysis of architectural heritage. *Computers & Graphics*. Vol. 35 (2), pp.227-241.

El Yamany, H., Elawady, M., Abdelhay, E. & Khalil, A. (2012) A web service-based framework for an online 3D model viewer, *Federated Conference on Computer Science and Information Systems*, pp. 1405-1410.

Furuta, S., Nakazato, J., Tsukada, M. (2023) Web-Based BIM Platform for Building Digital Twin, in *IEEE 3rd International Conference on Digital Twins and Parallel Intelligence (DTPI)*, Orlando, FL, USA, 2023, pp. 1-6.

Grilo, A., Jardim-Goncalves, R. (2010) Value Proposition on Interoperability of BIM and Collaborative Working Environments. *Automation in Construction*, 19, 522-530.

Kiviniemi, M., Sulankivi, K., Kähkönen, K., Mäkelä, T., & Merivirta, M. L. (2011) BIM-based safety management and communication for building construction. *VTT Tiedotteita - Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus.* pp. 1-123.

Li, K., Zhao, H., Zhang, Q. & Jia, J. (2022) CEBOW: A Cloud-Edge-Browser online Web3D approach for visualizing large BIM scenes, Comput. Animat. *Virtual Worlds*.

Liu, X., Xie, N. & Jia, J. (2015) WebVis BIM: real time web3d visualization of big BIM data, Proceedings of the 14th ACM SIGGRAPH *International Conference on Virtual Reality Continuum and its Applications in Industry* VRCAI '15, pp. 43-50.

Lo Turco, M.; Giovannini, E. C. & Tomalini, A. (2022) Parametric and Visual Programming BIM Applied to Museums, Linking Container and Content. *ISPRS International Journal of Geo- Information*. 11(7)

Lorini, B. (1609) *Le fortificationi di Buonaiuto Lorini, nobile fiorentino [...]*. Venezia, Francesco Rampazetto.

Rechichi, P., Miele, V., & Bevilacqua, M. G. (2024) Modelli informativi digitali di architettura militare della prima età moderna. Il caso del Corno Dogale di Pietro Sardi. *DISÉGNO-OPEN ACCESS*, 3603-3626.

Sardi, P. (1639) *Corno Dogale della Architettura Militare di Pietro Sardi Romano*. Venezia, I Giunti.

Scolari, M. (2005) *Il disegno obliquo: una storia dell'antiprospettiva*. Venezia, Marsilio.

Silva, J. P., Pereira, J. P. & Santos, J. (2022) Digital twin 3D platform for collaborative representation and editing of IFC documents applied to the BIM methodology. *The International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences;* Gottingen XLVIII-4/W1-2022, pp. 411-418.

Simeone, D.; Cursi, S. & Acierno, M. (2019) BIM semantic-enrichment for built heritage representation, In *Automation in Construction.* 97, pp. 122-137

Stefani, C., Busayarat, C., Lombardo, J., De Luca, L. & Véron, P. (2013) A web platform for the consultation of spatialized and semantically enriched iconographic sources on cultural heritage buildings. In *Journal on Computing and Cultural Heritage.* 6, 3, Article 13 (July 2013)

Tensini, F. (1630) *La fortificatione guardia difesa et espugnatione delle fortezze [...].* Venezia, Antonio Bariletti et Fratelli al Segno del Mondo.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20375

Le fortificazioni di Rutigliano: studio e ricostruzione tramite il rilievo digitale

Nicola Rossi
Politecnico di Bari, Bari, Italia, n.rossi@phd.poliba.it

Abstract:

The territory of Rutigliano (Bari), from a geomorphological point of view, is characterized by the presence of two "*lame*" (erosional valleys with seasonal torrent like flow): Giotta and San Giorgio, between which, in the early medieval period, a small settlement called *Loco Rutigliano* was estabilished. Although the existence of the settlement is traced back to the 10th century, the first certain reference is from 1059, the year in which, with a papal bull, a small, fortified village is mentioned. The village developed around a *donjon* (Torre Maestra), erected on a motte. This type of settlement, of North European origin, was introduced by the Normans, who are credited with the first fortifications of the village. The Torre Maestra became the central element from which urban development with a concentric layout radiated. From this central element, a trapezoidal enclosure was created, defining the perimeter of a small castle, which featured two additional towers at its remaining two corners, one likely identical to the Torre Maestra and a third tower, smaller and currently less visible. Surrounding this enclosure, a wall circuit was established, characterized by cylindrical towers and three city gates. Additionally, a postern with a drawbridge is documented as an entrance to the castle. Although studies on the reconstruction of the fortification system have already been initiated over the years, these studies are not sufficiently detailed. They are outdated and primarily based on archival research. This study aims to deepen these investigations using aerial and terrestrial photogrammetric survey methodologies, laser scanning, and 3D modeling, in order to provide new and more accurate elements for scientific reconstruction based on survey data alongside documentary evidence.

Keywords: Rutigliano, fortifications, surveying, reconstruction.

1. Introduzione

La ricerca, tuttora in corso, si occupa dello studio e della ricostruzione digitale delle opere di fortificazione (XI-XIV sec) del centro abitato di Rutigliano. Il punto di partenza della ricerca è stato quello di effettuare una ricognizione completa di quanto edito sulla storia e lo sviluppo del centro urbano, estrapolando le informazioni riguardanti le fortificazioni. A questa prima fase ha fatto seguito una valutazione, sul campo, quando possibile, dei dati riportati dalle fonti. La verifica è stata effettuata attraverso l'utilizzo degli strumenti e dei metodi del rilievo architettonico con l'utilizzo di laser scanner e fotogrammetria aerea e terrestre, supportati anche dalle indispensabili metodologie dirette per le parti più difficilmente accessibili con metodo indiretto. L'obiettivo è stato quello di approfondire e, dove necessario, verificare le conoscenze già acquisite, dotandole, possibilmente, di maggiori basi scientifiche, aggiungendo così nuovi elementi alla conoscenza dei luoghi.

2. Origine della *forma urbis*

Il territorio di Rutigliano presenta un assetto geo-morfologico caratterizzato dalla presenza di *lame*

BY-NC-SA

che, già in epoche antiche, hanno favorito la formazione di diversi insediamenti umani (Damato, 1999). In età alto medioevale, tra il VI e il X secolo, si assiste ad un lento abbandono di questi centri (Lavermicocca et al. 1987) e all'affermarsi di nuovi nuclei insediativi. Il *Loco Rutigliano*, si viene a strutturare tra il X e l'XI secolo. La prima attestazione certa dell'esistenza del nuovo borgo è del 1059 (Larizza, 2006) (1); si tratta probabilmente di un centro fortificato di ridotte dimensioni sorto su una piccola altura tra le lame *Giotta* e *San Giorgio* a ridosso di un'antica e importante direttrice viaria, la *Via Minucia.*

La *forma urbis* del centro è caratterizzata da un impianto circolare, come si riscontra anche in diversi centri medievali assimilabili a Rutigliano per una comune genesi fondativa (Mongiello, 1999). L'impianto è caratterizzato da anelli di espansione urbana quasi concentrici (tuttora leggibili nel tessuto edilizio) il cui fuoco è il piccolo complesso castellare, nello specifico la Torre Maestra (Fig. 1).

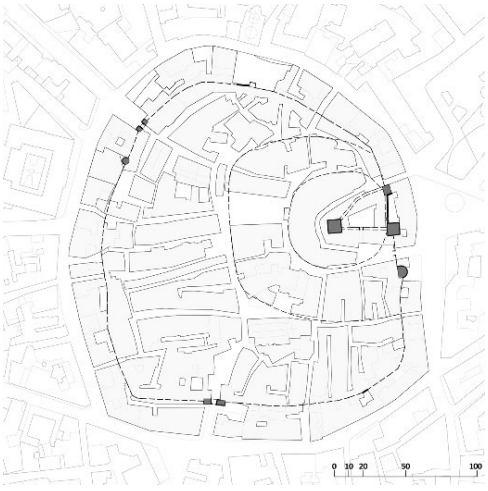


Fig. 1- Pianta della città antica in cui sono visibili gli anelli di espansione e, al centro dell'anello più piccolo, la *Torre Maestra* (elaborazione grafica dell'autore, 2024).

Secondo le tesi più diffuse tra gli studiosi, infatti, la *Torre Maestra*, in origine assimilabile probabilmente ad una motta con un *donjon* circondato da un muro di cinta, sul modello di esempi di origine nordeuropea (Settia, 2017), si può andare a configurare, quindi, come il primo elemento intorno al quale si è generato il successivo casale altomedievale e medievale.

3. Il *Castello* e i suoi elementi

Elemento fulcro del nucleo abitato è *il Castello*, del quale oggi rimangono apparentemente poche tracce (Fig. 2).

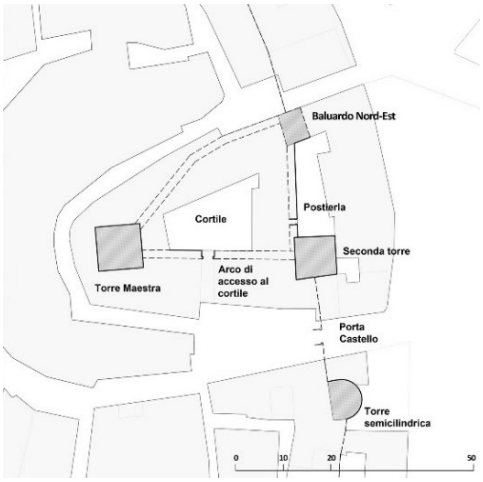


Fig. 2- Schema delle fortificazioni del castello (elaborazione grafica dell'autore, 2024).

Nella sua configurazione attuale, è stato fortemente alterato nelle forme originarie da una serie di superfetazioni e corpi di fabbrica che ne hanno quasi completamente snaturato la primitiva morfologia. Attraverso un'analisi della documentazione catastale e da una lettura interpretativa degli allineamenti evidenziati dall'ortofotopiano aereo, è stato possibile identificare, con un buon grado di certezza, il perimetro delle mura del castello.

L'ipotesi più plausibile porta a ritenere che questo, in origine, fosse costituito da un recinto trapezoidale allungato sul cui vertice più acuto era collocata la *Torre Maestra.* Da questa il recinto si sviluppava verso est, interrotto al pian terreno dall'arco di accesso alla corte interna del castello, fino connettersi alla *Seconda Torre*.

Qui il muro di cinta ruotava di quasi 90° verso nord, dove veniva interrotto da una piccola *posterula* prima di arrivare al *Baluardo nord-est.* Da qui il recinto si richiude verso la Torre Maestra con un flesso in un punto. Il recinto, infatti, è caratterizzato da quattro vertici ma, di questi, solo tre sono dotati di elementi "turriti". Questa è una caratteristica che potrebbe, considerando la struttura tipo delle fortificazioni di questo periodo (Cassi Ramelli, 1964; De Vita, 1974; Fuzio, 1981; Licinio, 1994), far pensare

alla presenza di un quarto elemento difensivo posto in questo punto; non ci sono però sufficienti riferimenti nella bibliografia a disposizione, né tantomeno è stato possibile indagare gli ambienti interessati; quindi, per il momento si esclude questa possibilità. Inoltre, a partire dalla *Seconda Torre* verso sud e dal *Baluardo nord-est* verso Nord partono le mura cittadine che racchiudevano tutto l'attuale centro storico. Di queste vi è traccia in alcuni punti del perimetro del centro storico dove si leggono ancora brevi tratti della cortina.

3.1. La *Torre Maestra*

L'elemento che meglio si conserva del castello, diventato un simbolo della città, è l'imponente *Torre Maestra* (Fig. 3).

Questa, essendo l'elemento generatore dell'insediamento, è stata oggetto di un rilievo architettonico più approfondito che ha riguardato gli ambienti interni, attraverso l'uso di laser scanner e fotogrammetria e l'esterno attraverso laser scanner e fotogrammetria aerea da drone.

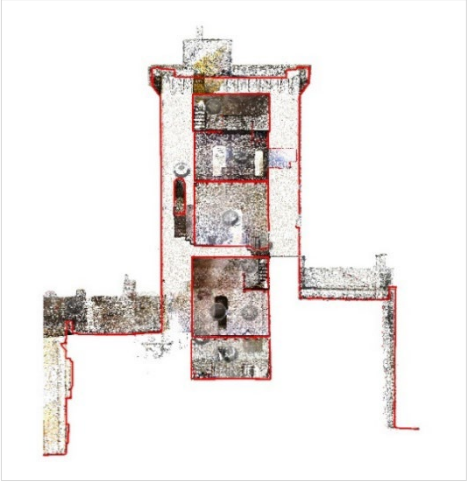


Fig. 3- Una sezione verticale della nuvola di punti della *Torre Maestra* in cui si possono osservare i vari livelli tranne la cisterna, la quale non è stato possibile rilevare (elaborazione dell'autore, 2024).

La *Torre Maestra*, fatta risalire alla dominazione Normanna durante il secolo XI, si presenta come una torre a base quadrangolare, alta 24,80 m, con lati che variano da 8,30 m a 8,57 m. All'interno di spessi muri variabili da 1,85 m a 2,00 m, la torre è articolata in più ambienti: una cisterna, in basso, e due ambienti sovrapposti voltati a botte, in origine suddivisi in ulteriori livelli da solai lignei di cui si sono conservati i fori di alloggiamento delle travi.

Al piano terra (attualmente il fondo della cisterna corrisponde all'incirca all'attuale quota più bassa del cortile del castello) è presente la cisterna, voltata a botte, con i canali che una volta la alimentavano tutt'ora chiaramente leggibili sulle murature dei piani superiori, così come anche i fori di adduzione sulla pavimentazione della copertura. Alla base della torre, in corrispondenza della cisterna, gli studiosi posizionano una scarpa; tuttavia, a seguito dell'ispezione di alcuni vani privati addossati alla torre non ne è stata trovata traccia.

Al di sopra della cisterna, ad una quota di 5,25 m rispetto al calpestio della corte, si colloca un secondo ambiente voltato a botte, suddiviso da solai lignei in tre livelli: nel più basso sono presenti due postazioni di tiro (lati sud e nord); nel mediano è presente l'unico accesso alla torre e tre postazioni di tiro (lati sud, ovest e nord); il più alto invece è semplicemente un mezzo solaio che permette l'accesso all'ambiente superiore. I solai attuali, pur conservando i livelli originari, sono opera di recenti restauri.



Fig. 4- Una delle postazioni di tiro/osservazione. Si può notare come attualmente siano presenti delle finestre quadrangolari mentre un tempo queste aperture dovevano probabilmente essere costituite da feritoie (foto dell'autore, 2024).

L'ultimo ambiente, voltato a botte, si trova ad una quota di 17,70 m ed è anch'esso suddiviso in 3 livelli da solai lignei: al primo livello troviamo tre postazioni di tiro/osservazione (Fig. 4), della medesima tipologia (lati sud, ovest e nord), i

probabili resti di un focolare ed infine una stretta scala in pietra, ricavata all'interno dello spessore murario est, che conduce al livello mediano.

A questo piano si trova la latrina e una postazione di tiro/osservazione (lato sud); infine all'ultimo livello, al di sopra di un mezzo solaio, un'ultima postazione di tiro/osservazione sul lato ovest e un piccolo vano scala che conduce alla copertura.

Qui una teoria di beccatelli su archetti pensili, in gran parte rifatti nel XX secolo (2), regge un parapetto aggettante dotato di caditoia maggiore in corrispondenza dell'ingresso e di caditoie minori a difesa dell'intero perimetro della torre. Il parapetto, inoltre, è caratterizzato dalla presenza di feritoie con concio di base *a staffa* (L'Abbate & Perfido, 2021) un elemento che ritroviamo anche presso il mastio della vicina Conversano.

All'esterno la torre si presenta con una muratura in conci ben squadrati con faccia a vista lavorata a rustico e i cantonali lavorati a bauletto nella porzione centrale, contornati da una fascia rasata a martellina. Ed è proprio attraverso la lettura delle tessiture murarie (esterne e interne) che si può osservare come tutte le aperture verso l'esterno siano state in qualche modo modificate adattandole alle epoche e fasi che la torre ha vissuto (Fig. 5).



Fig. 5- La stessa apertura vista nella Fig. 4 ora vista dall'esterno. Sono evidenti le manipolazioni della muratura circostante l'apertura (foto dell'autore, 2024).

3.2. Il tratto di mura Sud

Lungo il tratto di mura che conduce dalla *Torre Maestra* alla *Seconda Torre* è ancora presente l'originale arco di accesso al castello (tramite il quale è stato possibile verificare lo spessore delle mura) ed è inoltre visibile una porzione della tessitura muraria originaria.

3.3. La *Seconda Torre*

Ad una trentina di metri ad est della *Torre Maestra* si erge la *Seconda Torre*, anch'essa a pianta quadrangolare, seppur leggermente irregolare, dalle dimensioni simili alla prima con lati che variano da 8,50 m a 9,30 m e altezza (fin dove misurabile) di circa 21,00 m. La sua altezza è decisamente inferiore rispetto a quella della *Torre Maestra* essendo stata cimata nella parte sommitale (Larizza, 2006), probabilmente in origine, doveva presentarsi con una mole e una fattura simili alla *Torre Maestra*.

La torre risulta attualmente inaccessibile, è stato però possibile rilevarne buona parte dell'esterno compreso il piede, dove è evidente la presenza di una scarpa (successiva) (Fig. 6).

In questa occasione è stato possibile identificare un tratto delle mura cittadine, anch'esse dotate di scarpa, che dalla torre continuano verso Sud e quindi verso la non più esistente *Porta Castello* (Di Gioia & Lasorella, 2004) e il *Torrione Semicircolare* di epoca successiva tutt'ora visibile. La torre era quindi il primo elemento a difesa della porta, nonché il primo elemento della cinta muraria urbana.



Fig. 6- Il piede "a scarpa" della *Seconda Torre*. Osservando le tessiture murarie si può evidentemente riconoscere una leggera differenza tra la muratura della torre e quella della scarpa (foto dell'autore, 2024).

3.4. Il tratto di mura est

A partire dalla *Seconda Torre* verso Nord si sviluppano le mura del castello fino ad incontrare il *Baluardo nord-est*. In questo tratto, all'interno di una corte privata, è possibile osservare il fianco nord della *Seconda Torre* e, ad appena 3,00 m da essa, una *posterula* (Fig. 7) incorniciata da un incasso nelle mura dove trovava alloggio una pedana lignea che ruotava su cardini posti in basso, azionata da una catena che scorreva in un foro collocato al di sopra dell'estradosso dell'arco cuspidato del fornice. In questo tratto è inoltre possibile osservare con chiarezza la tessitura muraria delle mura che appare simile a quella del tratto di mura sud.



Fig. 7- Una foto della *posterula* dove si possono osservare tutti gli elementi che ne spiegano il funzionamento. Si può inoltre notare come sia ben ammorsata alla muratura attorno, questo ci consente di collocarle in uno stesso frangente temporale (foto dell'autore, 2024).

3.5. Il *Baluardo Nord-Est*

A 20 m in direzione Nord dalla *Seconda Torre* si può riconoscere un terzo elemento fortificato, il *Baluardo Nord-Est*. Questo elemento, della stessa altezza delle mura (o probabilmente poco più), è chiaramente identificabile attraverso la sua tessitura muraria e nello specifico il suo cantonale (Fig. 8). Questo si presenta con una lavorazione del tutto simile a quella dei cantonali delle due torri (seppur peggio conservato) e, ruotato di circa 18°, sporge dal limite delle mura di circa 3,80 m con una larghezza attuale di 6,65 m. Il baluardo potrebbe essere stato un elemento di fortificazione minore posto a rafforzo dell'angolo *nord-est* del recinto, nonché un punto di raccordo da cui partivano le mura cittadine. Una struttura simile è possibile identificarla, seppur in dimensioni di poco minori, a nord del circuito murario della città, lungo C.so G. Garibaldi.



Fig. 8- Sulla sinistra il cantonale della *Torre Maestra*, sulla destra quello del *Baluardo nord-est*. La somiglianza, nonostante lo stato di conservazione, è evidente (foto dell'autore, 2024).

Alle due torri maggiori, si accede attraverso delle aperture poste all'altezza del primo piano, probabilmente raggiungibili attraverso il camminamento in quota del muro di cinta.

Queste due porte, poste sui prospetti delle torri che si fronteggiano, hanno una fattura abbastanza tarda che lascia supporre rifacimenti avvenuti tra XV e XVI secolo.

3.6. Le mura e le porte

Le testimonianze attuali e le documentazioni analizzate dagli studiosi hanno dimostrato che l'intero centro antico doveva, almeno fino al XVIII secolo (AA.VV., 2003; Dicarlo, 2004), essere circondato da mura dotate di scarpa intervallate da torri quadrangolari, semicilindriche e bastioni, oltre che di un modesto fossato. Inoltre, è testimoniata la presenza di tre porte: *Porta Castello* (abbattuta nel 1862), *Porta Siconis* (ammodernata nel XVI sec e rinominata *Porta Nuova)* e *Porta di Bari* (l'unica rimasta nella sua originale condizione).

Le porte, e di conseguenza le mura, sono da attribuirsi, nella loro prima fase, al XII secolo.

4. Il rilievo architettonico

Le diverse campagne effettuate con lo scopo di rilevare gli elementi appartenenti alle fortificazioni della città hanno visto l'utilizzo, oltre che dei tradizionali metodi di rilevamento, di metodi digitali come la fotogrammetria terrestre e aerea e il rilievo tramite laser scanner (Fig. 9) (Mikita, 2020).



Fig. 9- Operazioni di rilievo laser scanner (foto dell'autore, 2024).

Nello specifico, per gli elementi isolati e di dimensioni contenute, come: porte, porzioni di torri o tratti di mura; è stato effettuato un rilievo speditivo tramite fotogrammetria terrestre. È questo il caso dei tratti di mura a scarpa individuati al piede della *Seconda Torre*, per i quali, trovandosi in ambienti ristretti e privati nonché soggetti alla limitata disponibilità dei proprietari, si è optato per una metodologia di rilievo rapida (Shults, 2017). Per quanto riguarda elementi più complessi e più estesi, invece, si è deciso di operare tramite fotogrammetria aerea, integrata con l'utilizzo di scansioni laser, come nel caso della *Torre Maestra*. In questo caso, infatti, è stata realizzata una serie di scansioni laser di tutti i vani interni e un rilievo fotogrammetrico da drone per gli spazi esterni. L'interno è stato ulteriormente documentato realizzando una approfondita battitura fotografica per poterne analizzare le murature e alcuni affreschi presenti (Fig. 10).

Queste metodologie, altamente affidabili dal punto di vista della precisione, combinate tra loro, hanno permesso di ottenere in tempi relativamente ristretti un altissimo livello di conoscenza relativo ai manufatti oggetto di studio (El-Din Fawzy, 2019).

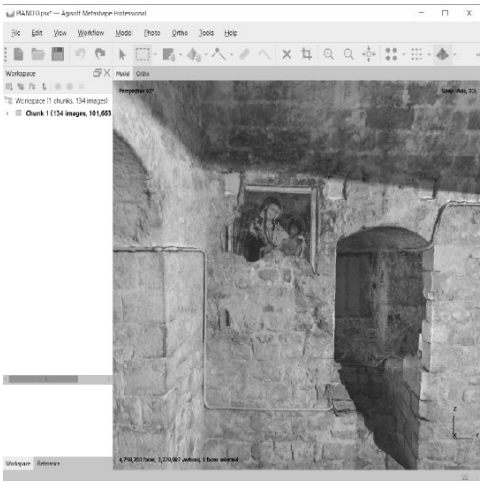


Fig. 10- Modello fotogrammetrico di dettaglio di uno degli affreschi all'interno della torre (foto dell'autore, 2024).

5. La ricostruzione digitale e i risultati

L'applicazione di queste metodologie ha coinvolto tutte le fortificazioni esistenti e visibili all'interno del centro abitato; tuttavia, la ricerca presentata è stata concentrata sullo studio e sulla ricostruzione del complesso castellare e dei suoi elementi fortificati. Ottenute le nuvole di punti tramite scansioni laser e i modelli tramite fotogrammetria, a seguito del rilievo, si è proceduto con il montaggio digitale di tutti gli elementi. Come primo passo è stato necessario stabilire un sistema di riferimento comune alle varie nuvole di punti e in questo caso si è scelto il sistema di coordinate *x,y,z* derivato dal rilievo tramite laser scanner. Sono stati quindi individuati abbondanti punti notevoli in comune tra la nuvola derivata dalle scansioni laser e la nuvola derivata dalla fotogrammetria aerea dell'area, in modo da poterli inserire in quest'ultima, riportando le stesse coordinate provenienti dalla nuvola da laser scanner. In questo modo è stato possibile creare una base molto estesa, correttamente orientata e dimensionata, sulla quale giustapporre nel medesimo modo anche le altre nuvole di punti e modelli. Questo ha permesso di costruire un mosaico di documentazioni tridimensionali da usare come guida per la verifica e la ricostruzione della configurazione del castello.

In seguito, si è proceduto con la modellazione tridimensionale e l'interpretazione dei dati e degli elementi rilevati fino ad ottenere una ricostruzione digitale in cui si può evidentemente distinguere ciò che è stato rilevato e ciò che non è stato rilevato e allo stesso tempo dare supporto alle ricostruzioni effettuate (Fig. 11).

6. Conclusioni

Lo studio delle fortificazioni della città, supportato dall'applicazione delle moderne metodologie del rilievo architettonico digitale, ha consentito di ottenere una maggiore e più approfondita conoscenza del non ben documentato sistema di fortificazioni del castello di Rutigliano. Inoltre, questa ricerca ha portato alla conoscenza di alcuni elementi inediti, così completando e arricchendo la documentazione esistente. La ricerca iniziata rimane in fase di ulteriore sviluppo, i prossimi passi infatti saranno mossi verso l'approfondimento dello studio sul castello e alla sua estensione verso tutto il perimetro delle mura urbane.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'Ufficio Cultura del Comune di Rutigliano, il Sig. Antonio Colamussi, il Sig. Giuseppe Nunzio Tanzi e il Sig. Nunzio Dellerba per aver concesso all'autore l'accesso ai luoghi oggetto di studio e in particolar modo si ringrazia il prof. arch. Paolo Perfido per il supporto scientifico alle operazioni di rilevamento e l'arch. Remo Pavone per la realizzazione della fotogrammetria aerea.

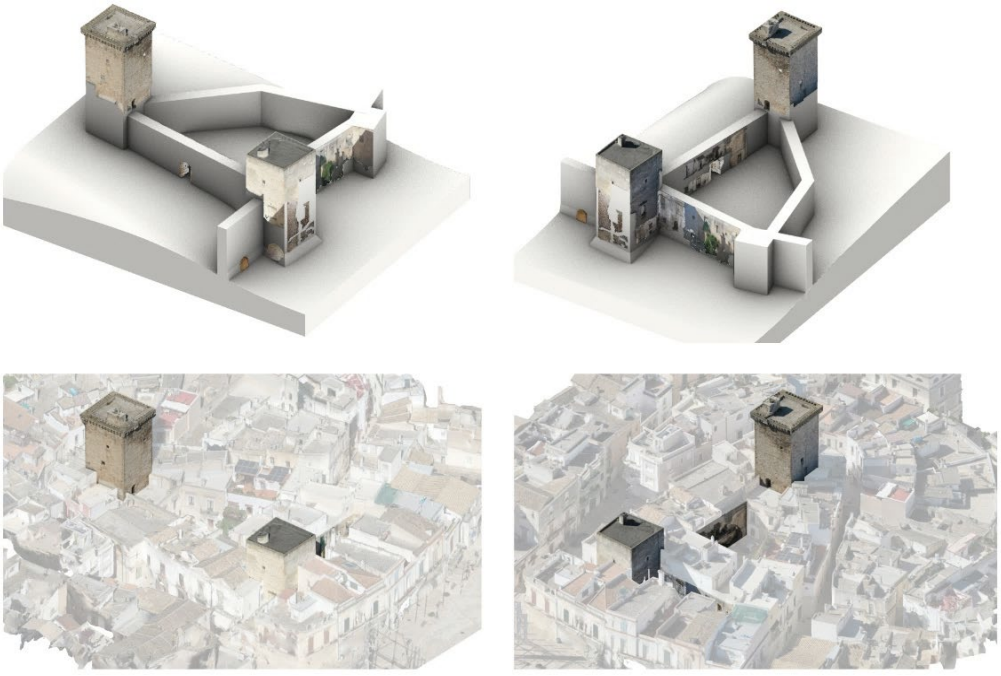


Fig. 11- Montaggio dei modelli texturizzati e modellazione tridimensionale (elaborazione dell'autore, 2024).

Note

(1) Bolla papale del 1059, in cui, il Papa Nicolò II concede la libertà e conferma i privilegi ricevuti dai bizantini, alla chiesa di Rutigliano, dedicata ai SS. Pietro e Paolo apostoli, e edificata da Rodelgrimo, figlio di Dabgy di Conversano.

(2) D. Di Gioia & G. Lasorella, *Piazza XX Settembre pagine di vita amministrativa a Rutigliano tra Ottocento e Novecento*, Rutigliano (BA) 2004. (Cap IX) Danneggiata da un uragano nel 1890, la sommità della Torre risulta essere in condizioni precarie fino agli interventi di restauro del 1929 ad opera dell'ingegner Michele Sorino.

Bibliografia

AA.VV. (2003) *Conoscere per Conservare l'Architettura di Rutigliano*, Cavallino (LE), Capone Editore.

Cassi Ramelli, A. (1964) *Dalle caverne ai rifugi blindati,* Milano, Nuova Accademia Edizioni.

Damato, A. (1999) (a cura di), *Ambiente, Archeologia, storia. Segni della Lama dell'Annunziata*, Palo del Colle (BA), MiBAC.

De Vita, R. (1974) *Castelli, torri e opere fortificate in puglia*, Bari, Adda Editore.

Di Gioia, D. & Lasorella, G. (2004) *Piazza XX Settembre pagine di vita amministrativa a Rutigliano tra Ottocento e Novecento*, Rutigliano (BA), Comune di Rutigliano.

Dicarlo, F. (2004) (a cura di) *Lorenzo Cardassi il tempo e la sua storia di Rutigliano*, Rutigliano (BA), A.B.M.C. Editore.

El-Din Fawzy, H. (2019) *3D laser scanning and close-range photogrammetry for buildings documentation: A hybrid technique towards a better accuracy*. Alexandria Engineering Journal 58, 1191–1204. https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.10.003

Fuzio, G. (1981) *Castelli: tipologie e strutture*, in: *La Puglia tra Medioevo ed età moderna. Città e campagna*, Milano, Olschki Editore.

L'Abbate, V. & Perfido, P. (2021) *Conversano: La città e le sue difese*, Conversano (BA), ComunicAzioni Editore.

Larizza, P. (2006) *Sviluppo urbano di Rutigliano dalle origini fino alle soglie del XIV secolo attraverso gli antichi documenti dei codici diplomatici*, Putignano (BA), Vito Radio Editore.

Lavermicocca, N., La Notte, G. & Pacilio, G. (1987) *Sant'Apollinare in Rutigliano. Storia, Scavo, Restauro*, Bari, Didonna Editore.

Licinio, R. (1994) *Castelli medievali – Puglia e Basilicata: dai Normanni a Federico II e Carlo I d'Angiò,* Bari, Edizioni Dedalo.

Mikita, T. Balková, M., Bajer, A., Cibulka, M. & Patočka, Z., (2020) *Comparison of different remote sensing methods for 3d modeling of small rock outcrops*. Sensors (Switzerland) 20. https://doi.org/10.3390/s20061663

Mongiello, L. (1999) *Nuclei urbani di Puglia*, Bari, Adda Editore.

Settia, A. (2017) *Castelli Medievali,* Bologna, Il Mulino Editore.

Shults, R. (2017) *New opportunities of low-cost photogrammetry for culture heritage preservation*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives 42, 481–486. https://doi.org/10.5194/isprs-Archives-XLII-5-W1-481-2017.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20376

San Benedetto alla Canapina: una “chiesa-torre” come cerniera verticale tra la città vecchia e la città nuova

Rebecca Rossi[a], Fabio Bianconi[b], Marco Filippucci[c]
[a-b-c] Università degli Studi di Perugia, Perugia, Italia, [a] rebecca.rossi2@studenti.unipg.it, [b] fabio.bianconi@unipg.it, [c] marco.filippucci@unipg.it

Abstract

St. Benedict’s former church, or the 'tower-church' as it is commonly known, has a profound architectural and symbolic connection with the Etruscan wall surrounding the Perugia acropolis. This wall penetrates the interior of the church, becoming part of the structure itself. It is probable that the church was originally constructed as an integral reinforcement of the wall structure, which was prone to frequent collapses due to the prevalence of landslides in the area. The church, which was built in accordance with Benedictine canon and exhibits Gothic architectural features, underwent numerous transformations over the centuries, as did the wall itself. Accordingly, the present study is predicated on an examination of the two elements in conjunction with one another, rather than as discrete entities. An investigation of the church's genesis cannot be dissociated from an analysis of the ancient layout on which it stands. The historical and archival information available, albeit scarce, when combined with the visual investigation of the external and internal masonry, has allowed for a historical-morphological reconstruction of the church spanning almost a millennium of history. When integrated within a digital BIM model, the same data take on new meanings, allowing geometric information to be combined with historical and documentary information.

Keywords: mura etrusche, chiesa, BIM, digitalizzazione.

1. Introduzione

Il caso studio si inserisce all’interno del contesto del centro storico di Perugia e, più in particolare, a ridosso delle mura etrusche che perimetrano la parte antica della città. La Chiesa, di canone benedettino e carattere goticheggiante, si configura come una realtà edilizia a stretto contatto con le mura, in quanto si fonda e si innalza su una parte dell’antico tracciato, rappresentando un unicum nel suo genere. Le mura penetrano al suo interno, configurandosi parte della struttura stessa, rappresentando l’elemento di confine tra la città vecchia e la città nuova che, nel periodo di edificazione della Chiesa, si presentava come zona di aperta campagna ancora in espansione. Ciò rappresenta uno dei caratteri più peculiari della Chiesa, la quale in questo senso si configura come punto di snodo e cerniera verticale di collegamento tra parte alta e parte bassa, zona vecchia e zona nuova: una “chiesa torre” (Bilancia, 2021), come molti la definiscono.

La complessa stratigrafia che nel corso dei secoli ha portato alla conformazione odierna è ad oggi visibile e ben raccontata da quelli che sono i segni sulle murature, sia in facciata che sulle mura stesse, restituendone parte della storia e agevolando il processo di ricostruzione delle numerose fasi costruttive che nel tempo si sono susseguite.

Per questo motivo, lo studio e l’analisi critica del manufatto non può prescindere dallo studio delle mura antiche sulla quale esso si erige; inoltre, risulta utile conoscere e comprendere la natura

BY-NC-SA



Fig. 1- Veduta di Perugia, stampa antica, XVIII sec., Catalogo Generale dei Beni Culturali, Biblioteca Comunale Augusta di Perugia.

del contesto che circonda la Chiesa, oggetto di interventi recenti e, anch'esso, a stretto contatto con il tracciato delle mura.

1.1. Il tracciato antico delle Mura Etrusche

Le mura urbiche caratterizzano uno spazio che rappresenta, da sempre, il cuore della città di Perugia: l'acropoli. Si tratta dell'antica cerchia difensiva della città, la quale è caratterizzata da due tracciati distinti: le mura etrusche e la cinta medievale. Le prime, edificate tra il IV e il III a.C., si sviluppano per quasi 3 chilometri. Si tratta del recinto sacro (Bilancia, 2005) entro il quale Perugia cominciò il suo sviluppo e attorno al quale si concentrò la successiva espansione. La cinta medievale venne edificata successivamente, in seguito alla progressiva espansione della città di Perugia, tra XIII e XIV secolo, quando Braccio Fortebracci incominciò ad accrescere la città mediante "un ante murale" (Siepi, 1822) di cui oggi rimane ben poco e che egli non riuscì a portare a compimento a causa della sua morte. Il muro etrusco si configura ad oggi come un'architettura quasi del tutto riconoscibile, di cui molti tratti sono ancora oggi conservati nella loro interezza. A riguardo, l'architetto Bilancia, in uno dei suoi studi relativi alle Mura (Bilancia, 2005: p. 16), cita: *La maggior parte del tracciato del Muro non è un semplice oggetto d'interesse storico-documentario, né, tanto meno, è un corollario di qualcosa di più nobile. Nient'affatto; ha una sua autonomia, unitaria identità e una sua specifica valenza estetica e vocazionale d'altissimo livello, efficace non solo per sé stesso ma per l'intero intorno che coinvolge e che condiziona.* (…) *Nel suo insieme, è ciò che piega la città alla sua presenza e che la definisce.*

È infatti interessante, come sottolineato dallo stesso autore, il concetto stesso di "cerniera verticale" con il quale è corretto identificare il particolare caso della Chiesa di San Benedetto alla Canapina. Se è vero che il termine vuole indicare, soprattutto, un elemento di separazione fisica tra Terra vecchia e Terra nuova, esso assume anche l'accezione di cerniera di separazione "d'interessi e di classe". Infatti, il manufatto si pone a cavallo tra la parte antica della città di Perugia e quella che una volta costituiva una zona prevalentemente di campagna. Lo stato di conservazione delle mura della città di Perugia rappresenta una realtà singolare, se si pensa ad altre città italiane in passato murate, come Bologna e Firenze, delle quali ad oggi non è rimasta alcuna traccia, se non gli elementi di accesso come le Porte. Tra XI e XIII Perugia fosse caratterizzata dalla presenza di numerose torri difensive (Siepi, 1822), erette a scopo di difesa contro le "continue sedizioni e civili discordie": nel 1315, di queste torri, se ne contavano quarantadue. Si trattava di manufatti che, in quel periodo, dovevano essere ben protetti e conservati, anche per l'importanza che questi rivestivano in un periodo caratterizzato da numerose guerre; Sisto IV, nel 1476, emanò l'ordine di scomunicare e punire con una severa pena chiunque arrecasse danno alle Torri della città di Perugia, che a quei tempi costituivano, come le definisce Siepi, "il miglior ornamento della città". Ciononostante, nei secoli successivi non si ebbe la stessa cura, al punto che la maggior parte vennero distrutte senza ritegno e solo tre ne rimasero intatte: quella del Campanile del Comune, quella della Porta del Rione di Sant'Angelo e quella degli Sciri in Porta Susanna.


Fig. 2- Facciata anteriore della chiesa (Gasperini, 2024).

1.2. Via della Canapina

Si colloca in uno dei tratti più vulnerabili della cinta etrusca, nella zona Nord-Ovest del fosso della Cupa, in un tratto in cui il tracciato volge lo sguardo verso Sud. Si trattava di un'epoca in cui il borgo esterno alla cinta muraria non era ancora nato e la frequentazione di quell'area non elevata. Si parla dello stesso tratto nel quale avvenne, qualche secolo più avanti, un parziale crollo della cinta medievale, evento significativo che probabilmente suggerì in seguito all'Amministrazione la costruzione della Via della Canapina (Bilancia, 2020), utile ad evitare un giro tortuoso. È una zona caratterizzata da una pendenza significativa, ai piedi del dirupo scosceso, caratteristica che rendeva quel tratto particolarmente vulnerabile dal punto di vista geologico. La presenza di meccanismi deformativi evidenti è probabilmente dovuta alla spinta idrostatica del terreno in quella zona. Inoltre, si tratta di una zona nella quale il tracciato delle mura etrusche perde riconoscibilità: probabilmente, oltre al crollo delle mura medievali, andando indietro nei secoli è possibile ipotizzare un precedente crollo, questa volta del tracciato etrusco. Ciò spiegherebbe la perdita di riconoscibilità in quel tratto in cui le Mura cambiano repentinamente rotta, volgendosi più a Nord e cercando un aggancio alle curve di livello poste nella zona più alta. Questo tratto della cinta si configurava come tratto vulnerabile non solo dal punto di vista geologico ma anche difensivo: l'area si trovava proprio sul ciglio del fosso, in un punto moderatamente pianeggiante rispetto ad altri circondari delle Mura, e quindi facilmente raggiungibile e attaccabile. Si ipotizza che fosse un tratto delle mura fuori uso. Il nome di San Benedetto alla Canapina prende il nome dalle attività dei mastri canapai che in quella zona erano soliti realizzare corde in canapa destinate ad essere vendute.

2. San Benedetto alla Canapina: una cerniera verticale

Oltre che quella di "chiesa torre", altra peculiarità non trascurabile è da ricercare nella particolare tipologia architettonica di chiesa sovrapposta, dalla quale deriva il singolare uso della Chiesa di San Benedetto: a piano terra, da fuori le mura, accoglieva i fedeli del contado, mentre al piano superiore, da dentro le mura, i fedeli della città. Si tratta di una tipologia non rara nella città di Perugia.

2.1. Analisi tipologica: le chiese sovrapposte

San Benedetto alla Canapina si caratterizza per la particolare conformazione della struttura ad aule sovrapposte, derivante dalle trasformazioni subite nel corso dei secoli e alle differenti sopraelevazioni che si sono susseguite nelle diverse fasi costruttive, ad oggi ben riconoscibili. È proprio questa la particolarità che la rende individuabile come cerniera verticale ed elemento di connessione tra città vecchia e nuova: la costruzione di una seconda chiesa, sovrapposta alla prima, fu infatti voluta per consentire la separazione degli ambienti interni e la

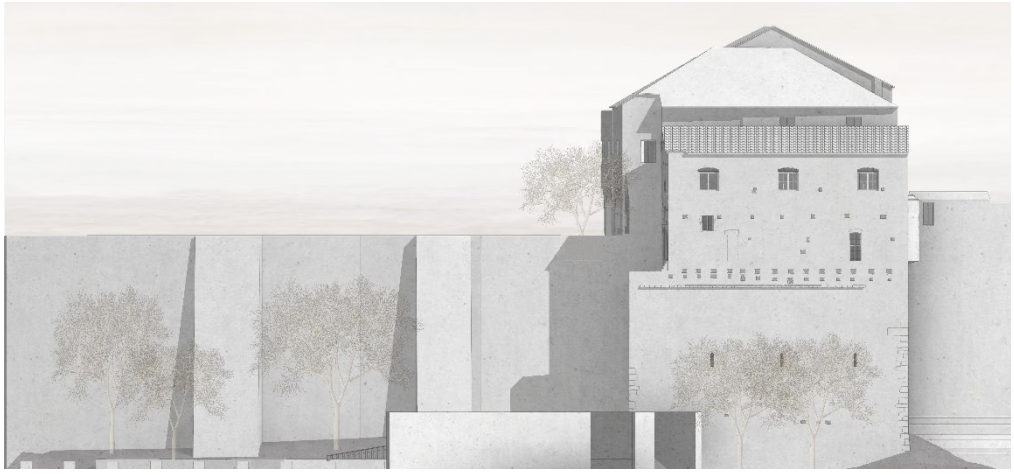


Fig. 3- San Benedetto e le mura, prospetto longitudinale (elaborazione degli autori, 2024).

conseguente creazione di due luoghi di culto separati fra loro, uno per gli abitanti dentro le Mura e una per quelli dei borghi esterni.

Seppur si tratti di una conformazione più che rara, San Benedetto non rappresenta un caso isolato nel territorio perugino. Chiese del centro storico come la Chiesa del Gesù, la Chiesa di Sant'Agostino e la Chiesa di Sant'Ercolano si presentano con configurazione simile, in quanto si caratterizzano anch'esse per la presenza di più aule sovrapposte.

2.2. Genesi e trasformazioni

La Chiesa di San Benedetto alla Canapina è una chiesa di matrice romanica, edificata nel X-XI secolo, addossata alle mura etrusche. Non ci sono documenti specifici che attestano l'anno di costruzione, ma attraverso le fonti storiche e archivistiche, oltre che lo studio della storia delle mura etrusche, è possibile ipotizzare che la prima pietra sia stata edificata attorno all'anno Mille. In particolare, si ha l'attestazione sicura della sua esistenza almeno dall'anno 1027 (Bonazzi, 1875: p. 355): *Si sa che fin dal 1007 esisteva la prima chiesa di S. Severo, posseduta dai monaci camaldolensi, vivente ancora S. Romualdo; fin dal 1027 la chiesa di S. Benedetto, ove oggi è il conservatorio Benincasa, dipendente dai monaci di S. Pietro;*

Venne costruita su ordine dei benedettini e dedicata a San Benedetto da Norcia; come sottolinea bene Bilancia (Bilancia, 2005, p. 22), ciò rappresenta un caso d'eccezione, in quanto era usuale che gli ordini monastici decidessero di stabilirsi in luoghi più tranquilli e lontani dal centro cittadino, in modo da poter garantire lo spazio da destinare a latifondi e altri spazi di campagna. Nacque così una piccola pieve che aveva l'obiettivo di dare ristoro a quel piccolo gruppo di fedeli che dalle campagne cominciava ad avvicinarsi alla città. L'intento non era la costruzione di una chiesa importante, ma di un organismo molto semplice di modeste dimensioni. Si trattava di una chiesa così poco importante al punto che nell'ordinanza degli statuti del 1279 non venne nemmeno presa in considerazione come riferimento per individuare il luogo del crollo di un tratto di cinta muraria nei pressi della chiesa stessa (Bilancia, 2005): *Come e per mezzo di chi deve essere restaurato il muro che è caduto vicino alla postierla della Cupa e quanto debba essere esteso il muro medesimo e adattata alla via. Diciamo e vogliamo che sia scrupolosamente osservato che il Podestà e il Capitano devono e sono tenuti a far rifare e restaurare e ben rimurare a spese del comune di Perugia il muro nuovo che è caduto, (quello) che sta vicino alla postierla della Cupa, posta in porta Santa Susanna. E che il muro medesimo sia esteso e murato fino al calzo del muro che sta accanto alla casa dei figli di Piero della Cupa; e che, lungo lo stesso calzo ed il terreno che resterà compreso tra il muro antico della città e lo stesso muro nuovo, debba realizzarsi una strada da sistemare ed aggiustare per mezzo degli uomini di porta Eburnea e di tutti gli altri che vogliono andare alla chiesa di Santa Mustiola; e che il terreno nel quale verrà costruito il detto muro, (terreno) che per la (realizzazione di) detta strada dovrà rimanere (compreso) tra il muro stesso e il muro antico della città, debba essere acquistato per il comune, con denaro comunale, secondo una stima giusta e conveniente. Ma, affinché il detto muro, nonché la disposizione e l'esecuzione di detta via fino alla chiesa di Santa Mustiola siano fatti al meglio, diciamo e vogliamo ed ordiniamo che la detta via ed il detto muro vengano realizzati e fatti realizzare in tutto e per tutto secondo il giudizio e le disposizioni di frate Martino dell'ordine dei frati Minori, così come lo stesso frate avrà ritenuto opportuno portare a compimento.*

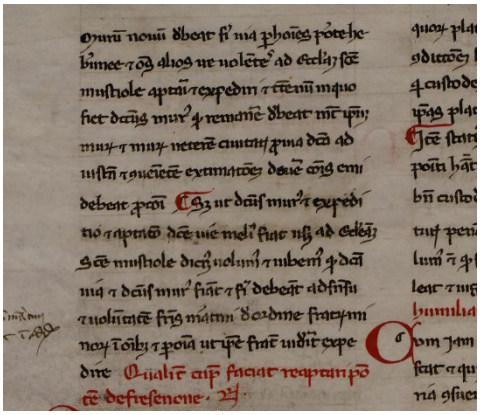


Fig. 4- Statuto del 1279 (Archivio Storico del Comune di Perugia).

In realtà, il crollo di cui si parla nello Statuto non fu, con buona probabilità, il primo dissesto che interessò le mura della Cupa, le quali come specificato in precedenza furono per conformazione e posizione spesso soggette a fenomeni di smottamento del terreno. All'interno

del *Catalogo dei potestà, capitani del popolo, legati, vicelegati, e governatori della città di Perugia ec.* contenuto all'interno degli scritti del Mariotti (Mariotti, 1806: pp. 216-217), si nomina un ulteriore intervento di risarcimento sulle mura della Cupa dell'anno 1275: *Dominus Ubertinus de Hinguardia Mediolanensis Perus. Potestas. (In lib. Submiss. fol. 123) Nell'annale maggiore dell'anno 1276. fol. 221. in detta Cancelleria de' Priori del Magistrato di Perugia. In quest'anno fu alzato, e fortificato il muro chiamato del Campo di Battaglia. Furon fatte le mura a Pianta Rosa per ritener l'acqua, che precipitosamente vi corre; e furon fatte quattro chiuse, e risarcite le mura alla Cupa.*

Infatti, come specificò lo stesso Mariotti (Mariotti, 1806), nessuno tratto di muro della Cupa può definirsi *aeterno crepido*.

Dopo il 1279, in seguito allo Statuto, la nascita di Via della Canapina portò ad un processo di revisione di quella piccola pieve (Bilancia, 2020), sotto l'esempio di Sant'Ercolano la cui costruzione venne avviata nel 1297 e conclusa nel 1326. È perciò possibile ipotizzare che proprio in questo periodo possa essere collocata la seconda fase costruttiva, corrispondente alla prima sopraelevazione. Infatti, se è vero che la chiesa nasce in stile architettonico prettamente romanico, sono ad oggi ancora visibili caratteri goticheggianti sia in facciata sia all'interno, tra cui l'arco a sesto acuto sopra l'architrave sulla porta d'ingresso. È plausibile ipotizzare, perciò, che la prima sopraelevazione, di cui sono evidenti segni sulla muratura interna, e la ristrutturazione in stile goticheggiante possano essere avvenute tra il 1279 e il XIV secolo. D'altronde, è in quegli anni che possono essere collocate le costruzioni di alcune tra le più importanti chiese, in parte in stile gotico, perugine: San Domenico fu costruita, a partire dal 1304, sull'area della preesistente pieve di Santo Stefano del Castellare. Nel 1293 veniva avviata la costruzione di Palazzo dei Priori e nel 1345 quella di San Lorenzo. Inoltre, il fatto che all'interno dello Statuto del 1279 la chiesa non venga menzionata porta ad ipotizzare che, in quell'anno, la conformazione fosse ancora quella di una piccola pieve ad aula singola.

Nel XIV esisteva un Arcipriorato, al quale erano soggetti i priorati e le precettorie ai quali facevano capo i conventi, monasteri, parrocchie. In Italia la sede dell'Ordine del Santo Sepolcro era la chiesa di San Luca, scelta dopo la disfatta di San Giovanni d'Acri del 1291 come casa madre dell'Ordine nel 1320. Perugia, infatti, si configurava come città ideale sia per posizione geografica sia per la vasta quantità di proprietà nel territorio perugino da parte dell'Ordine. Fu probabilmente questa l'occasione per cominciare a ragionare su una ristrutturazione della Chiesa di San Benedetto (Bilancia, 2020), che avrebbe portato alla seconda sopraelevazione nella seconda metà del XIV secolo. Con questa ulteriore espansione in verticale, si ebbe per la prima volta un accesso da dentro le Mura, rendendo di fatto la struttura un organismo costituito da due chiese distinte con due accessi differenziati, sull'esempio di Sant'Ercolano.

Altri crolli interessarono le mura nei pressi di San Benedetto: relativamente a ciò, Alberto Grohmann (Grohmann, 1981: p. 358), citando Graziani, menziona due documenti relativi a ottobre 1431 e gennaio 1432, i quali rispettivamente recitano: *Adì 13 de ottobre cadde una tela del muro del Comuno lì alla Cupa sotto la Sapienza vecchia verso San Bartolomeo.* (…) *cadde un pezo de muro de la città lì a San Benedetto in la Cupa.*

Un altro crollo avvenne il 9 febbraio 1581, riferendosi al muro dell'orto di San Benedetto (Gigliarelli, 1908). La Chiesa venne dismessa attorno al 1700. Nel 1777 la parte superiore entrò nella sfera del Conservatorio Benincasa, collegio per orfani e in digenti, e finì per essere relegata ad annesso agricolo. In particolare, come racconta Siepi relativamente al Conservatorio Benincasa, quest'ultimo fu istituito per testamentaria disposizione del 9 agosto 1702 da Michelangelo Benincasa, il quale visse fino al 18 giugno 1716, data dopo la quale l'istituto venne gestito dal vescovo in carica. Nel 1777, il vescovo Odoardi compra alcune case e terreni che spettavano al priorato di Roma dei Cavalieri Gerosolimitani, insieme alla Chiesa di San Benedetto che apparteneva al suddetto ordine (Siepi, 1822: p. 754): (…) *e con un nuovo circondario di mura fatto nel 1784 gli die forma di casa religiosa, e gli prefisse la clausura dipendente però dal Rettore o Amministratore pro-tempore.*

Il Conservatorio perse autonomia amministrativa nel 1860 e fu inglobato nella Congregazione di Carità (Squadroni, 1990). Con il decreto Pepoli, nello stesso anno, la chiesa passò nelle mani dello Stato, che ad oggi la detiene.

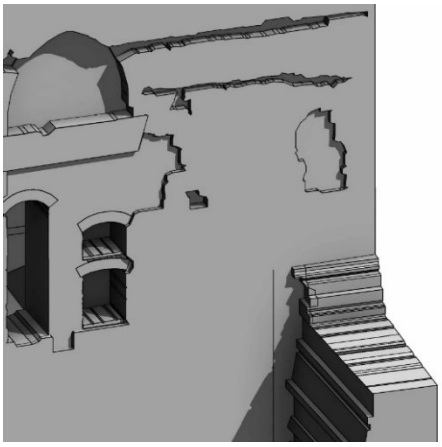


Fig. 5- Restituzione digitale delle disgregazioni murarie (elaborazione degli autori).

3. Sperimentazioni BIM per la documentazione e catalogazione storica

Nel corso dell'analisi, il continuo confronto e riferimento alla muratura del muro etrusco, costituente parte del manufatto stesso, risulta elemento fondamentale per la categorizzazione e l'identificazione di alcuni elementi.

L'analisi non riguarda, infatti, solo il manufatto, ma deve comprendere anche l'ambito in cui si trova e con cui si relaziona: in questo caso, il muro etrusco. Se in corrispondenza della facciata anteriore la lettura risulta più difficoltosa, se non impossibile, a causa della vegetazione che attualmente ricopre la maggior parte del paramento murario, sulla facciata posteriore in corrispondenza del giardino delle scuole Fabbretti l'analisi della muratura risulta più agevole.

L'obiettivo è la catalogazione temporale e materica degli elementi, volta alla ricostruzione delle fasi storiche mediante approccio BIM. L'informatizzazione e successiva catalogazione degli elementi costituiranno parte integrante dell'applicazione della metodologia H-BIM, configurandosi come obiettivo ultimo; le informazioni acquisite saranno propedeutiche ad eventuali ragionamenti sul restauro e consolidamento del manufatto.

Se è vero che il BIM è uno strumento utilizzato, perlopiù, in riferimento alle costruzioni *ex novo* o alla fase di gestione del cantiere, negli ultimi decenni si è rivelata sempre più importante l'applicazione al patrimonio storico. Essendo particolarmente rilevante, nell'ambito del restauro, la fase di acquisizione dei dati cronologici della struttura, negli ultimi anni sono state elaborate delle procedure, seppure ancora in fase sperimentale, finalizzate a definire un processo cooperativo tra il progetto in ambito di restauro e le competenze in ambito BIM. Ciò consente non solo la visualizzazione tridimensionale, la quale supera la bidimensionalità degli elaborati che si ottengono da un tradizionale processo di progettazione, ma anche la definizione dei reciproci rapporti temporali delle parti che, integrati all'interno del processo informatizzato, consentono una lettura completa dei singoli componenti del manufatto.

3.1. Analisi e modellazione as-built degli elementi murari

L'utilizzo di rilievi architettonici dettagliati ha permesso di ottenere un alto livello di dettaglio di modellazione. Infatti, grazie a questi è stato possibile procedere con la restituzione di tutte le irregolarità presenti, all'interno del software Autodesk Revit, come distacchi e crolli parziali di muratura. Ciò si è rivelato di particolare importanza per il completamento dell'analisi morfologica e della ricostruzione delle fasi; limitarsi al semplice modello geometrico approssimato non avrebbe permesso una corretta ricostruzione dello stesso. Solo laddove non si avevano a disposizione elaborati di dettaglio, si è proceduto con una modellazione più approssimata, così come per gli edifici adiacenti i quali, non essendo oggetto di studio, sono stati modellati mantenendo un livello di dettaglio complessivo più basso rispetto alla chiesa.

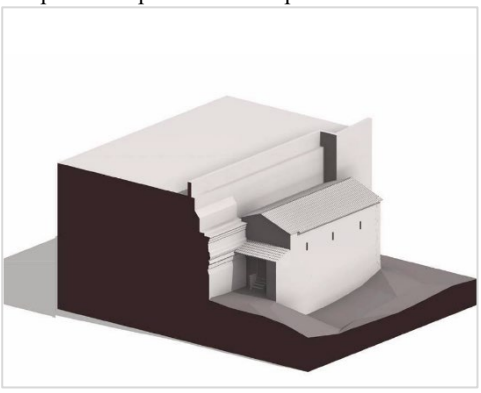


Fig. 7- Restituzione digitale dell'ultima fase costruttiva (elaborazione degli autori, 2024).

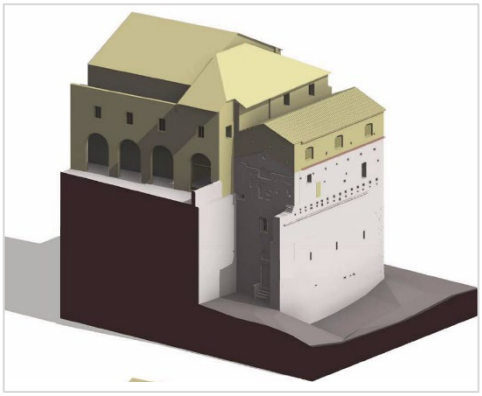


Fig. 6- Restituzione digitale della prima fase costruttiva (elaborazione degli autori).

Data l'irregolarità della costruzione, la maggior parte della modellazione è stata eseguita mediante l'utilizzo di *Modelli Locali*, procedendo alla ricostruzione di aperture generiche, archi, volte, cantonali, coppi, decorazioni, fessure, fori, incassi, mattoni, cornici, lunette, nicchie.

3.2. Ricostruzione delle fasi storico-temporali

La dimensione temporale del BIM si configura come l'evoluzione del concetto di tridimensionalità del modello informatizzato, aggiungendo, di fatto, un'ulteriore dimensione che è quella del tempo.

L'analisi delle caratteristiche morfologiche e l'approfondita ricerca storica hanno permesso di individuare le fasi costruttive e temporali relative alla chiesa di San Benedetto, le quali sono state analizzate e successivamente sintetizzate. Data la scarsità di informazioni, sia storiche che archivistiche, relative alla chiesa, i periodi individuati si basano su ipotesi derivanti dallo studio del manufatto e della sua storia. Non essendo in possesso di date precise, tantomeno di atti di costruzione e/o ristrutturazione, si è proceduto per ipotesi di periodi più o meno indicativi, analizzando differenti scenari e scegliendo quelli più coerenti con quanto appreso dalla ricerca storica e dalle caratteristiche ad oggi ancora visibili sulla muratura.

L'individuazione delle fasi ha come obiettivo la loro ricostruzione e informatizzazione all'interno del software *Autodesk Revit*.

Oltre alla ricostruzione del modello geometrico, il processo ha consentito una corretta catalogazione degli elementi anche in base alla relativa fase costruttiva.

Attraverso una corretta impostazione dei filtri di fase, sarà possibile la visualizzazione sia normale sia comparativa. Le fasi sono state catalogate seguendo un criterio ben preciso che tiene conto del periodo storico, della relativa funzione e della morfologia.

4. Conclusioni

Chiesa e Mura si configurano come un tutt'uno: la prima nasce a ridosso delle seconde, le quali entrano al suo interno configurandosi parte della struttura stessa. Pertanto, comprendere la Chiesa di San Benedetto significa comprendere non solo la sua storia ma anche quella del tracciato delle mura su cui si erige, in uno studio incrociato in cui le due analisi non possono prescindere l'una dall'altra. La genesi della chiesa va ricercata in quella del muro etrusco, il quale si configura come elemento fondamentale per comprendere la nascita della prima e la sua evoluzione storica.

L'analisi ha infatti permesso di comprendere come essa non solo abbia rivestito (e riveste tuttora) un'importante funzione di collegamento verticale tra la zona fortificata e quella fuori le Mura, ma anche come la sua genesi debba essere ricercata in stretta connessione con la storia del suo contesto.

Dallo studio emerge, infatti, come sia plausibile ipotizzare che essa possa essere nata, con buona probabilità, come elemento di rinforzo delle mura stesse in seguito a uno dei numerosi crolli che interessarono la cinta muraria in quei secoli. Per questi motivi, il progetto di riuso della chiesa non può prescindere dallo stretto legame che, da sempre, esiste tra i due elementi (Bilancia, 2005), i quali non devono essere pensati come scissi ma, anzi, fungere da potente strumento di valorizzazione l'uno dell'altro.



Fig. 8- Comparazione delle fasi storiche mediante software BIM (elaborazione degli autori).

Bibliografia

ASPg, Archivio storico del Comune di Perugia, Statuti, 1, rub. 192, c.30 rv. (Edizione in Statuto del Comune di Perugia del 1279, I, Testo edito da Severino Caprioli, Perugia, Deputazione di storia patria per l'Umbria, 1996, p. 200).

Bianconi, F. & Filippucci, M. (2023) *La rivoluzione BIM per la pubblica amministrazione. Sperimentazioni nel territorio di Città di Castello*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli Editore.

Bilancia, M. (2005). *Il muro nascosto. Alla scoperta delle mura antiche di Perugia*. Perugia: Italgraf.

Bilancia, M. (2008). *Il muro etrusco di Perugia. La Cupa*. Perugia: Italgraf.

Bilancia, M. (2020). *Una gita fuori porta. Passeggiate virtuali lungo le mura etrusche di Perugia*.

Bonazzi, L. (1875). *Storia di Perugia dalle origini al 1860. Volume I.* Perugia: Vincenzo Santucci e Boncompagni.

Fabretti, A., Bonaini, F. & Polidori, F. (1850). 'Cronaca della città di Perugia dal 1309 al 1491 nota col nome di Diario del Graziani secondo un codice appartenente ai conti Baglioni', *Archivio storico italiano*, 16(1), pp. 69-750.

Filippucci, M. (2018). Immagine e paesaggio: la questione rappresentativa.In F. Bianconi & M. Filippucci (eds) *Il Prossimo Paesaggio*. Roma, Gangemi, pp. 159-170.

Gigliarelli R. (1908). *Perugia antica e Perugia moderna. Indicazioni storico tipografiche.* Perugia: Unione Tipografica Cooperativa.

Grohmann, A. (1981). 'Città e territorio tra Medioevo ed età moderna:(Perugia, secc. XIII-XVI)'. Perugia: Volumnia.

Mariotti, A. (1806). *Saggio di memorie istoriche civili ed ecclesiastiche della città di Perugia e suo contado*. C. Baduel.

Osello, A. (2012). *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*. Palermo: Flaccovio.

Siepi, S. (1822). *Descrizione topologico-istorica della città di Perugia*. Volume II parte II. Perugia: Garbinesi e Santucci.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20377

Survey experiences of city walls of Alessandria and Lucca: an overview

Michele Russo[a], Michele Asciutti[b], Giulia Flenghi[c], Martina Casciola[d], Paolo Bertoncini Sabatini[e], Gabriella Caroti[f]

[a-b-c-d] Sapienza University of Rome, Department of History, Representation and Restoration of Architecture, Rome, Italy, [e] University of Pisa, Department of Energy, Systems, Territory and Construction Engineering, Pisa, Italy, [f] University of Pisa, Department of Civil and Industrial Engineering, Pisa, Italy e-mail: [a]m.russo@uniroma1.it; [b]michele.asciutti@uniroma1.it; [c]giulia.flenghi@uniroma1.it; [d]martina.casciola@uniroma1.it; [e] paolo.bertoncini@unipi.it; [f]gabriella.caroti@unipi.it

Abstract

In military architecture, the city wall between towers or bastions have architectural-structural characteristics related to the defensive and offensive systems used. Such systems are boundaries of fortified cities at urban scale and differ in shape and size, structure, style, layering of techniques, and territorial relationship to the city. These distinctive elements may include tunnels built to facilitate the passage of people and armaments through networks of passages within the walls. In addition, given the urban scale of city fortifications, they present a peculiar relationship with neighbouring vegetation. This latter requires ongoing control and maintenance to avoiding pervasive vegetation harmful to the wall's preservation and visibility. These artefacts are complex subjects to study through digital survey techniques, given their size, articulation and urban contextualisation. Integrating active and passive methodologies makes it possible to control these architectural structures' morphological complexity and scale variation while preserving their detail and overall accuracy. Within the PRIN 2022 INFORTREAT project, we had the opportunity to survey portions of two different case studies: the walls of the citadel of Alessandria and the walls of Lucca. Each case study presented its own set of challenges in the 3D acquisition process, which we overcame through the application of established surveying processes. The initial comparison of the surveys underscores the significance of employing methodologies that incorporate metric control to ensure the reliability of data on these architectural systems. Another key aspect pertains to the knowledge derived from these surveys, which deepens our understanding of the different building systems and lays the groundwork for a comparison with the principles outlined in military treatises. Furthermore, the optimisation of these surveys provides a foundation for the modelling of forms using parametric tools.

Keywords: city walls, integrated survey, metrological analysis, stratification.

1. Introduction

The survey of fortified city walls defines a vast research domain. This subject hardly shows traces of innovativeness at the general level because integrated survey methodologies have been extensively applied, reaching an acceptable degree of maturity. Besides, each artefact can highlight elements of complexity, which require careful survey planning and experimental approaches to preserve their original shape. In addition, data traceability is required to control the overall accuracy, obtaining reliable metric information that can be used for interpretative purposes.

The presented research is framed inside the activities of the national INFORTREAT project (https://www.infortreat.unipi.it) dedicated to

BY-NC-SA

reconstructing some early modern bastioned fronts. In this domain, the survey activities of two different case studies have been planned: a portion of the city walls of the Cittadella di Alessandria and Lucca. These two case studies, analysed in the article, are historically and formally distant. Nevertheless, it is possible to identify some common issues. These latter feed the level of complexity, addressable through established integrated methodologies, which lead to some comparisons in terms of process. The acquisition phase defines the base for generating digital replicas within HBIM environments associated with semantic information. It will further form the reference framework for autonomous solutions or eXtended Reality (XR) visualisations.

2. Case studies

2.1 Walls of Lucca

The construction of Lucca fortifications began in 1544 and was completed in 1650. The research focuses on the Santa Croce bastion and a portion of the western wall that is joined to it (Fig. 1). The structures in this section were built in the first half of the 17th century according to the design of Muzio Oddi (1569-1639), an engineer, architect, and mathematician from Urbino trained at the court of the Della Rovere family, the last exponent of that illustrious school of masters of military art.

The bastion, located in the northwest corner of the defensive circuit, has rounded flanks and faces of different sizes. Its shape (Fig. 2) reflects the articulated and stratified internal conformation of the medieval walls and is a consequence of the interventions implemented since the 16th century.

The founding core of this original palimpsest is the early 16th-century keep, which in turn had incorporated a pre-existing corner turret (Fig. 3). On it, and the adjoining external walls, are concentrated the interventions first conducted in 1571. In that period the gunnery was inserted, and the vaulted gallery for access to the inner powder magazine was built. Later, in 1597, Emilian engineer Ginese Bresciani absorbed these structures entirely into a half-bastion facing east, completed within three years. On this occasion, a double system of manoeuvring squares was created, with the lower one having two gunports and the upper one having three. The lower one was connected by a staircase and crossed a hanging path. The upper one was joined by a system of new internal galleries and a sortie leading into the inner side of the auricle shape.

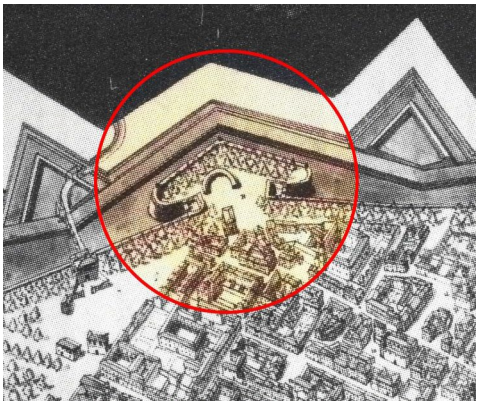


Fig. 1 - Detail of the plan of the city of Lucca from 1660 (Archivio di Stato di Lucca, B.S.E.).



Fig. 2- Bastion general overview.



Fig. 3- Bastion general overview.

The bastion's redevelopment and the wall's reconstruction define an integral part of the project to enlarge the city's western sector. It happened at the beginning of the seventeenth century, still protected by a long section of the city-age wall developed by Oddi. The renovated Santa Croce rampart contributes to the definition of the new arrangement by leaning against the sixteenth-century part, which is practically stumped, completing it. The addition, which faces south and has no underground routes, as it is wholly made of pressed soil, includes a lower manoeuvre square equipped with three gunports and a portico

connected to the upper square by a ramp. The related sortie, unable to cleave the flank as on the opposite side, crosses the wall, flowing out behind the earwig. In the old, keep left to emerge in the centre of the bulwark, thus upgraded, and the firing positions are then located.

2.2 Alessandria Citadel

The Alexandrian fortress was designed and built in its essential components by Giulio Ignazio Bertola (Vittorio Amedeo II of Savoy's first engineer) from 1728 until the 1760s. Our research is focused on the Santa Cristina bastion, near the Cittadella bridge over the Tànaro River, and the adjacent portions of the adjacent curtain walls (Fig. 4). Like the other five bastions placed at the apexes of the defensive circuit, this one facing the city also has concave sides with trunnions. The work is done with extensive use of rammed earth, including buttresses and prominences on the inner side of masonry. So, there are no traces of hypogeal rooms inside the bastion. These latter were added at the end of the century during French rule, in the four bastions arranged on the diagonals of the elliptical hexagon, which informs the regular plan of the fortification. Although it started with an ideal plan adapted to the territorial context, it contemplated the destruction of an entire neighbourhood that had been densely inhabited since the late Middle Ages (specifically the “Bergoglio”). Additionally, the citadel was constructed as a plain fortress, which was heavily conditioned by the water table in the soil and the watercourse that runs alongside it.

Besides, military engineers used floods, artfully created by flooding the perimeter moat between the eighteenth and nineteenth centuries, as a defence tool in case of war. For all these reasons, the foundation system primarily used in all citadel structures, thus including the ramparts, is that on piles. Updates conducted on the ramparts at the end of the 18th century, and then again during the following century, contributed to changes in the vegetative framework of the ramparts. It involved also Santa Cristina bastion, particularly in the area of the upper knight (Fig. 5). The current picture is one of pervasive and overgrown vegetation, which has encroached on substantial parts of the structure due to the complicated maintenance of a property owned by the civil state but entrusted to the joint management of the local municipal administration and the Superintendency of territorial jurisdiction.



Fig. 4- Detail of the plan of the city and citadel of Alessandria from the late 18th century (Archivio di Stato di Torino, Corte, Carte topografiche dell’archivio segreto, Alessandria 25. A. I rossi).



Fig. 5- Bastion general overview.

3. Survey methodology

The survey methodologies applied in this research are based on integrating active and passive sensors and assigning different tasks to each technique (Fig. 6).

The geodetic network defined a general reference grid to contain the possible orientation errors of individual acquisitions, orienting survey data in an absolute reference system. The 3D laser scanner, on the other hand, was used for a massive geometric and radiometric acquisition, defining dense point clouds with a wide range of working distances in a short time. Finally, ground and drone photogrammetry techniques were applied to acquire more reliable colour data, generating point clouds that are helpful for surface mapping. The individual case study's characteristics led to refining the survey process and trying to solve the specific bottlenecks.

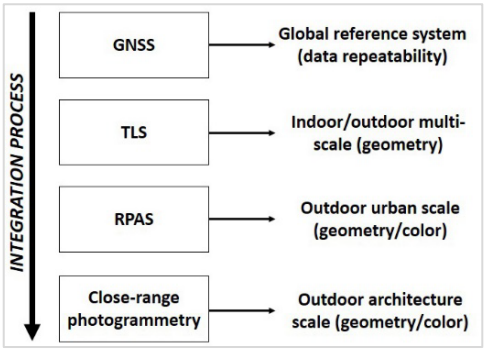
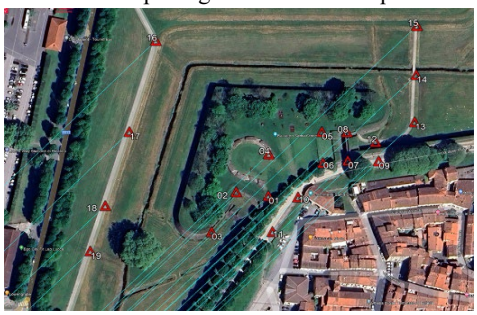


Fig. 6- General workflow pipeline.

3.1 Santa Croce acquisition

The Santa Croce bastion is articulated on several levels: the "double order" embrasures, the soldiers' bastion on a high arched loggia leaning against the embankment towards the city and several internal galleries. The survey planning considered both the complexity of the geometry and the aim of acquiring internal spaces and external areas of the fortified structure.

The integrated methodology was based on applying a GNSS receiver to frame the survey in a global network, a terrestrial 3D laser scanner and terrestrial photogrammetric techniques.


Fig. 7- The GNSS network survey.

The GNSS control and reference network was implemented with 19 benchmarks distributed over the area of interest (Fig. 7), foreseeing future survey campaigns.

The network was acquired with a dual-frequency differential satellite receiver (GS18, Leica Geosystem) used in NRTK mode and connected to the Smartnet Italpos network (Leica Geosystem). The latter allowed georeferencing data using the ETRF2000 (2008.0) reference system.

The range-based acquisition was based on RTC360 (Leica Geosystem), equipped with inertial sensors and VIS (Visual Inertial System) technology, allowing the range map's real-time alignment. The scan network was composed of 190 stations. The distribution considered 127 indoor scans, with an average distance between stations of 6÷8 m and a resolution of approximately 1 cm@10 m, and 63 outdoor ones, with an average baseline of 15÷20m and a resolution of approximately 1 cm@5 m. The latter also allowed the Casermetta building, part of the Baluardo and the park to be covered, all adapted to the peculiarities of the site. Finally, a photogrammetric survey of some details of particular interest was carried out using a Nikon D750 camera with a 50 mm fixed-focal-length lens.

3.2 Santa Cristina acquisition

The area of Santa Cristina Bastion covers more than 16,000 square meters but has quite different characteristics than Lucca. In fact, given the presence of a pre-existing photogrammetric and LIDAR from the RPAS survey, the aim was to integrate the existing survey by acquiring details of the wall and all the elements visible from the moat. The pervasive presence of vegetation obliged planning several accuracy controls in the survey planning.



Fig. 8- The 3D scanning network.

In the first step, we analysed the existing survey coordinates to frame the new survey in the same reference system (ETFR2000). Then, a geodetic network of 8 points materialised from targets, employing the GNSS GR5 receiver (Topcon) in NRTK mode connected to Topcon's Netgeo network. In the second step, 24 scans were acquired using the RTC360 3D laser scanner (Leica Geosystem), trying to vary the distance from the wall to minimise tangential errors and optimise orientation with the VIS system. The

mean working distance was 30-40 meters (resolution of 6 mm@10 meters), corresponding to a 2-3 cm sampling step on the walls (Fig. 8). Finally, a photographic acquisition campaign of one masonry section was planned, comparing different data types. A DSC-HX60 camera (Sony), with a 4 mm focal length, was employed. A horizontal stripe based on 40 images was acquired with an axis perpendicular to the masonry.

4. Data process and analysis

4.1 Santa Croce data

Regarding the Santa Croce example, all the bastion's interior and exterior 3D scans were aligned using the Cyclone Register 360 software (Leica Geosystem). The entire area-based block was oriented in the ETRF2000 (2008.0) system. The residuals of this orientation phase were of the order of a few centimetres.

The survey campaign acquired a total raw data weight of 160 GB. This considerable data dimension highlights a known bottleneck related to data management: how can the large amount of data collected be processed? The storage problem is relatively easy to solve (using remote virtual servers or new-generation hard disks, such as SSDs). However, processing methods and tools must be prepared to supply a compliant solution.

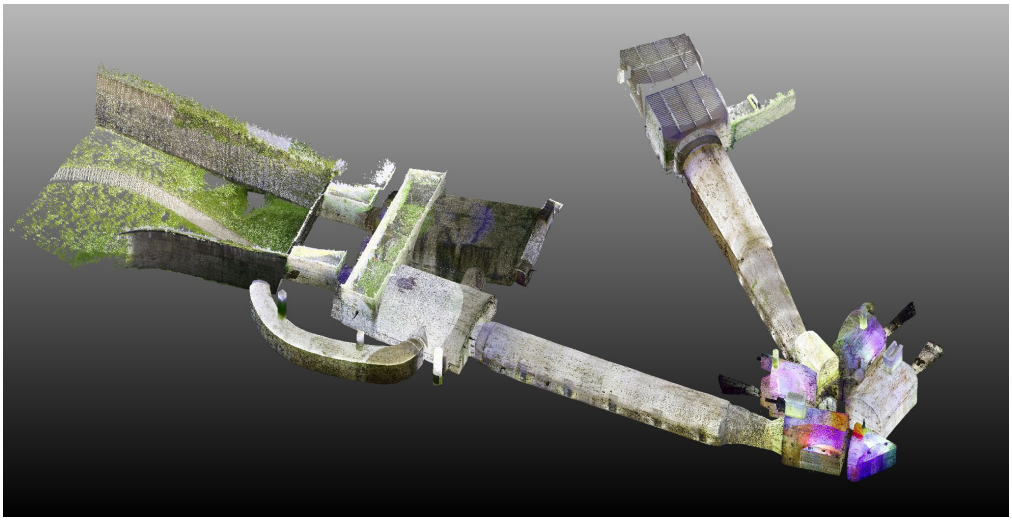


Fig. 9 - The 3D scanning network (graphic elaboration by author, 2024).

Our case study's complexity required identifying an appropriate methodology for data management and usage, a crucial passage for achieving the objectives of knowledge and asset valorisation. A first attempt was made based on filtering scans by distance and subsampling them.

This approach is time-consuming and cannot be compliant with managing the different boundary conditions, which can affect the overall quality of the range-based model. Therefore, it was decided to process the individual-oriented scans by setting a new distance filter: more stringent for the inner scans, set at 1 cm, while the outer scans were subsampled at 2 cm (Fig. 9). All the clouds processed were managed in a single Recap (Autodesk) project and oriented in a global reference system using the GNSS network. Finally, the photogrammetric blocks were processed separately, creating image-based models oriented in the same reference system to integrate the range data.

4.2 Santa Cristina data

In the Santa Cristina case study, GNSS coordinates were imported into the Register software (Leica Geosystem) as a reference. This step was essential to reducing errors in the scan alignment process. Indeed, given the considerable presence of vegetation and flat wall surfaces, automatic orientation systems and ICP algorithms showed some performance limitations, verified by local sections. The 3D point clouds were roto-translated in the absolute system, with a maximum residual error of 8 cm. Finally, moving to the image orientation, eight coordinates (GCPs) were extracted from the oriented range data, scaling and integrating the entire

photogrammetric block. The GCPs residuals were a few centimetres. Given the context-related issues, the data analysis was planned to assess the system's accuracy and reliability (Fig. 10).

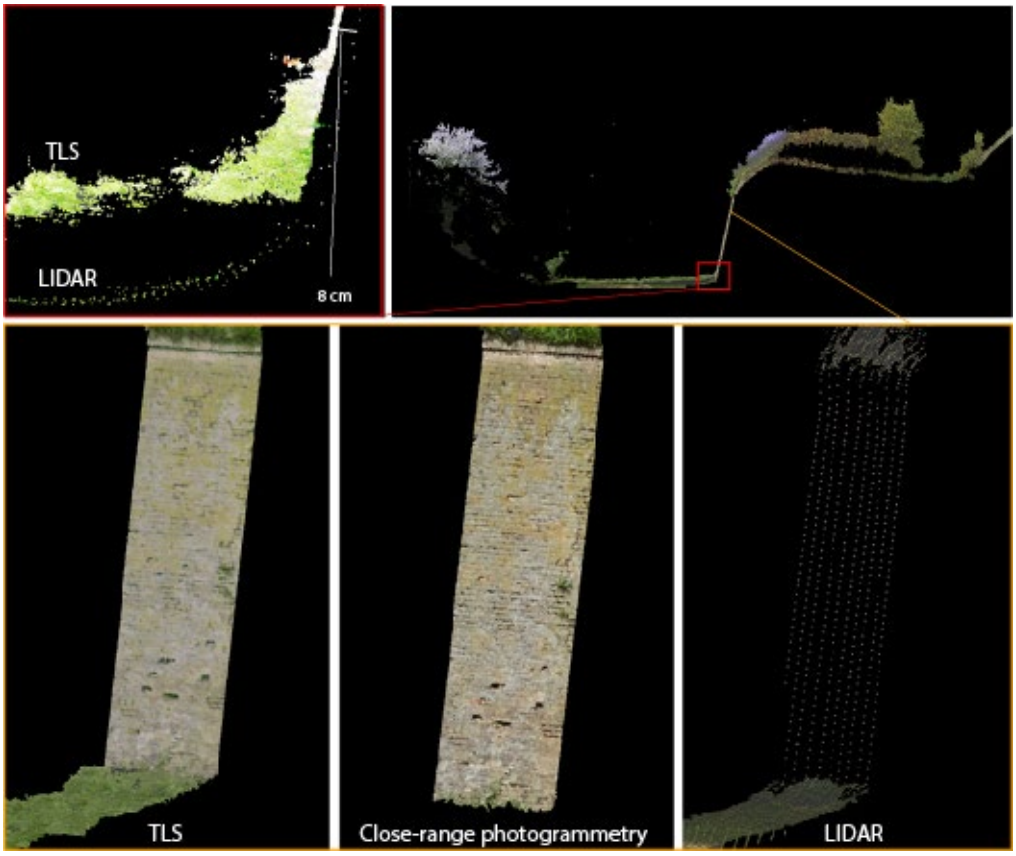


Fig. 10- Metrical cloud comparison between different data (graphic elaboration by author, 2024).

So, additional sections were extracted to compare the different 3D data.

The results obtained from the range-based and image-based systems are comparable in terms of resolution, while the radiometric quality is better in the photogrammetric cloud. Besides, the orientation shift, particularly in the Z direction, showed a 10 cm offset. This is partly due to the different vegetation conditions in the two survey activities and the lower accuracy of the LIDAR survey.

In conclusion, the survey carried out is consistent with the existing one, complementing it from the point of view of density and colour and arriving at a better accuracy regarding the orientation of the datum.

5. Conclusions

The research, framed inside the national INFORTREAT project, compares two different surveying experiences: Lucca and Cittadella in Alessandria. The two case studies highlighted different problems in data acquisition and processing, showing how an established survey integration process depends on the specificities of individual case studies.

Therefore, the working context and the characteristics of the case studies required the adoption of specific solutions (Fig. 11). The control over the overall accuracy and the different steps made it possible to obtain reliable survey models, a necessary step for their interpretive reconstruction.



Fig. 11- Final integrated point cloud of Santa Croce (up) and Santa Cristina (bottom) bastions (graphic elaboration by author, 2024).

Acknowledgements

The authors would like to thank architect Francesca Lupo, Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio di Alessandria, Asti e Cuneo, for the permissions granted for the Cittadella survey activities and for sharing the data previously acquired by the TecnoIN Company.

This study received funding from the European Union - Next-GenerationEU - National Recovery and Resilience Plan (NRRP) – MISSION 4 COMPONENT 2, INVESTIMENT N. 1.1, CALL PRIN 2022 D.D. 104 02-02-2022 – (INFORTREAT. Reconstructing the Early Modern bastioned front. INformation models for the fruition of constructive knowledge in FORtified architecture TREATises (16th-18th Century): a new integrated analysis tool for the interpretation, restoration and maintenance of Early Modern fortified heritage T) CUP N. I53D23005420006.

All authors participated in the experimentation. Regarding authors' contribution: 1. Introduction: M.R.; 2. Case studies: P.B.S.; 3. Survey methodology M.A; 3.1 Santa Croce acquisition: G.C.; 3.2 Santa Cristina acquisition: G.F.; 4.1 Santa Croce data: GC; 4.2 Santa Cristina data: M.C.; 5. Conclusions: M.R., P.B.S., G.C., M.A.

References

Bertoncini Sabatini, P. (2023) Muzio Oddi architetto di fortificazioni nell'Italia del Seicento. In: Bevilacqua, M.G. & Ulivieri, D. (eds.) *Defensive architecture of the Mediterranean*. Vol. 13: Proceedings of FORTMED – Modern Age Fortification of the Mediterranean Coast, 23-25 March 2023, Pisa. Pisa, Pisa University Press, pp. 29-36.

Marotta, A. (2015) Fortifications in the territory of Alessandria: an heritage to preserve and enhance. In: Rodriguez-Navarro, P. (ed.) *Defensive architecture of the Mediterranean*. *XV to XVIII centuries*. Vol. 2: Proceedings of FORTMED – Modern Age Fortification of the Mediterranean Coast, 15-17 Octubre 2015, València. València, Editorial Universitat Politècnica de València, pp. 215-221.

Marotta, A. (2018) La cittadella di Alessandria nel primo impianto bertoliano (1728-1761): la conoscenza come parametro di progetto. In: Marotta, A. & Spallone, R. (eds.) *Defensive architecture of the Mediterranean*. Vol. 7: Proceedings of FORTMED – Modern Age Fortification of the Mediterranean Coast, 18-20 Ottobre 2018, Torino. Torino, Politecnico di Torino, pp. 135-142.

Marotta, A. (ed) (1991) *La Cittadella di Alessandria. Una fortezza per il territorio dal Settecento all'Unità*. Alessandria, SO.G.ED. Edizioni.

Marotta, A., Netti, R. & Pavignano, M. (2018) La cittadella di Alessandria negli sviluppi del periodo napoleonico (1808-1860): la conoscenza come parametro di progetto. In: Marotta, A. & Spallone, R. (eds.) *Defensive architecture of the Mediterranean*. Vol. 7: Proceedings of FORTMED – Modern Age Fortification of the Mediterranean Coast, 18-20 Ottobre 2018, Torino. Torino, Politecnico di Torino, pp. 143-150.

Martinelli, R. & Puccinelli, G. (1983) *Lucca. Le mura del Cinquecento, vicende costruttive dal 1500 al 1650*. Lucca, Matteoni.

Martinelli, R. (2013) *Lucca e le sue mura. Lucca*, PubliEd Editore.

Piccoli, E., Tocci, C., Zanet, E. & Caterino, R. (2019) Building on water and the Modern State. Eighteenth century foundation techniques in the fortifications of Alessandria. In: Campbell, J.W.P. (ed.) *Water, Doors and Buildings*. Proceedings of the sixth conference on the Construction History Society CHS, Studies in the History of Construction, 5-7 April 2019, Queen's College, Cambridge. Cambridge, University of Cambridge, pp. 1-16.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20378

Ontological definition of Information Classes for Early Modern fortified heritage

Marco Saccucci[a], Assunta Pelliccio[b], Andrea Giordano[c]
[a-c] Università di Padova, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, ICEA, Padova, Italia, [b] Università degli studi di Cassino e del Lazio Meridionale, Dipartimento di Letteratura e Filosofia, DLF, Cassino, Italia, [a]marco.saccucci@unipd.it, [b] pelliccio@unicas.it, [c] andrea.giordano@unipd.it

Abstract

This study introduces an ontological framework specifically designed for the classification, management, and analysis of information related to Early Modern fortifications. The research begins with a critical examination of existing ontological systems, identifying four primary types: (1) codification of glossaries and terminologies to standardize definitions, (2) multiscalar relationships to link information across different levels of detail, (3) semantic segmentation to categorize data meaningfully, and (4) documentary organization to structure archival and historical sources. The study explores the application of these principles within Building Information Modeling (BIM) environments, leveraging internationally recognized standards such as IFC, UNICLASS, Work Breakdown Structures (WBS), and CIDOC CRM to establish a robust methodological foundation. The proposed ontology is tailored to the unique challenges of documenting and analysing. Early Modern fortified systems, addressing their complexity and multidisciplinary nature. The development process involved creating a structured WBS to decompose and classify fortification elements, organizing semantic data using Protégé, and integrating these resources into a web-based platform, INFORTREAT ONTOLOGY. This platform enables intuitive visualization and dynamic navigation of the ontological model, providing researchers and practitioners with a powerful tool for heritage analysis. By bridging theoretical and practical domains, this work offers a significant advancement in the digital documentation and preservation of Early Modern fortifications, fostering interdisciplinary collaboration in the field of heritage informatics.

Keywords: fortification, ontology, HBIM, UNICLASS, WBS.

1. Introduction

The definition of "Italian-style fortification", better known as "modern-style fortification" or "fortification with a bastioned front", was introduced for the first time by *Filarete*. For over 150 years, engineers and architects worked on the new defence systems, exporting them throughout Europe (Padovan, 2016**).** The interest in new fortified structures resulted in a rich production of specialized treatises, accompanied by fascinating iconography, which described the complex fortification techniques designed to counter the development of artillery. The treatises also describe scientific methods based on complex mathematical and geometric calculations, primarily concerning firing angles and projectile trajectories (Pisano et al. 2014). The described methods define the layouts of fortifications, systems of slopes, casemates, trenches, and so on. In the 18th century, there were personalities that provided the greatest contributions to the military sciences of fortifications and firearms. The geometric theories of projections, occupy a prominent place in this panorama of scientific literature. In this sense, Gaspard Monge

BY-NC-SA

established himself as a mathematician through his involvement in these military subjects (De Rosa et al. 2000).

Even more importantly, they outline the metric-geometric relationships between all architectural components, which closely resemble the modern parametric digital approach to modeling.

Such complex systems require, in today's digital and parametric H-BIM modelling processes, an accurate taxonomic analysis of components based on the semantic recognition of both the elements of individual architectural parts and the parts of the architectural whole. The taxonomic analysis applied to computer systems is defined as an ontology, which adds multiple types of relationships and properties between concepts to the hierarchical structure, allowing a more detailed description of a specific domain (Varzi, 2019). To understand and simplify the information contained in military treatises (theoretical fortification systems), robust and articulated ontological, semantic and relational structures are essential. Once adequately standardised, these structures can be used for modelling within the BIM environment, ensuring the interoperability of models with other systems and their effective management in environments outside the BIM framework.

This work is part of the research project named "INFORTREAT. Reconstruction of the early modern bastioned front. INformation models for the fruition of constructive knowledge in FORtified architecture TREATises (16th-18th centuries): a new integrated analysis tool for the interpretation, restoration and maintenance of early modern fortified heritage" (PRIN 2022 CUP N. I53D23005420006). It focuses on a detailed analysis of ontological systems to identify those most suitable for the study of modern fortified architectures and to develop the corresponding parametric modelling, with the aim of facilitating activities such as enhancement, restoration and adaptive reuse interventions.

2. Ontological systems

In recent years, the use of ontologies has grown exponentially due to both the introduction of semantic representation languages and interoperability between systems. A careful study of the literature shows that the numerous ontologies used to date are a function of the goals to be achieved and can be categorised into four macro-areas (Tab. 1).

a) Codification of glossaries and terminologies
It is a structure, organised around keywords and concepts, which aims to facilitate the understanding of technical or context-specific terms. There are numerous glossary editors on the technology market that also allow the insertion of graphics or images, thus facilitating the transmission of information. Among the main opensource software are Lexique Pro and Lexonomy, which are designed for linguists and allow the creation of customised dictionaries and glossaries; Tiki Wiki CSM designed for visual glossaries and shared documentation (Colucci et al. 2021; Jezek 2018).

b) Relational and multi-scalar
Characterised by top-down and bottom-up logic, it focuses on the relationships and interconnections between entities at different levels or scales. This ontological framework is based on relationships as a founding element since an entity exists and acquires meaning only in relation to other entities, whether material or immaterial. It is also defined as multi-scalar because it recognises relationships on different scales simultaneously and it is dynamic because it considers connections between entities not fixed but variable over time. Open-source software such as Protégé, which supports the Web Ontology Language (OWL) and defines complex classes, properties and relations, or Neo4J, which, thanks to the Cypher query system, supports multi-node and multi-level relations and the visualisation of connections between entities, are among the most widely used (Borin et al. 2020; Di Stefano et al. 2020).

c) Semantic segmentation
It represents the most important ontology supporting applications for cultural heritage, computer vision and AI. The semantic segmentation ontology is a powerful tool for segmenting and classifying content in an intelligent and structured manner, providing meaning to different parts of a dataset and enabling automated systems to 'understand' complex data. In this ontological structure, each relevant element in the application domain is represented as a class or concept within the ontology. Entities are connected to relationships that establish how the concepts interact or relate. The semantic segmentation ontology provides a structure that allows segments

to be semantically labelled with a specific meaning while also including a hierarchy that allows segments to be further subdivided into sub-segments. The characteristics of semantically segmented data can also be shared and understood by different systems. A variety of open-source tools support this ontological structure, including DeepLab, developed by Google, which is particularly suited for semantic segmentation in still images, such as recognizing objects or environmental elements in complex scenarios. Another example is the Segmentation Models Python library, which enables rapid integration and robust model validation, making it well-suited for a wide range of applications (Quattrini et al. 2017; Previtali et al. 2020).

d) Documentary
It is a fundamental ontology for improving the management, retrieval and organisation of information in documents, enabling more effective and semantic access to data. Through the definition of semantic concepts and relationships, documentary ontology contributes to a richer and more interconnected information environment. It is very effective in the cataloguing and organisation of electronic archives and document management systems. Open-source software still includes Protégé or OWL API, which is a Java library that provides an interface for the manipulation of web ontologies (OWL) (Ferretti et al. 2022).

n	Type	Software
1	Glossary Coding and Terminology	Lexonomy Lexique pro Tiki Wiki CSM
2	Multi-scalar Relationship	Protègè Neo4J
3	Semantic segmentation	Deep Lab Segmentation models
4	Documentary	Protègè OWL API

Tab. 1- List of the four most important macro-area for ontologies and the main open-source software (elaborazione grafica degli autori, 2024).

3. Standardised ontologies for Information Classes in BIM

For several years, the architecture, engineering, and construction (AEC) industry has embraced the digital BIM process for planning, designing, constructing, and managing buildings and infrastructure (Domer et al. 2024). BIM returns intelligent 3D models that integrate detailed information for each building or infrastructure element. This information goes beyond geometry, encompassing functional data (e.g., design properties) and technical details (e.g., building system technologies), organized into information layers commonly referred to as the Level of Information (LOI) and Level of Information Need (LOIN).

BIM contains an ontological structure standardised according to UNI EN ISO 19650, which together with the Industry Foundation Classes (IFC) data storage and management standard allow interoperability between objects of the same model and between models even of different environments (Lai et al. 2018). In summary, the ontological structure of BIM is composed of two different sets, computer and architectural. The computer ontology is used passively, capturing and digitally relating entities within a given domain. In contrast, the architectural ontology actively structures the model, defining object classes, families, attributes, and relationships for a cognitive representation of the built environment. The IFC (Industry Foundation Classes) serves as a bridge, combining the two ontologies by organizing the information of each element while managing both their functional and spatial relationships.

IFCs are often supported by other standardisation systems in the construction industry. In particular, the UNICLASS (Unified Classification for the Construction Industry) standards consistently catalogue and classify every element of a project, facilitating information management and collaboration between professionals (Gelder 2015). The system was developed to support BIM and applies to all phases of a project's life, from design to construction and maintenance. The ontological structure of UNICLASS is organised in various tables or classes, each of which focuses on a particular category of elements (Fig.1). Each table has its own coding system to precisely identify the various components of the project. Among the most common tables are: Complexes, which classifies entire complexes or groups of buildings; Entities, which classifies individual buildings or constructions; Spaces/Locations, which refers to the specific spaces or areas within buildings; Activities, which represents the

activities or uses for which spaces are used; Elements, which identifies the main elements of a structure, such as walls, floors and roofs; Systems, which includes technical systems such as electrical, plumbing, heating; Products, which relates to the individual products or materials used; and Work Result, which represents the specific results of the work performed. UNICLASS is constantly updated to adapt to changes in the industry and emerging needs, especially with the increasing adoption of BIM and digital standards (Molsa et al. 2023).

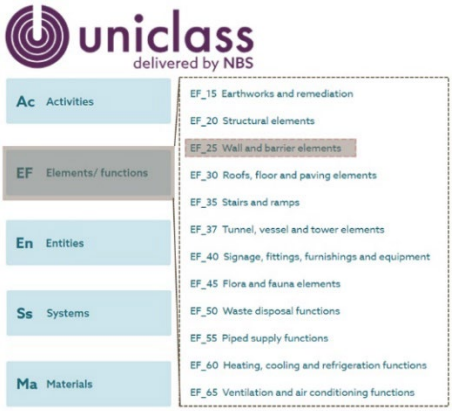


Fig. 1- The ontological structure of UNICLASS, organised in tables or classes and components (elaborazione grafica degli autori, 2024).

The ontological standardization of both the physical and conceptual elements of a project is closely tied to the standardization of the work process itself. In this context, one of the most used systems is the Work Breakdown Structure (WBS) (Park et al. 2017). This project management tool helps decompose complex projects into smaller, more manageable components. The WBS follows a hierarchical, visual format, often presented as a tree diagram, to break down the overall project into detailed tasks. A standardized WBS offers numerous benefits, including reduced complexity, enhanced clarity and organization, as well as better control over costs and timelines. Both the BIM process and standardized ontology systems inherently include a set of object families and elements that refer to the latest building technologies, which are integrated into design and construction workflows from the ground up (Stas et al. 2024). The challenge arises with historic building heritage, as current data organization and classification models often lack the flexibility and specificity needed to accurately represent these complex structures. This leads to limitations in interoperability, accessibility, and data management, hindering efforts to study, preserve, and document historic buildings. Elements of historic building systems are often unique, irregular, or customized (e.g., decorative cornices, columns, capitals, and ancient windows), necessitating detailed, tailored modeling, which can be time-consuming.

The creation of new families of unique objects requires, as a preparatory step to BIM modeling, the definition of an ontological structure. This structure must also be standardized to ensure that the resulting model retains the same interoperability capabilities as a newly designed parametric information model. As previously mentioned, for historical architecture or complexes of historic buildings, particularly in HBIM, the ontological structure must be clearly defined from the outset during the creation of families and family objects. This can be supported by the Conceptual Reference Model (CIDOC CRM), an international standard developed by CIDOC (Comité International pour la Documentation) (Ranigar et al. 2022). CIDOC CRM is an ontology designed to facilitate the integration and exchange of information among museums, archives, and libraries, enabling a detailed, interconnected description of data related to people, events, places, and historical objects (Messaoudi et al. 2018).

By semantically linking information, this standard allows for the creation of advanced information systems and interdisciplinary research projects. The standard was approved as ISO 21127. Its key features include the Conceptual Model, which is based on entities and relationships to represent concepts and connections within the cultural heritage domain. For example, it can describe the history of a work of art, covering aspects such as its creator, materials used, associated events, and provenance. Another feature is Interoperability, which enables seamless data communication across different platforms and systems, allowing cultural institutions to exchange and integrate information. This is especially beneficial for international and multidisciplinary projects, where integrating data from various sources is crucial. Lastly, Ontology and Knowledge Representation define a common vocabulary and logical structure for describing events, people,

places, objects, and other entities relevant to cultural heritage. Based on these ontological standardization systems, the development of a parametric information model in HBIM is roughly divided into five main phases:

1. Work Process Definition (WBS): stablishing the workflow and tasks involved in the project.
2. Semantic Definition of Constituent Elements (Coding-Documentation): Defining and documenting the properties of the elements through coding.
3. Structuring the Ontological Hierarchy (Relational-Multi-Scalar): Organizing the ontological hierarchy and defining the relational connections between object families and elements.
4. Creation of New Object and Element Families: Developing new families of objects and elements within the HBIM system.
5. Standardization of the Process (Standard): Associating the elements and families with codes defined by other standardization systems, such as UNICLASS, to ensure interoperability and facilitate model management during preservation, repurposing, and restoration efforts.

This procedure can be of great help in the analysis and modeling of complex systems of architectures, such as early modern fortified heritage.

4. Ontology for Early Modern fortified heritage

As previously mentioned, bastioned fortifications are complex architectural systems made up of numerous components, such as bastions, walls, moats, and more. These elements enclose various levels of architectural and functional information, ranging from subterranean or semi-buried structures, like casemates, to elevated spaces such as the upper platforms of the bastions.

Each architectural macro-element is composed of a multitude of interconnected micro-elements, all linked to one another and to the overall structure through intricate mathematical relationships.

To understand and study these architectures, it is essential to apply the procedure outlined above, which leads to the parametric modeling of the elements that constitute both idealized/theoretical and real fortresses. This paper focuses primarily on the first three phases of the procedure, with a brief reference to the final two phases, which will be explored in future research.

The first phase involved defining the most suitable workflow for managing the vast array of highly heterogeneous data and establishing the relationships between all components of the architectural system. By applying WBS standardization, the process was organized across three ontological levels. The first level addresses the External Works that comprise the fortification, identifying the main elements and their sub-elements. The second level focuses on the complexity of the Internal Works within the fortification, along with the relationships between the various elements and sub-elements that constitute the entire system. The third level pertains to the technologies associated with the fortification's components, such as materials and construction techniques (Fig. 2).

For each identified workflow, it was essential to achieve a semantic understanding of the architectural elements involved. Historical treatises played a fundamental role in this process, as they provided the terminological definitions of various elements and, most importantly, their properties. This effort constituted the second phase, which also involved comparing terminology from glossaries in languages other than Italian, such as French and German, to ensure a comprehensive understanding.

After semantically defining all the architectural components, the third phase, focused on identifying functional and metric-geometric relationships, proved to be the most complex. This phase required the use of specialized software, specifically Protégé, which enabled the hierarchical organization of all components within the three workflows established during the WBS process in the first phase (Fig. 3).

The complexity of the software, however, makes the system less accessible to individual users tasked with designing the relational multi-scalar ontology and populating the data.

To facilitate the communication of hierarchically organized information –crucial for re-functionalization and/or restoration projects– it became necessary to adopt OWL (Web Ontology Language). OWL is a language specifically designed for representing ontologies on the Web.

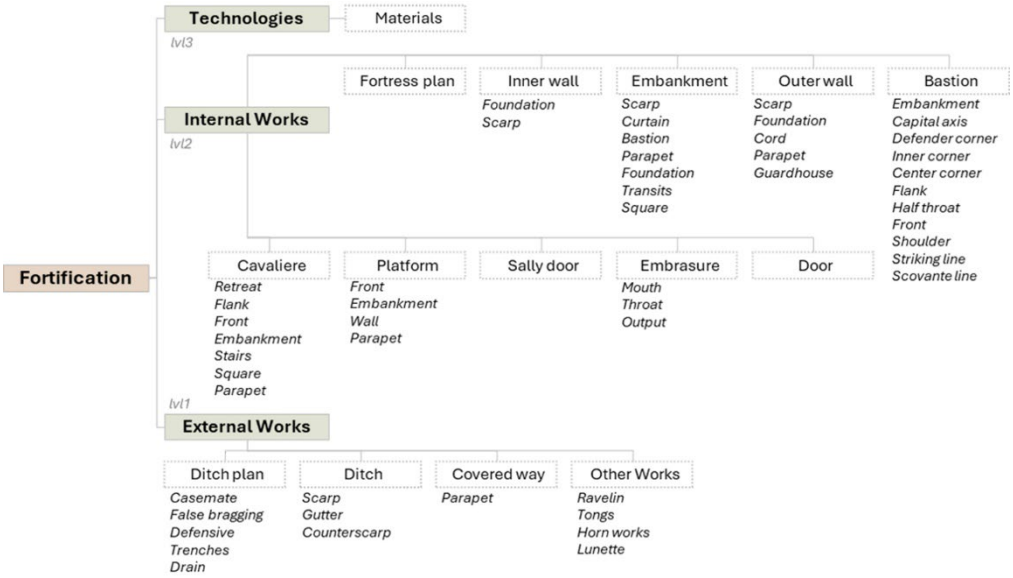


Fig. 2- WBS standardization: levels of workflow for the analysis of Modern Fortified Architectures (elaborazione grafica degli autori, 2024).

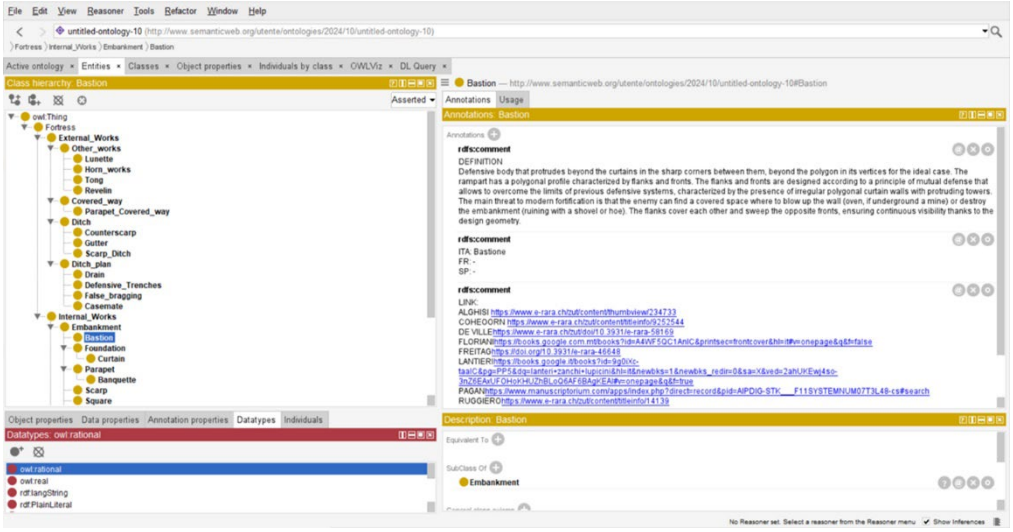


Fig. 3- Protègè screenshot of the ontology system (elaborazione grafica degli autori, 2024).

OWL's key features include the definition of classes (concepts), properties (relationships), and instances (specific objects); hierarchical management, such as the creation of subclasses and inherited properties; and logical capabilities that enable automatic reasoning. This allows OWL to deduce new information from existing data based on logical rules and to define constraints, cardinality, inverse properties, disjunctions, and more. Based on OWL, a web-based platform called INFORTREAT ONTOLOGY was designed and developed to

make ontological data accessible and navigable. This platform integrates all the phases previously described, providing a comprehensive tool for exploring and utilizing the data (Fig. 4).



Fig. 4- Homepage of INFORTREAT ONTOLOGY platform (elaborazione grafica degli autori, 2024).

The platform catalogues elements identified by the WBS in alphabetical order, labelling them according to the predefined levels.

Each ontological element is accompanied by a detailed information sheet, structured into several sections. The first section, the header, provides the name of the ontological element. This is followed by a section listing the main translations of the element's name in various languages – Italian, French, German, and Spanish– based on the terminologies used by different treatise authors.

Next, the definition of the ontological element is provided, sourced from historical dictionaries of fortifications. A subsequent section outlines the sub-elements that compose the ontological element, with each sub-element hyperlinked to its respective reference page. Additionally, the platform offers a clear view of the macro-element to which the consulted ontological element belongs.

The information sheet also includes a list of reference treatises from which the data were extracted, organized chronologically and featuring hyperlinks for online consultation. Furthermore, the page incorporates a slideshow displaying multimedia content such as images, illustrations from treatises, historical and contemporary photographs, videos, and 3D digital models of the objects. This multimedia integration enhances the user experience and facilitates a deeper understanding of the ontological elements (Fig. 5).

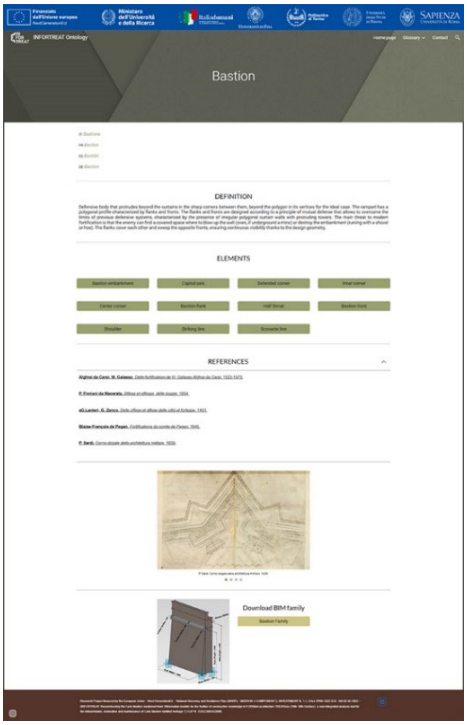


Fig. 5- INFORTREAT ONTOLOGY: Bastion sheet (elaborazione grafica degli autori, 2024).

5. Conclusions

This research analyzed the state of the art of ontological systems found in the literature, which are increasingly in demand for the study and management of cultural heritage. The objective of the analysis was to identify the most functional ontologies for studying modern fortifications, categorizing them into four main areas: terminology codification, multi-scalar relationships, semantic segmentation, and document organization.

As part of a PRIN research project addressing HBIM parametric modeling for both theoretical case studies found in treatises and real-world cases, the study defines a procedure aligned with international standardization processes such as IFC, UNICLASS, WBS, and CIDOC CRM to ensure the interoperability of HBIM models built on the selected ontological systems.

Moreover, the study aims to make these models accessible to external users, facilitating the understanding of the information and the hierarchy of architectural components in these fortification systems. To achieve this, a web

platform called *Infortreat Ontology* was designed and populated, allowing users to download HBIM parametric information families, particularly useful for modeling real-world cases. This step represents a future development of the research.

Acknowledgment

This study received funding from the European Union - Next-GenerationEU - National Recovery and Resilience Plan (NRRP) – MISSION 4 COMPONENT 2, INVESTMENT N. 1.1, CALL PRIN 2022 D.D. 104 02-02-2022 – (INFORTREAT. Reconstructing the Early Modern bastioned front. INformation models for the fruition of constructive knowledge in FORtified architecture TREATises (16th-18th Century): a new integrated analysis tool for the interpretation, restoration and maintenance of Early Modern fortified heritage) CUP N. I53D23005420006.

References

Borin, P., Bernardello, R. A., & Grigoletto, A. (2020) Connecting historical information with BIM ontologies. HBIM methods for the visualization of Harris matrix for the Torrione in Carpi. In *Graphical Heritage: Volume 1-History and Heritage* (pp. 757-770). Springer International Publishing.

Colucci, E., Xing, X., Kokla, M., Mostafavi, M. A., Noardo, F., & Spanò, A. (2021) Ontology-based semantic conceptualisation of historical built heritage to generate parametric structured models from point clouds. *Applied Sciences*, 11(6), 2813.

Crawford, R. H., & Stephan, A. (2015). The principles of a classification system for BIM: Uniclass 2015.

De Rosa, A., Sgrosso, A., Giordano, A. (2000) *La geometria nell'immagine: Dal secolo dei lumi all'epoca attuale*. Italy: UTET.

Di Stefano, F., Gorreja, A., Malinverni, E. S., & Mariotti, C. (2020) Knowledge modeling for heritage conservation process: From survey to HBIM implementation. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, *44*, 19-26.

Domer, B., & Bernardello, R. A. (2024) *Interoperability: An Introduction to IFC and BuildingSMART Standards, Integrating Infrastructure Modeling*. Switzerland: EPFL Press.

Ferretti, U., Quattrini, R., & D'Alessio, M. (2022) A comprehensive HBIM to XR framework for museum management and user experience in Ducal palace at Urbino. *Heritage*, *5*(3), 1551-1571.

Gelder, J. E. (2015) The design and development of a classification system for BIM. *Building Information Modeling (BIM) in Design, Construction and Operations, WIT Transactions on The Built Environment*, *149*, 477-489.

Jezek, E. (2018) Classi di nomi tra semantica e ontologia. *CLUB*, 117.

Lai, H., & Deng, X. (2018) Interoperability analysis of IFC-based data exchange between heterogeneous BIM software. *Journal of civil engineering and management*, *24*(7), 537-555.

Messaoudi, T., Véron, P., Halin, G. & De Luca, L. (2018) An ontological model for the reality-based 3D annotation of heritage building conservation state. *Journal of Cultural Heritage*, *29*, 100-112.

Molsa, M., Demian, P. & Gerges, M. (2023) BIM search engine: effects of object relationships and information standards. *Buildings*, *13*(7), 1591.

Padovan, G. (2016) *Forse non tutti sanno che a Milano...* Newton Compton Editori.

Park, J., & Cai, H. (2017) WBS-based dynamic multi-dimensional BIM database for total construction as-built documentation. *Automation in Construction*, *77*, 15-23.

Pisano, R. & Bussotti, P. (2014) Galileo a Padova: un itinerario tra architettura, fortificazioni, Matematica e scienza "pratica".*Lettera Matematica Pristem*,91(1), 48-58.

Previtali, M., Brumana, R., Stanga, C. & Banfi, F. (2020) An ontology-based representation of vaulted system for HBIM. *Applied Sciences*, *10*(4), 1377.

Quattrini, R., Pierdicca, R. & Morbidoni, C. (2017) Knowledge-based data enrichment for HBIM: Exploring high-quality models using the semantic-web. *Journal of Cultural Heritage*, *28*, 129-139.

Ranjgar, B., Sadeghi-Niaraki, A., Shakeri, M., & Choi, S. M. (2022). An ontological data model for points of interest (POI) in a cultural heritage site. *Heritage Science*, *10*(1), 13.

Stas, S., & Abrishami, S. (2024) Decentralised automated BIM collaboration: a blockchain and WBS integrated platform. *Smart and Sustainable Built Environment*.

Varzi, A. C. (2019) *Ontologia*. Gius. Laterza & Figli Spa.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20379

Multi-objective VR-based strategy for preservation and promotion of cultural heritage

Michelangelo Scorpio[a], Antonio Rosato[b], Massimiliano Masullo[c], Danila Jacazzi[d], Riccardo Serraglio[e], Vincenzo Cirillo[f], Daria Cermola[g], Giusi Rea[h], Rosina Iaderosa[i], Santa Iachini[l], Giovanni Ciampi[m]

[a-b-c-d-e-f-g-h-i-m] Università degli studi della Campania *Luigi Vanvitelli*, Dipartimento di Architettura e Disegno Industriale, DADI, Aversa, Italia, [l] Università degli studi della Campania *Luigi Vanvitelli*, Dipartimento di Psicologia, Caserta, Italia, [a] michelangelo.scorpio@unicampania.it; [b] antonio.rosato@unicampania.it, [c] massimiliano.masullo@unicampania.it; [d] danila.jacazzi@unicampania.it; [e] riccardo.serraglio@unicampania.it; [f] vincenzo.cirillo@unicampania.it; [g] daria.cermola@unicampania.it; [h] giusi.rea@unicampania.it; [i] rosina.iaderosa@unicampania.it; [m] giovanni.ciampi@unicampania.it, [l] santa.iachini@unicampania.it

Abstract

This paper shows the preliminary results of the PERCEIVE project. The PERCEIVE project explores the potential of virtual reality in being used for multisensory and multi-purpose design. PERCEIVE project aims to develop physically-based digital twins of cultural artifacts and sites, as well as integrate multisensory approaches to enhance user engagement through visual and auditory interactions. The project is divided into three work packages, with key objectives that include analysing VR advancements across different domains: lighting, acoustics, drawing, history and psychology, developing comprehensive methodologies for digital heritage modelling, and assessing user preferences for collaborative planning. Additionally, benchmarks for immersive, multi-objective VR experiences will be established, promoting preservation, education, and storytelling in cultural heritage. Initial findings highlight VR's role in drawing, lighting, acoustics, and psychological research while highlighting limitations like data management, procedures standardisation, models' complexity and cost. Photogrammetry was used to document Porta San Giovanni, producing high-resolution 3D models for future VR applications in different domains.

Keywords: valorisation, sustainable design, participatory planning, human-centred design.

1. Introduction

Cultural heritage is fundamental for tracking societal transformations over time, thus potentially acting as a beneficial asset for societal progress (Vafaie et al., 2023). This is pertinent to accomplishing "Sustainable Development Goal" (SDG) n.11 "Sustainable Cities and Communities" and SDG n.12: "Responsible consumption and production" (United Nations Environment Programme). Historical buildings frequently shape the character of townscapes and urban spaces (Cabeza et al., 2018). In this scenario, Virtual Reality (VR), combining the realistic reproduction of a virtual environment with the possibility of interaction between the user and the virtual environment itself, represents one of the most powerful multisensory design tools (Bellazzi et al., 2022; Scorpio et al., 2023). At the same time, the virtual model provides an opportunity to serve as a storehouse of information on the existing artifact (Gargiulo et al., 2024), if the model can reproduce the existing structure with a certain degree of accuracy. Previous papers suggest some different research gaps still need to be bridged, namely the lack of a

BY-NC-SA

straightforward methodology to create digital twins of complex architectures in VR for multisensory and multi-purpose design for the valorisation and accessibility of cultural heritage, as well as the lack of benchmarks for VR hardware and software to achieve a satisfactory quality of virtual environments for lighting design. In this scenario, the project "Physically based and multi-objEctive appRoah for Cultural hEritage valorIsation through Virtual rEality" (PERCEIVE), funded by the University of Campania Luigi Vanvitelli (Italy), paves the way for creating models that can assist designers, storytellers, and renovators in analysing degradation, planning interventions, supporting collaborative design, and developing lighting solutions to enhance the site.

2. The PERCEIVE project

2.1 Project objectives and aims

The PERCEIVE project is dedicated to advancing a comprehensive multi-objective and multisensory approach using virtual reality technologies to enhance the valorisation, renovation, accessibility, and dissemination of cultural heritage sites and artifacts. The project's research activities will develop a methodology for constructing a physically-based digital twin of various cultural heritage elements within an environment in VR. These digital twins will serve multiple sensory purposes, facilitating deeper engagement with cultural heritage through auditory and visual interactions. By leveraging multisensory experiences, the project aims to make cultural heritage more accessible to a broader audience, fostering education, preservation, and appreciation of our shared history and cultural narratives. Ultimately, the PERCEIVE project aspires to set a new standard for how cultural heritage is represented, experienced, and preserved in the digital age. The main objectives of the PERCEIVE project are: (i) to establish the current advancements in the application of virtual reality across various domains, including lighting, preservation, valorisation, acoustics, dissemination, and tourism, along with the techniques employed to develop virtual models; (ii) to develop digital twins utilising different modelling approaches to enhance preservation efforts and foster an appreciation for cultural heritages; and (iii) to assess user preferences with the goal of collaborative project planning.

2.2 Project structure

The project consists of three work packages. Work Package 1 aims to delve into the latest advancements in virtual reality technologies pertaining to specific application fields, including lighting, healthcare, and entertainment. The study will identify and define crucial parameters that influence the effectiveness and user-friendliness of these models across diverse applications. Work Package 2 aspires to establish a comprehensive methodology for enhancing cultural heritage through a multi-objective and multisensory approach. A physically based virtual model will be constructed based on the on-site survey. To enrich the virtual experience, various virtual scenarios will be carefully developed using advanced techniques identified in the previous Work Package. To gather valuable feedback and insights from users, questionnaires will be created to assess subjective experiences and perceptions of the enhanced virtual model. Work Package 3 aims to evaluate the effectiveness of the proposed approach for valorising cultural heritage. A subjective assessment, utilising surveys developed in Work Package 2, will be conducted to evaluate the effectiveness and benefits of virtual models in enhancing cultural heritage across multiple objectives. The (SENS i-Lab) will be employed to recreate the multisensory experience.

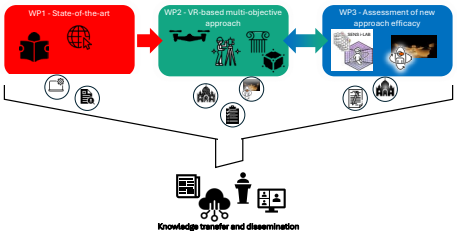


Fig. 1- Project Work Packages and main deliverables (graphic elaboration by authors, 2024).

3. Preliminary results of the project

3.1. State of the art

VR for drawing: Digital survey methodologies collect vast amounts of data to generate detailed three-dimensional models at different scales of analysis, ranging from fine detail to territorial scale, including architectural scale. Once integrated into VR environments, these models offer an immersive and interactive experience for

various purposes, such as knowledge acquisition, valorisation, predictive analysis, and accessibility. A highly precise model may be required to reproduce every detail of an object or site, while a simplified model may suffice to simulate the interaction of different structures within the surrounding environment. Therefore, obtaining high-resolution models relatively quickly compared to traditional methods is an important advantage, but it also brings challenges related to managing the large volume of data generated (Teruggi et al., 2021). One of the main challenges concerns the computational power to manage and process complex models. Real-time rendering of large-scale models in VR demands advanced hardware and optimised software. Therefore, performing operations on reality-based models can ensure a smooth and interactive VR experience, such as decimation or segmentation (Grilli et al., 2018). The lack of standardisation in data formats and difficulties in integrating different tools and software make it challenging to exploit these models' potential fully (Noardo et al., 2024). However, integrated digital survey models in VR have great potential for scientific knowledge, valorisation and prediction. The ability to visualise and manipulate 3D models in virtual environments opens new opportunities for understanding and managing complex phenomena (Al Shawabkeh & Arar, 2024).

VR for lighting design: VR is an inspiring and versatile daylighting and electric lighting design tool. It empowers the creation of immersive virtual environments with varying levels of detail tailored to diverse purposes. The application of VR in lighting design is becoming increasingly significant. It facilitates the visualisation of lighting schemes and their effects on spaces from both objective and subjective viewpoints (Rockcastle et al., 2021; Scorpio et al., 2023; Sina & Wu, 2023; Ceccato & Martin, 2023). The VR ability to replicate light distribution represents a critical area of research aimed at employing VR as an alternative to actual environments to investigate users' perceptions (Chamilothori et al., 2018) or to assess conventional daylighting design tools (Gargiulo et al., 2024; Chamilothori et al., 2019). Various approaches have been proposed to ensure accurate (il)luminance distribution and evoke perceptions that closely mirror those experienced in real environments for daylight (Chamilothori et al., 2018; Hegazy, Ichiriyama, et al., 2021; Hegazy et al., 2022; Hegazy, Yasufuku, et al., 2021) or artificial light (Abd-Alhamid et al., 2019; Scorpio et al., 2022; Kong et al., 2023).

VR for acoustic design: Advancements in VR have also spread to the field of acoustic research, showing it to be a promising tool for immersive audio production, training activities, and perceptual assessment. The capability of UE4 and Wwise plug-in to simulate geometric divergence attenuation and air absorption attenuation, comparing UE4's performance with physically accurate propagation models, was explored in (Fırat et al., 2022), exhibiting issues with handling low (< 125 Hz) and high (> 8 kHz) frequencies. (Medina et al., 2024) investigated the integration of Higher-Order Ambisonics (HOA) with Unreal Engine (UE) and Max for sound source localisation tasks in virtual environments, revealing that Unreal Engine lacks native support for HOA. (Murphy & Neff, 2010) explored how 3D audio techniques can improve user experiences in games and VR by accurately simulating sound direction, distance, and environment. The study highlights the importance of advanced audio rendering technologies, such as binaural audio and ambisonics, in achieving these outcomes.

VR for history: VR can enhance engagement, presence, and immersion in archaeological storytelling, showing high user satisfaction. (Chong et al., 2021) reviews the usability and accessibility challenges of using VR for cultural heritage. It identifies design and navigation issues limiting user experience while proposing recommendations to enhance VR applications for historical contexts, including immersive site walkthroughs and artifact exploration. The potential of VR techniques to recreate historical experiences and increase accessibility to cultural artifacts was investigated by (Zhang et al., 2024). Challenges, such as technological costs and content development complexity, were also identified. (Privitera et al., 2024) argued the critical role of spatial audio for engagement and immersion. However, technical limitations in creating realistic soundscapes were identified. VR's maturity in enabling virtual walkthroughs of historical sites was analysed by (Chong et al., 2022), highlighting engagement possibilities while pointing out fragmented research and high implementation costs.

VR for psychology: VR potential was also established in advancing psychological research

and therapy while addressing its current technological, ethical, and logistical constraints. (Riva & Serino, 2020) analysed the VR's use in assessing and treating mental health conditions, arguing that VR proved useful in controlled exposure therapy and anxiety reduction but showed limitations in user accessibility and system costs. (Sterna & Zibrek, 2021) explored the effectiveness of VR in simulating social interactions, evincing that enhanced social presence improves behavioural realism. (Selaskowski et al., 2024) examined the integration of VR to enhance therapy for posttraumatic stress disorder and phobias.

3.2. Possibilities and limitations

The analysed papers suggest potentialities and underline limitations of VR in the considered fields. *For drawing*, despite the significant advancements in the analysis and management of environments and buildings, the development of solutions to optimise workflows, improve interoperability between tools, manage a great amount of data and increase accessibility in both hardware and software terms is needed. *For lighting*, VR can help test lighting strategies, support light solutions compliant with historical preservation, and enhance participatory projects. Some limitations, such as correct light simulation, interaction with models' surfaces, and time-consuming modelling of large and complex structures, still have to be overcome. *For acoustic*, VR can support advancements and persistent challenges using game engines for 3D sound reproduction, highlighting the importance of integrating physics-based modelling, middleware solutions, and innovative interaction designs. *For history*, VR can support designers to balance modern lighting needs with meticulously preserving historical integrity. Conversely, its adoption is limited by cost, technological precision, and stakeholder buy-in. *For psychology*, VR shows considerable potential in psychological applications, while challenges related to setup, cost, and scenario design are key areas that still need to be enhanced.

4. Preliminary results of PERCEIVE project

4.1. Historical framework of Porta San Giovanni

Porta San Giovanni is one of the ancient gates to the city, the only remaining to witness the course of the Aversa urban walls. The walls of the Norman town promoted to the county in 1030, followed an annular course on a flat surface that defined a concentric urban scheme within the centre, the cathedral, the seat of ecclesiastical power, and the palace of the count, the seat of secular power. The *Urbis shape*, inspired by the French radio-centric cities, is still recognisable today in the curvilinear development of the streets and the buildings' curtains of the historic centre. The Porta San Giovanni gave access to the agglomeration of buildings developed in the 12th century along the walls and opened on the *burgum piscatorium*, outside the city wall. The gate structure dates back to the end of the 14th century when Charles III of Anjou enlarged the town by building a new city wall. Then, seven doors flanked by towers and semicircular turrets were built along the walls. In the late 19th century, the door was flanked on the west side by a quadrangular tower accessed via a small staircase. On the right side stood the circular tower with a sloping roof, still clearly recognisable today, although the original shoe at the base is not very recognisable. In the centre is the arch of access, set back from the door structures, on top of which there is a walkway that connects the two towers (Jacazzi, 2009; Cecere, 1998; Amirante, 1998). Today, Porta San Giovanni is the only surviving one. Compared to historical images, it appears partially sunken due to the natural elevation of the road. The Gate appears partly transformed by the superfetation of the later epoch.

4.2. Photogrammetry as a low-cost, effective tool for cultural heritage survey

The research uses photogrammetry since it has proved to be a reliable and low-cost method for a faithful and accurate survey and reconstruction of complex 3D architectural elements with high surface details. Nowadays, the Aversa city wall section near Porta San Giovanni is fully integrated into the buildings constructed over the centuries. These buildings feature pitched roofs, greater heights than Porta San Giovanni, and limited space accessibility. Fig. 2 shows the territorial framework and a detailed view of the gate Porta San Giovanni. The only part that can be seen and accessed is the lower section of Porta San Giovanni, which is typologically tower-shaped with a rough surface made of exposed blocks, devoid of any coverings or decorations. The passage beneath Porta San Giovanni is exclusively for vehicles, and its width, which

matches that of the street, is approximately 4 m. These contextual conditions, combined with the need to obtain a three-dimensional model usable for the documentation of the structure and application in VR, led to the use of an indirect surveying method. Specifically, digital photogrammetry was performed on the ground and aerially. The passive optical sensors used were: the Nikon D5600 reflex camera and the Hasselblad camera of the DJI Mavic 2 Pro. Ground-based shots were taken in a "free" mode (without a tripod), locking the focal length at 18 mm and following acquisition modes with parallel and converging axes. The principle of overlap between sequential shots was adhered to for the correct execution of the photogrammetric process, and the same approach was followed for the aerial acquisitions. These were performed in "manual" mode, with full control by the operator, and in accordance with the structured survey plan: double-grid flights with an orthogonal mesh for both nadir and perspective acquisitions. A total of 594 terrestrial photographic datasets and 263 aerial datasets were captured. The processing phase was carried out using the photogrammetric algorithm-based software Agisoft Metashape. A single workflow was structured to consolidate all the photographic datasets acquired. It was possible to obtain point cloud models and texture models from the processing and management stages, as shown in Fig. 3. Fig. 4 displays the detailed view of the Porta San Giovanni polygonal and texture models.

4.3. Future activities

Future activities will aim to develop a methodology for creating physically-based digital twins of cultural heritage in virtual reality that are usable for multi-objective and multisensory investigations.

The activities align with the project's goals of leveraging VR for cultural heritage applications. Starting from the state-of-the-art, benchmarks and characteristics that the virtual models have to meet to be used in different application areas, with a specific focus on lighting, will be defined. The point cloud and polygonal models will be exported in various formats and imported into Unreal Engine to evaluate their interaction with light and sound. The possibility of using the VR model for drawing, storytelling and psychology will also be investigated. A specific questionnaire will be developed to assess VR models' ability to reproduce physical phenomena while ensuring immersive and captivating environments.

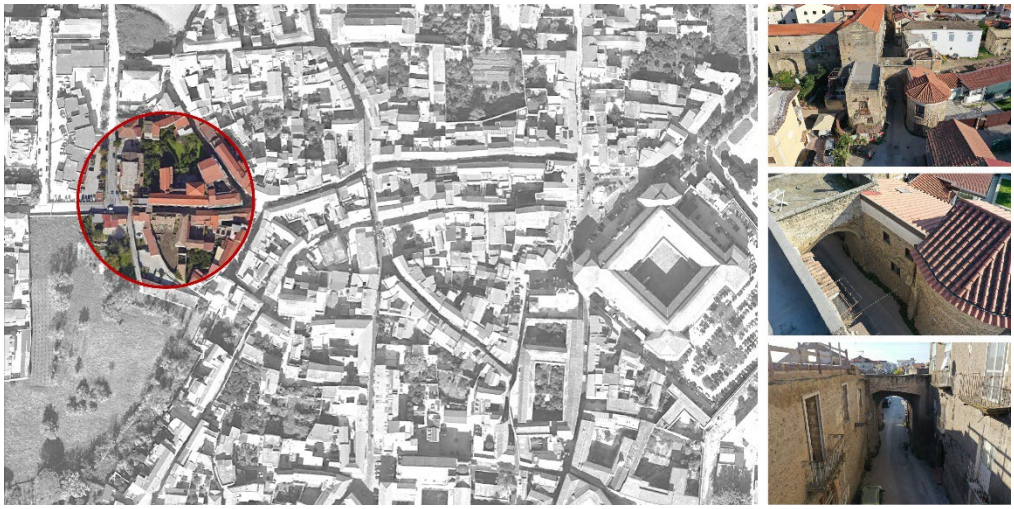


Fig. 2- Territorial framework and view of the gate (graphic elaboration by authors, 2024).



Fig. 3- Point cloud and texture models of the Porta San Giovanni and surrounding buildings. (graphic elaboration by authors, 2024).

5. Conclusions

The PERCEIVE project represents a groundbreaking initiative to leverage virtual reality (VR) technologies in advancing the preservation, accessibility, and appreciation of cultural heritage. By developing physically-based digital twins through cutting-edge photogrammetry and VR methodologies, the project aims to set new standards for cultural heritage representation. Its multifaceted approach integrates auditory and visual sensory experiences to create immersive environments, enhancing education and engagement.

Preliminary findings highlight VR's potential across various domains, namely lighting, acoustics, storytelling, and psychology, while acknowledging technological challenges like data management and standardisation. Future efforts will focus on refining digital twin methodologies, optimising VR environments for multisensory applications, and broadening their utility across diverse disciplines.

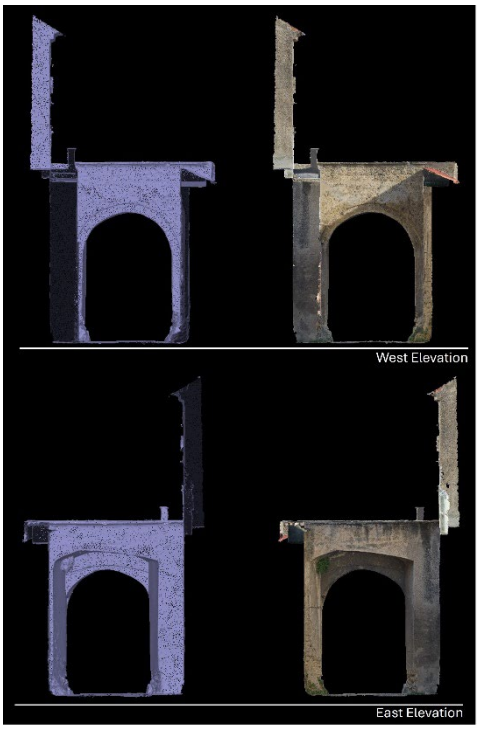


Fig. 4- Detailed views of the Porta San Giovanni polygonal and texture models (graphic elaboration by authors, 2024).

Acknowledgments

The authors would like to thank the project "Physically based and multi-objEctive appRoah for Cultural hEritage valorIsation through Virtual rEality" - PERCEIVE, "Avviso pubblico di selezione per il finanziamento di progetti di ricerca fondamentale ed applicata dedicato ai docenti e ai ricercatori non destinatari di altri finanziamenti" of the University of Campania *Luigi Vanvitelli* (Italy), CUP: B63C24000990005.

References

Abd-Alhamid, F., Kent, M., Bennett, C., Calautit, J. & Wu, Y. (2019) 'Developing an Innovative Method for Visual Perception Evaluation in a Physical-Based Virtual Environment', Building and Environment, 162(June), p. 106278.

Al Shawabkeh, R. & Arar, M. (2024) 'Virtual reality as a tool to enhance the efficiency and reliability of the virtual reconstruction process for heritage/archaeological sites: The case of umm Al-Jimal in Jordan', Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, 33.

Amirante, G. (1998) *Aversa. Dalle origini al* Settecento. *Vol. 6.* Naples: Edizioni Scientifiche Italiane E.S.I. Spa.

Bellazzi, A., Bellia, L., Chinazzo, G., Corbisiero, F., D'Agostino, P., Devitofrancesco, A., Fragliasso, F., Ghellere, M., Megale, V. & Salamone, F. (2022) 'Virtual reality for assessing visual quality and lighting perception: A systematic review', *Building and Environment*, 209(August 2021), p. 108674.
Cabeza, L.F., de Gracia, A. & Pisello, A.L. (2018) 'Integration of renewable technologies in historical and heritage buildings: A review', Energy and Buildings, 177pp. 96–111.
Ceccato, V. & Martin, C. (2023) 'Who takes part in virtual reality studies? An analysis of lighting research', Sustainable Futures, 6.
Cecere, T. (1998) Aversa. La città consolidata. Vol. 7. Naples: Edizioni Scientifiche Italiane E.S.I. Spa.
Chamilothori, K., Chinazzo, G., Rodrigues, J., Dan-Glauser, E.S.S., Wienold, J. & Andersen, M. (2019) 'Subjective and physiological responses to façade and sunlight pattern geometry in virtual reality', Building and Environment, 150(January), pp. 144–155.
Chamilothori, K., Wienold, J. & Andersen, M. (2018) 'Adequacy of immersive virtual reality for the perception of daylit spaces: comparison of real and virtual environments', Leukos, 15(2–3), pp. 203–226.
Chong, H.T., Lim, C.K., Ahmed, M.F., Tan, K.L. & Mokhtar, M. Bin (2021) 'Virtual reality usability and accessibility for cultural heritage practices: Challenges mapping and recommendations', Electronics (Switzerland), 10(12), .
Chong, H.T., Lim, C.K., Rafi, A., Tan, K.L. & Mokhtar, M. (2022) 'Comprehensive systematic review on virtual reality for cultural heritage practices: coherent taxonomy and motivations', Multimedia Systems, 28(3), pp. 711–726.
Fırat, H.B., Maffei, L. & Masullo, M. (2022) '3D sound spatialization with game engines: the virtual acoustics performance of a game engine and a middleware for interactive audio design', Virtual Reality, 26(2), pp. 539–558.
Gargiulo, M., Carleo, D., Ciampi, G., Masullo, M., Chìas Navarro, P., Maliqari, A. & Scorpio, M. (2024) 'Assessment of the Historical Gardens and Buildings Lighting Interaction through Virtual Reality: The Case of Casita de Arriba de El Escorial', Buildings, 14(1), p. 273.
Grilli, E., Dininno, D., Petrucci, G. & Remondinoa, F. (2018) 'From 2D to 3D supervised segmentation and classification for cultural heritage applications', in International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives. [Online]. 30 May 2018 International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. pp. 399–406.
Hegazy, M., Ichiriyama, K., Yasufuku, K. & Abe, H. (2021) 'Comparing daylight brightness perception in real and immersive virtual environments using perceptual light maps', Automation in Construction, 131(August), p. 103898.
Hegazy, M., Yasufuku, K. & Abe, H. (2022) 'An interactive approach to investigate brightness perception of daylighting in Immersive Virtual Environments: Comparing subjective responses and quantitative metrics', Building Simulation, 15(1), pp. 41–68.
Hegazy, M., Yasufuku, K. & Hirokazu, A. (2021) 'Validating game engines as a quantitative daylighting simulation tool', in Projections - Proceedings of the 26th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRIA 2021. [Online]. 2021 pp. 285–294.
Jacazzi, D. (2009) 'Il sito di San Lorenzo ad Septimum sulla via Campana. L'insula benedettina extra muros aversae in età medioevale e moderna', in C Gambardella, M Giovannini, & S Martusciello (eds.) Le Vie dei Mercanti. Cielo dal Mediterraneo all'Oriente. [Online]. 2009 Naples: Edizioni Scientifiche Italiane E.S.I. Spa. pp. 229–240.
Kong, G., Chen, P., Wang, L., Chen, S., Yu, J. & Chen, Z. (2023) 'Calibration of brightness of virtual reality light sources based on user perception in the real environment', Journal of Building Engineering, 78p. 107702.
Medina, E., Viveros-Muñoz, R. & Otondo, F. (2024) 'Assessing Ambisonics Sound Source Localization by Means of Virtual Reality and Gamification Tools', Applied Sciences (Switzerland), 14(17), .
Murphy, D. & Neff, F. (2010) 'Spatial sound for computer games and virtual reality', in Game Sound Technology and Player Interaction: Concepts and Developments. [Online]. IGI Global. pp. 287–312.
Noardo, F., Atkinson, R.A., Villar, A., Zaborowski, P. & Simonis, I. (2024) 'Profiling Standards to Improve Practical Interoperability', in The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. [Online]. 21 October 2024 pp. 359–366.

Privitera, A.G., Fontana, F. & Geronazzo, M. (2024) 'The Role of Audio in Immersive Storytelling: a Systematic Review in Cultural Heritage', Multimedia Tools and Applications,
Riva, G. & Serino, S. (2020) 'Virtual reality in the assessment, understanding and treatment of mental health disorders'. Journal of Clinical Medicine 9 (11) p.pp. 1–9.
Rockcastle, S., Danell, M., Calabrese, E., Sollom-Brotherton, G., Mahic, A., Van Den Wymelenberg, K. & Davis, R. (2021) 'Comparing perceptions of a dimmable LED lighting system between a real space and a virtual reality display', Lighting Research & Technology, p. 1477153521990039.
Scorpio, M., Carleo, D., Gargiulo, M., Chías Navarro, P., Spanodimitriou, Y., Sabet, P., Masullo, M. & Ciampi, G. (2023) 'A Review of Subjective Assessments in Virtual Reality for Lighting Research', Sustainability, 15(9), p. 7491.
Scorpio, M., Laffi, R., Teimoorzadeh, A., Ciampi, G., Masullo, M. & Sibilio, S. (2022) 'A calibration methodology for light sources aimed at using immersive virtual reality game engine as a tool for lighting design in buildings', Journal of Building Engineering, 48(January), p. 103998.
Selaskowski, B., Wiebe, A., Kannen, K., Asché, L., Pakos, J., Philipsen, A. & Braun, N. (2024) 'Clinical adoption of virtual reality in mental health is challenged by lack of high-quality research', npj Mental Health Research, 3(1), .
SENS i-Lab [online]. Available from: https://www.architettura.unicampania.it/dipartimento/strutture-del-dipartimento/laboratori/8-dipartimento/163-laboratories.
Sina, A.S. & Wu, J. (2023) 'The effects of retail environmental design elements in virtual reality (VR) fashion stores', International Review of Retail, Distribution and Consumer Research, 33(1), pp. 1–22.
Sterna, R. & Zibrek, K. (2021) 'Psychology in Virtual Reality: Toward a Validated Measure of Social Presence', Frontiers in Psychology, 12.
Teruggi, S., Grilli, E., Fassi, F. & Remondino, F. (2021) '3D Surveying, semantic enrichment and virtual access of large cultural heritage', in ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. [Online]. 10 September 2021 Copernicus GmbH. pp. 155–162.
United Nations Environment Programme, U.N.E.P. Sustainable Development Goal. [online]. Available from: https://www.unep.org/interactive/measuring-progress-environment-sdgs/ (Accessed 7 November 2024).
Vafaie, F., Remøy, H. & Gruis, V. (2023) 'Adaptive reuse of heritage buildings; a systematic literature review of success factors', Habitat International, 142p. 102926.
Zhang, J., Wan Yahaya, W.A.J. & Sanmugam, M. (2024) 'The Impact of Immersive Technologies on Cultural Heritage: A Bibliometric Study of VR, AR, and MR Applications'. Sustainability (Switzerland) 16 (15).

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20380

Parametric variations of the "delineationi seconde delle fortezze, e dell'ortografia loro", from the *Trattato di Fortificatione* by Guarini

Roberta Spallone[a], Marco Vitali[b], Fabrizio Natta[c], Enrico Pupi[d]
[a-b-c-d] Politecnico di Torino, Dipartimento di Architettura e Design, Torino, Italia, e-mail: [a]roberta.spallone@polito.it, [b]marco.vitali@polito.it, [c] fabrizio.natta@polito.it, [d]enrico.pupi@polito.it

Abstract

The research was carried out in the framework of the project PRIN 2022 called INFORTREAT, which aimed to create 3D information models that could make accessible constructive knowledge related to military architecture to scholars, professionals, and the community. This paper develops previous work dealing with the graphical reconstruction and 3D modelling of the elements that shape the fortification profile in the Trattato di Fortificatione by Guarini. The author establishes measurements (maximum, average, and minimum) for the thickness and height of the main elements. This way of transmitting knowledge about the art of fortifying meets the manualist's need to provide the reader with a synoptic view of the different possibilities in fortress design and construction. Parametric and BIM modelling are used to verify the maximum, average, and minimum dimensions, creating a digital platform to verify different fortresses' configurations.

Keywords: parametric modelling, fortresses, Trattato di Fortificatione, Guarini.

1. Introduction

This proposal has been realized in the framework of the project INFORTREAT, funded by the European Union – Next Generation EU. The overall goal of the project is to make accessible the constructive knowledge related to military architecture (as described by early modern treatises) through 3D digital information models that can be consulted and queried by scholars, professionals, and the community. The current contribution focuses on Book III of the Trattato di Fortificatione, written by Guarino Guarini in 1676. Book III discusses the so-called second delineations of fortresses and their orthography, i.e., the sizing of the main elements of the fortresses and some geometric constructions related to the external works that support their defensive features and drawings in plan and section.

Like other contemporary treatisers (e.g., Marolois 1615, Sardi 1639, Milliet Dechales 1677), Guarini establishes a series of measurements (maximum, average, and minimum) for the main elements' thickness and height. This way of transmitting knowledge about the art of fortifying meets the manualist's need to provide the reader with a synoptic view of the different possibilities in fortress design and construction.

Previous research by the authors (Spallone, Vitali 2024) interweaved the textual content of Book III with the graphic analysis of the treatise plates, aiming at verifying their dimensional and projective consistency and reconstructing the three-dimensionality of the elements. This preliminary research highlighted the consistent use of the maximum values in the text and the plates. In this contribution, parametric and BIM modelling will be used to verify the maximum, average, and minimum dimensions, creating a digital platform to verify different fortresses' configurations.

BY-NC-SA

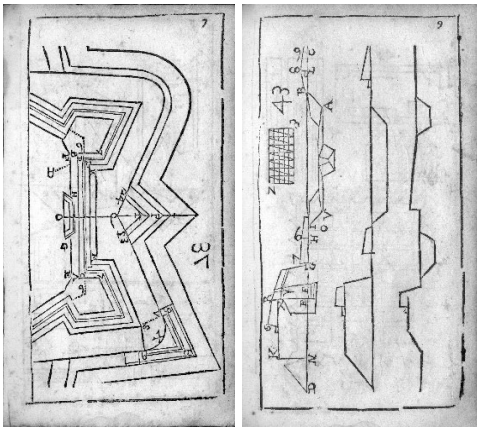


Fig. 1- Second delineations in Plate 7 and orthography of the fortresses in Plate 9 of Guarini's treatise (Source: G. Guarini, 1674).

2. Guarini's treatise in the panorama of theories on military architecture

Guarini, the abbot of the Theatine order, wrote the Trattato di Fortificatione during his time in Turin, from 1666 to 1683, when he died. Numerous other theoretical works, some of which he had undertaken in the earlier Parisian period, were printed in Turin during this period: Euclides adauctus (1671), Modo di misurare le fabriche (1674), Compendio della sfera celeste (1675), Leges temporum et planetarum (1678), and Dissegni d'architettura civile et ecclesiastica (1686), which was to form the basis for the drafting of the Architettura civile, published posthumously in 1737.

The rich theoretical activity is accompanied by the well-known architectural production that includes outstanding buildings like the Carignano Palace, the San Lorenzo Church, and the Holy Shroud Chapel. A third commitment, a didactic nature, sees him educating Ludovico Giulio of Carignano, a distant relative of the Duke of Savoy and Prince of Piedmont, Carlo Emanuele II, to which the treatise examined here is dedicated.

Guarini mentions Goldmann, Pagan, Dögen, and Freitag in terms of constructing Dutch-style ramparts. Still, his unstated references include Pietro Sardi, whom Guarini recalls in Architettura civile (Trattato II, Capo secondo, Osservazione prima), regarding the definition of the geometric foot, the unit of measurement he adopted in the Trattato di Fortificatione.

Furthermore, James McQuillan (2014: 624-625) points out that Guarini knew the Jesuit Claude-François Milliet Dechales, the writer of Cursus seu mundus mathematicus (1674), who included in his treatise a section about military architecture, published separately as L'art de fortifier in 1677. McQuillan observes the exact structure of this last book and Guarini's and affirms that "there is little doubt that both authors were working in parallel to some extent and that Guarini did not have the flair in the field of military architecture to exhibit his usual expertise." Explicit references between the work of the two also emerge from the authors' comparison of the drawings on which the present work is based with those drawn up by Dechales (Fig. 1).

Both treatise writers, as religious, had a theoretical approach that differed from that of the military engineers personally involved in war activities, who could validate the quality of their proposals with experience. However, Guarini's involvement in the design of the Porta di Po in Turin and the hypothesized authorship of an anonymous design of some external works (Fara, 2001) entitled Citadel of Turin with the new opinion ("Cittadella di Torino con il parere novo" kept at the Bibliothèque Nationale de France), that could confirm Guarini's involvement as a consultant of Savoy family for Turin military architecture.

3. Geometry, architecture, ballistics, and construction

In the development of Guarini's text, the intertwining of geometry, architecture and ballistics develops in a dialogue that connects these three aspects to the prescriptions for fortress construction: depending on the construction techniques and materials to be adopted, the dimensional and geometric characteristics of the individual elements change according to the defence techniques, the resistance of the structures to attacks and the different means by which these attacks are carried out.

Following this reasoning, the use of soil or stone masonry alone produces, for example, variations in the thickness and cross-section of ramparts and parapets, just as the need to move and position artillery, militia and cannons imposes minimum spaces for the flat portions of the rampart, fausse-braye, and covered way.

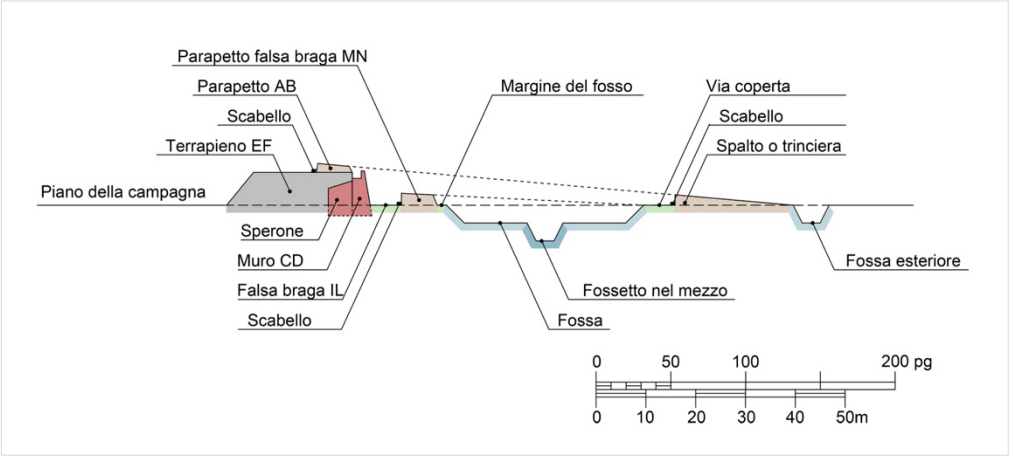


Fig. 2- Profile reconstruction and elements nomenclature. Ballistic checks in dotted lines (graphic elaboration by M. Vitali, 2024).

Depending on the type of soil with which the fortification is built ('soft' or 'clayey' in the text), the scarps' geometry that guarantees the resistance to landslides and adequate durability of embankments and moats will change (Fig. 2).

Using water to fill in the moats is the subject of heated debate, as confirmed by Guarini, who writes, "[...] until now, the dispute has not been decided whether it is better to be full of water or dry." (Guarini, 1676, p. 72): this choice produces significant differences in defence techniques and consequently the necessity or uselessness of certain elements, such as the covered way. The mediation proposed by Guarini, oriented towards not renouncing the advantages that each of the two solutions guarantees, envisages the creation of the 'moat in the middle', as the plates accompanying the text testify, or the possibility of acting on the filling and emptying of the moat.

Another interesting aspect concerns the movement of soil, which has a significant impact on construction costs. In this sense, Guarini emphasises how fundamental it is that "the width of the moat must be such [...] and its excavation such that this soil is sufficient to build the ramparts and the parapets; just as that soil which surrounds the half-moons, and the ravelins must be such that it is possible to raise the earthworks of the same fortress..." (Guarini, 1676, p. 73).

Concerning ballistic, Guarini specifies the need to give parapets and glacis inclinations that allow for effective defence: for example, aligning the upper part of the fortress parapet with the inclination of the glacis or inclining the upper part of the parapet of the fausse-braye to the outer edge of the moat.

In this respect, the minimum, average, and maximum dimensional prescriptions listed in the tables accompanying the text produce significant variations in the trajectories of musket shots, which should be close to the ground level. Fig. 3 shows how, as the dimensions of a parapet vary, the trajectories and inclinations of the shots vary.

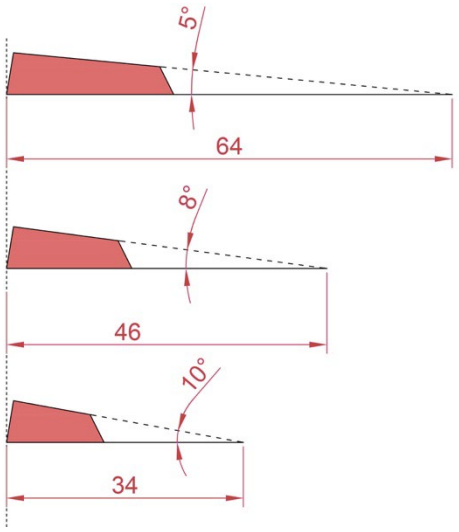


Fig. 3- Variation of the shooting angle depending on the size of the fortification parapet (graphic elaboration by M. Vitali, 2024).

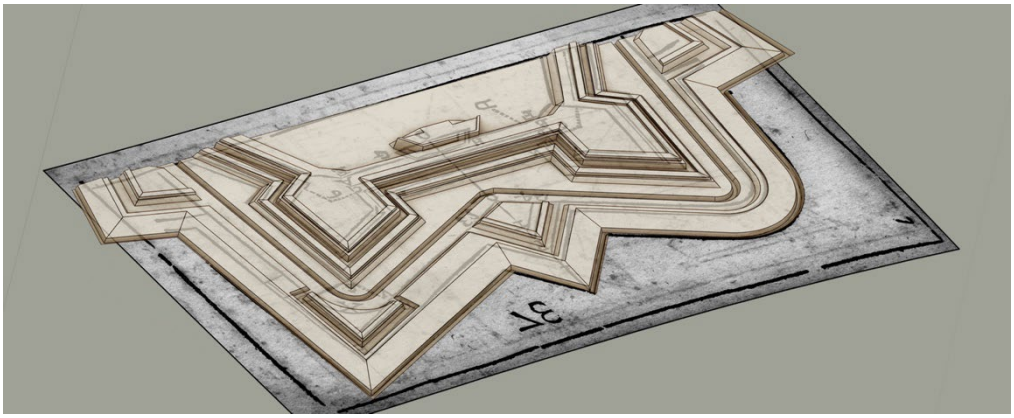


Fig. 4- Superimposing the reconstructive 3D model of the fortress on Guarini's iconography (G. Guarini, 1674, Plate 7. Graphic elaboration by M. Vitali, 2024).

The relationships between architecture, geometry, and defence that we have briefly outlined produce noticeable variations in the body of the fortress. These variations, which, together with the minimum, average and maximum dimensional requirements, respond to a broad and flexible framework of construction needs and impediments, lend themselves well to parametric and algorithmic modelling, which, as we shall see, allows for their rapid and constant control, in a combinatorial mechanism of possibilities that can be evaluated from time to time about construction costs and military effectiveness (Fig. 4).

4. Between orthographic projections and metric variations

The reconstruction of the elements in the centre section of the curtain up to the external works involved, as we have seen, the identification of the maximum dimensions (thicknesses and heights) defined by Guarini in four tables as a guide to the interpretation and redrawing of Guarini's plan and profile plates. The process was divided into the three phases of:

- Reconstruction of Guarini's iconography starting from the first delineation – i.e., the construction of the geometric scheme, interior polygon, and bastions of the fortress – (Spallone, 2015, Spallone, 2017), which highlighted the author's choice to draw only two lines for the variable thickness elements with a scarp section;
- Reconstruction of orthography, with the identification of scarps and accessory elements;
- Completion of the icnography with the lines deduced from the orthography.

Guarini's method: "knowing perfectly how to draw the plans, and make the icnography, depends on the orthography, and this on the other" (Guarini, 1737) proves its effectiveness in the above passages.
Three tables relating to the thicknesses (maximum, average, and minimum) of the elements, respectively, inside the interior polygon and parallel to it, outside the interior polygon and parallel to it, outside the interior polygon and not parallel to it (accessory works such as half-moons and ravelins) and a table relating to the heights (maximum, average and minimum) of the same elements, allow construction in geometric feet.

The geometric foot (about 0.299697 m), as Guarini states on page 44 of the text, coincides with the King's foot used in France and corresponds to seven ounces of liprando foot (Bevilacqua & Spallone, 2024).

These tables, put together in the research mentioned above (Tab. 5), were used in the reconstruction of orthographic projections of the fortified system and, in the following paragraph, will be used to parametrize the fortress models.

The table system constructed by Theatine reveals a manualistic approach for rapid practical application, common to that of numerous contemporary authors (e.g., Marolois 1615, Sardi 1639, Milliet Dechales 1677).

In deepening the comparison undertaken concerning Dechales's work, a table provides as many as six values, from minimum to maximum, for the thicknesses of the elements. At the same time, the heights are given in the table and in the text.

	elemento	icnografia /ortografia(disegnate)	larghezza			altezza		
			max	med	min	max	med	min
Seconde delineationi interiori	Muro CD	Scarpa del muro*	3	2	1			
		Muro CD*	9	8	7	18	16	14
	Parapetto AB	Parapetto nel piano AB	24	22	18			
		In cima però sarà	21	18	15			
		La sua scarpa interiore	1	1	1			
		L'esteriore	2	2	2			
		Parapetto interiore altezza				6	6	6
		Parapetto esteriore altezza				4	4	4
	Scabello	Scabello	3	2	2	**2		
	Terrapieno EF	Terrapieno tutto EF	84	72	60			
		Sua scarpa interiore	18	16	14			
		Terrapieno alla cima EF	66	56	46	18-22***	16-20***	14-18***
	Cavagliere GH	Cavagliere GH dietro	300					
		Cavagliere GH davanti	200					
Seconde delineationi esteriori che seguono la forma delle prime linee	Falsa braga IL	Via della falsa braga IL	21	17	15			
	Parapetto falsa braga MN	Parapetto della falsa braga al piede MN	24	18	14	8	6	4
		Nella cima	21	15	11			
	Il margine del fosso	Il margine del fosso	6	6	6			
	Fossa	L'ampiezza della fossa	132	108	84	12	11	10
		Ma nel fondo	108	84	64			
		Scarpa della fossa	12	11	10			
		Fossetto nel mezzo	24	20	16			
	Via coperta	Via coperta	21	17	15			
	Trinciera esteriore	Ampiezza della trinciera esteriore	79	70	69			
	Scabello	Scabello	3	3	2	**2		
Seconde delineationi esteriori che non seguono la forma delle prime linee	Rivellino 1° metodo geometrico Mezza luna metodo geometrico	Terrapieno inferiore	40	36	30			
		Scarpa esteriore	3	2	2			
		Scarpa interiore	6	5	4			
		Terrapieno superiore	34	30	26			
		Parapetto al piede	20	18	15			
		Scarpa esteriore	2	2	2			
		Scarpa interiore	1	1	1			
		Parapetto alla cima	17	15	13			
		Scabello	3	2	2			
		Via del terrapieno	20	17	15			
		Fossa	40	35	30			
		Scarpa delle rive	10	8	6			
		Via coperta	28	15	15			
		Spalto o trinciera	20	15	15			

Tab. 5- Synoptic table of elements' dimensions and their presence in the drawing in Guarini's icnography (in blue) or orthography (in red). * the orthographic drawing represents the wall (*muro*) and the scarp (scarpa) together; ** hypothesized height, *** heights without and with the wall. The nomenclature of the elements is taken from the treatise (elaboration by R. Spallone, 2024).

5. Tabular data parameterization

The translation of dimensional prescriptions contained within the treatise's tables into a three-dimensional parametric model was accomplished by utilising Rhinoceros 8 and its visual algorithmic editor, Grasshopper.

The methodological approach, consonant with recent investigations into the digitalisation of military treatise heritage (Rechichi et al., 2024), entailed structuring an algorithm organised into thematic clusters, each dedicated to a specific fortification element. This modular algorithm organisation mirrors the logical structure employed by Guarini in his treatise, wherein each fortification element is systematically described and dimensioned. Furthermore, the decomposition into clusters enables discrete management of various modelling phases, from defining initial delineations to generating more intricate elements (Fig. 6).

Dimensional control was implemented through a selection system based on multiline data panels, enabling simultaneous modification of all correlated parameters via a single selector, thus ensuring model coherence across varying dimensional choices. This approach proved productive in managing the multiple-dimensional variables in the treatise's tables, facilitating expeditious verification of diverse possible configurations.

The generation of geometries was addressed through single-rail sweeps, with particular attention devoted to defining section curves. These were constructed as closed polylines based on points controlled by parametric vectors, whose direction and magnitude vary according to the selected dimensional values (maximum, average, or minimum). The primary challenge in this phase was ensuring geometric continuity between adjacent sections, which is fundamental for avoiding both interpenetration and discontinuities

in the model. This objective was achieved through a system of concatenating section control points, wherein each section curve shares tangency points with its adjacent counterpart, thus ensuring a coherent transition of generated poly-surfaces.

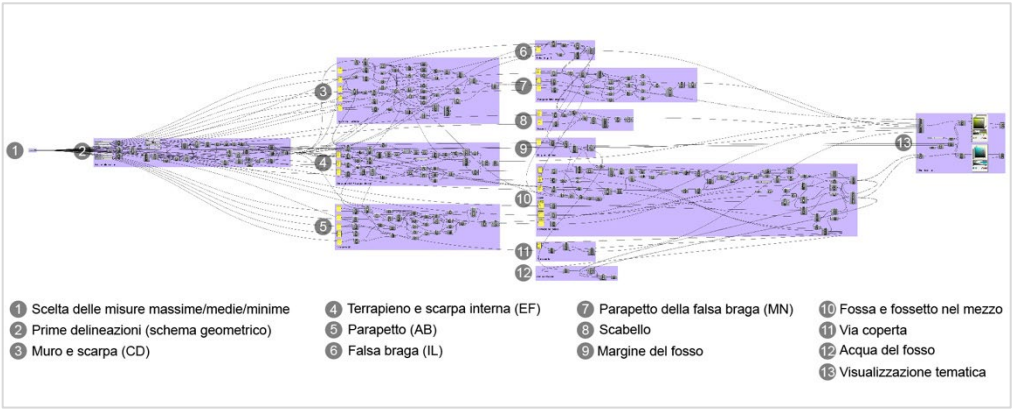


Fig. 6- Visual algorithm of the fortress elements (graphic elaboration by E. Pupi, 2024).

The resultant parametric model enables the exploration of dimensional variations prescribed in the treatise's tables and the modification of fundamental geometric parameters such as the number of sides in the base polygon – set in this instance to six sides – and the proportions of corner bastions.

The relationship with Guarini's original drawing proved fundamental in the initial phase of defining primary delineations (Fig. 7), from which the basic geometric proportions of the fortification system were extracted.

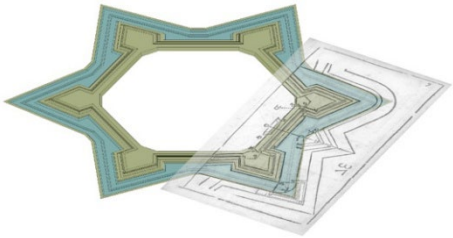


Fig. 7- Parametric model of Guarini's fortress based on maximum dimensions (graphic elaboration by E. Pupi, 2024).

However, the subsequent parametric modelling phase was primarily predicated upon tabular values provided in the treatise, constituting the principal analytical reference for the dimensional definition of all elements.

This methodological choice enabled the maintenance of philological rigour in the three-dimensional translation of Guarini's prescriptions whilst ensuring the flexibility to explore the diverse configurations envisaged in the treatise.

6. From parametric model to BIM

The transition from parametric modelling to Building Information Modelling (BIM) marks a significant advancement in architectural heritage's critical reading and digitalization (Calvano et al., 2022; Cursi et al., 2022). This research focused on creating a generative model of an ideal fortification based on Guarino Guarini's treatise, as seen in the previous paragraph, using Grasshopper to parameterize the design and produce model variations. The next phase involved integrating these models into a BIM environment, specifically within Revit, facilitated by the Rhino. Inside application enables direct import of geometries generated in Rhinoceros and Grasshopper into Revit, thereby ensuring continuity between the parametric model and the BIM platform.

The initial step in transferring the model from Grasshopper to Revit involves importing the geometries as Boundary Representations (BReps), which may be open or closed depending on the requirement, into specific BIM categories, such as Walls and Topographical Solids. These categories reflect the structural and topographical elements of the fortifications as studied in the treatise. However, the model, originally built in geometric feet, must be scaled to metric units before importing, ensuring adherence to the measurement standards commonly employed in

BIM and allowing for accurate dimensional representation in the project context.

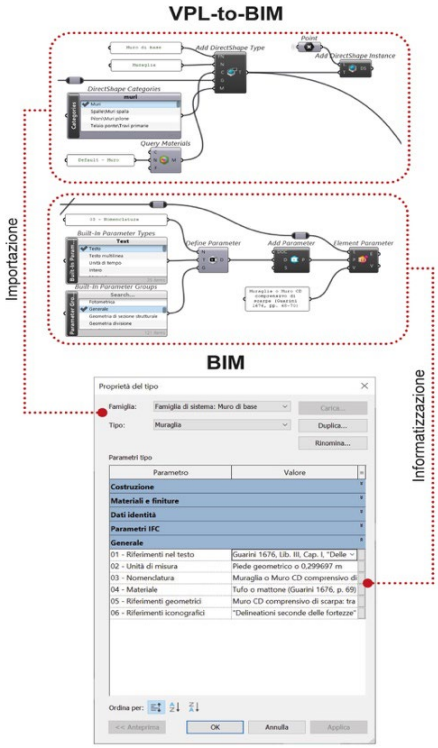


Fig. 8- Extract of the visual algorithm (Grasshopper) and type properties (Revit) of the Wall; import and informatisation nodes of the model and dialogue box of the selected element (graphic elaboration by F. Natta, 2024).

Once imported as DirectShape elements, the individual geometric parts of the fortification are further enriched with information. Using Rhino.Inside, specific design parameters are defined, including textual data derived from analyses of Guarini's treatise. This process allows the informational properties associated with different parts of the geometry to remain intact even when modifications are made to the original model.

Through the generative algorithm developed in Grasshopper, the parametric model can be continuously modified and updated in real time in Revit. This enables a dynamic and adaptable approach to modelling that meets the project's specific requirements (Fig. 8).

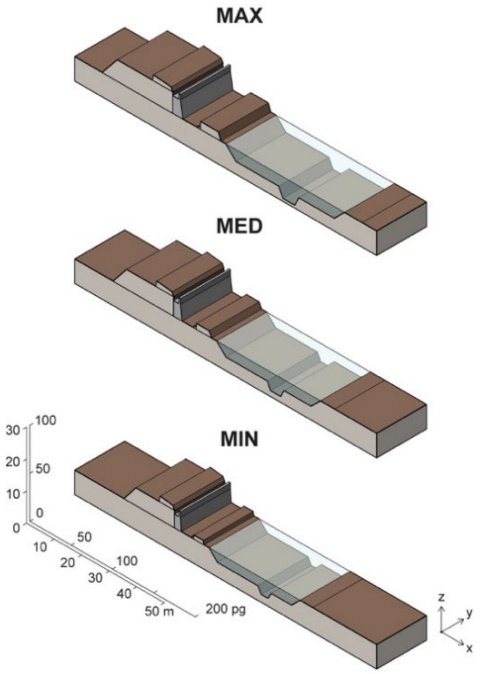


Fig. 9- Axonometric section (Revit) of Guarini's fortress; variation in size of the consistencies through maximum, average and minimum values taken from Guarini's tables (graphic elaboration by F. Natta, 2024).

A key aspect of the study is the potentiality to visually represent various construction solutions based on dimensional variations defined by Guarini, such as the maximum, average, and minimum measures for a hexagonal fortification with a side length of approximately 900 geometric feet (about 270 m). These variations are critical for exploring alternative project configurations, such as wall or bastion adaptations, and facilitate understanding each solution's structural implications (Fig. 9).

In addition to information parametrization based on textual data, the method offers the potential for associating numerical data with the model. This includes calculations of excavation volumes required for constructing the ditch, the earthworks, and the volume of masonry works. Automating these calculations, made possible through BIM integration, enables preliminary estimates of materials and work requirements, supporting detailed planning and efficient resource management.

7. Conclusions

As we have seen, the manualistic and tabular approach of numerous 17th-century treatises on military architecture offers opportunities for three-dimensional verification of dimensional values attributed to plans and profiles of fortified structures.

This work, on the one hand, takes on the value of verifying the scalability of the method of model implementation through parametric modelling and information enrichment through BIM, which is currently being developed by the research group of the broader PRIN project, and on the other hand, opens up possible future developments in relation to the efficient interoperability between the two systems.

Acknowledgement

The study is part of the activities of the PRIN 2022 project INFORTREAT. Reconstructing the Early Modern bastioned front. INformation models for the fruition of constructive knowledge in FORtified architecture TREATises (16th-18th Century), CUP I53D23005420006, funded by the European Union – Next Generation EU, A.I.: R. Spallone, Politecnico di Torino.

This contribution, whose authors shared the methodological framework, was written by R. Spallone (par. 2, 4), M. Vitali (par. 3), E. Pupi (par. 5), F. Natta (par. 6). Par. 1 and 7 were written by all the authors.

References

Bevilacqua, M. G. & Spallone, R. (2024) Composed graphic scales in the European military treatises and manuals from the 17th to the 19th centuries. In: Hermida González, L., Pedro Xavier, J., Pernas Alonso, I. & Losada Pérez, C. (eds.). *Graphic Horizons*-Vol. 3. Cham, Springer, pp. 180-189.

Calvano, M., Martinelli, L., Calcerano, F. & Gigliarelli, E. (2022) Parametric Processes for the Implementation of HBIM—Visual Programming Language for the Digitisation of the Index of Masonry Quality. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 11 (2), 93, 1-19.

Cursi, S., Martinelli, L., Paraciani, N., Calcerano, F. & Gigliarelli E. (2022) Linking external knowledge to heritage BIM. *Automation in Construction*, 141, 104444, 1-17.

Fara, A. (2001) Geometrie della fortificazione e architettura da Borromini a Guarini. *Mitteilungen des Kunsthistorischen Institutes in Florenz*, 45 (1/2), pp. 103-189.

Guarini, G. (1676) *Trattato di Fortificatione,* Torino, Appresso gl'heredi di Carlo Gianelli.

Guarini, G. (1737) *Architettura civile*. Torino, Gianfrancesco Mairesse.

McQuillan, J. (2014) The Treatise on Fortification by Guarino Guarini. *Nexus Network Journal*, 16 (3), 613-629.

Milliet Dechales, CF. (1677) *L'art de fortifier*. Paris, Chez Estienne Michallet.

Rechichi, P., Miele, V. & Bevilacqua, M. G. (2015) Modelli informativi digitali di architettura militare della prima età moderna. Il caso del *Corno Dogale* di Pietro Sardi. In: Bergamo, F. et al. (eds). *Misura / Dismisura | Measure / Out of Measure*. Milano, FrancoAngeli, pp. 3603-3626.

Spallone, R. &Vitali, M. (2024) "Prima daremo le regole universali, indi le misure particolari". Geometry, ballistics, and construction for fortresses' design in Guarini's Trattato di Fortificatione. In: Bergamo, F., Calandriello, A., Ciammaichella, M., Friso, I., Gay, I., Liva & G., Monteleone, C. (eds). Misura / Dismisura | Measure / Out of Measure. Milano, FrancoAngeli, pp. 621-642.

Spallone, R. (2015) Guarino Guarini and the 'Fortificatione' between theory, drawing and design. In: P. Rodríguez-Navarro (ed.). *Defensive Architecture of the Mediterranean XV to XVIII Centuries. Proceedings of the International Conference on Modern Age Fortifications of the Western Mediterranean Coast*, *FORTMED 2015*. Valencia, Editorial Universitat Politècnica de València, pp. 175-182.

Spallone, R. (2017) The 'Regular Fortress' by Guarini and the Citadel of Turin. *Nexus Network Journal* 19 (2), 255-277.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20385

Le fortificazioni urbane di Alghero. Documentazione carto-grafica dell'evoluzione storica

Michele Valentino[a], Nicola Corgiolu[b]
Università di Sassari, Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica, Alghero, Italia, [a] mvalentino@uniss.it, [b] n.corgiolu@studenti.uniss.it

Abstract

Historical cartography represents an essential documentary resource for understanding territorial and urban transformations. This study examines the evolution of Alghero's fortifications through an in-depth analysis of twelve maps covering three centuries. The maps, sourced from various archives, document architectural and urban changes linked to technological advances and the different dominations that have influenced the city. The methodology adopted combines the reading of the maps through georeferencing and digital redrawing. The overlaying of historical maps has allowed for detailed documentation of the transformations in the urban defensive system. The results highlight the importance of the fortifications in determining the city's development, from its medieval configuration to its twentieth-century expansion, providing a framework for conserving and enhancing Alghero's fortifications to further historical understanding and promote informed management of cultural heritage.

Keywords: historical cartography, fortifications, morphological evolution, Alghero.

1. Introduzione

Le cartografie storiche costituiscono una risorsa documentaria fondamentale per comprendere le trasformazioni territoriali e urbane. Queste non vanno intese solo come un insieme di dispositivi che rappresentano lo spazio fisico, ma vanno considerate anche come documento storico di sintesi capace di attestare svariati aspetti della civiltà che le ha prodotte. Opportunamente rilette, le mappe storiche hanno la capacità di rivelare una traccia fondamentale delle evoluzioni culturali, tecnologiche e politiche, oltre che testimoniare i cambiamenti legati alla dimensione materiale dei luoghi (Valentino, 2020).

Nel caso specifico la ricchezza documentaria legata alla rilettura delle fortificazioni del centro urbano di Alghero, ottenuta attraverso il reperimento delle diverse mappe conservate nei fondi - locali, italiani ed europei - costituisce un'importante fonte e una risorsa primaria per lo studio delle architetture e dell'assetto urbano della città antica. Attraverso una lettura transdisciplinare di queste mappe – che parte dagli aspetti più puramente iconografici fino alla determinazione delle matrici geometriche e proiettive – è possibile rintracciare l'evoluzione dell'assetto difensivo legato alle tecnologie belliche e alle dominazioni che si sono susseguite sul territorio.

La selezione delle dodici mappe presenti in questo saggio copre l'arco temporale di tre secoli con il tentativo di ricostruire le evoluzioni formali e tecnologiche delle fortificazioni murarie della città. A partire dalla mappa del 1570-72 ad opera di Rocco Cappellino, in cui è visibile il rilievo delle mura medievali descritto nella pergamena di Pere Fuyà datata 19 febbraio 1362 durante l'occupazione Genovese e oggi conservata presso l'Archivio Storico del Comune di Alghero (ASCAL 2099). Si conclude con quella di Nicola Aufieri – conservata presso l'Istituto Storico di

BY-NC-SA

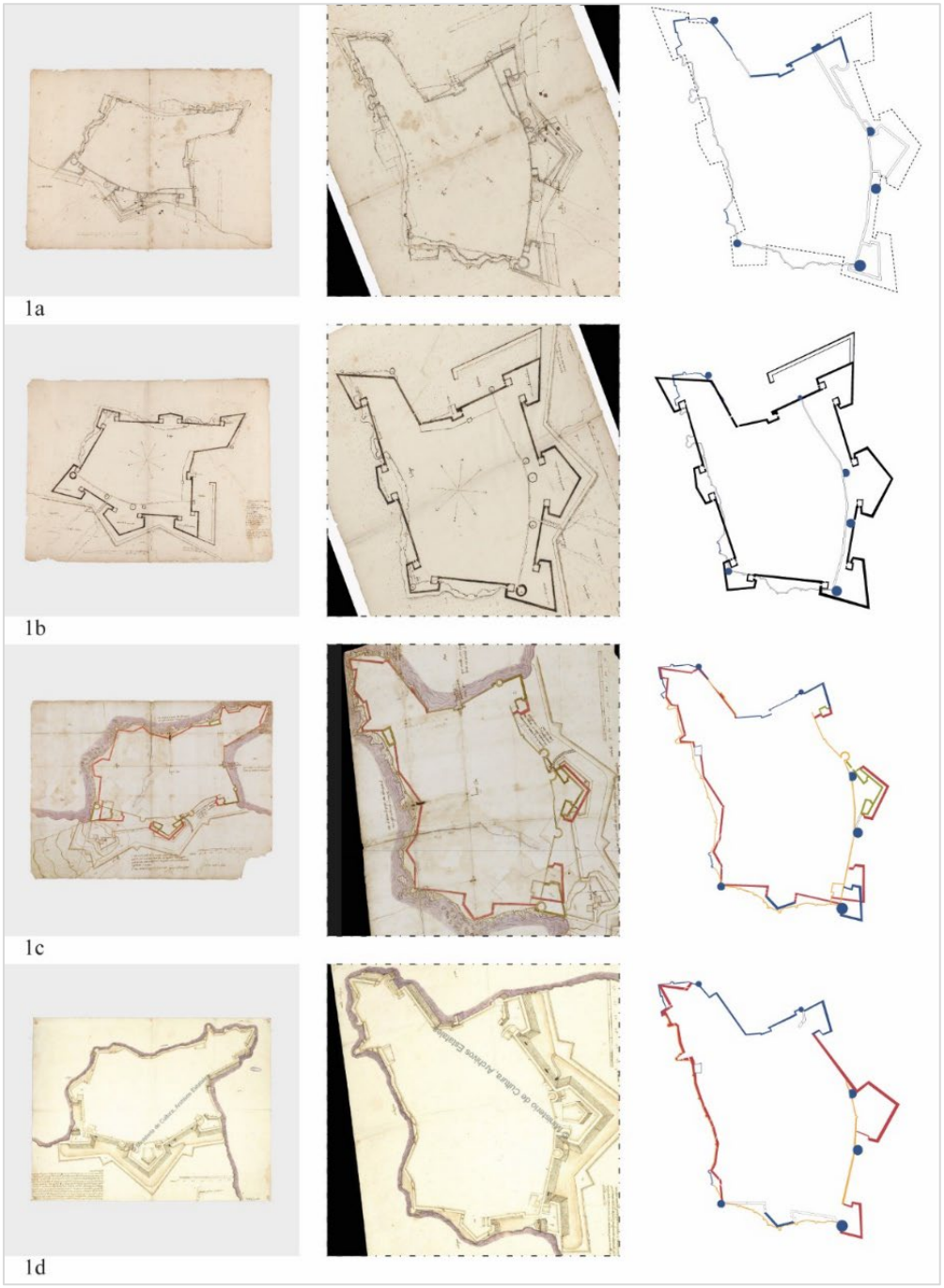


Fig. 1 - Quadro sinottico delle mappe e delle trasformazioni: (a) R. Cappellino, *Progetto definitivo delle fortificazioni di Alghero*, 1570-1572; (b) R. Cappellino, *Primo progetto delle fortificazioni di Alghero*, 1570-1572; (c) G. Palearo Fratino, *Mappa della piazzaforte di Alghero*, 1573; (d) G. Palearo Fratino, *Plano de la Fortificación de Alghero (Cerdeña)*, 1578 (elaborazione grafica a cura degli autori, 2024

Cultura dell'Arma e del Genio (Fortificazioni, x.C.690) – redatta a pochi anni dalla cancellazione di Alghero dall'elenco delle piazzeforti del Regno che portò, fra fine XIX e inizio XX secolo, alla demolizione della fortificazione a terra e che permise l'ampliamento che tutt'oggi caratterizza la città. La metodologia si è basata su un esame dettagliato delle dodici mappe selezionate esaminando i seguenti aspetti: analisi temporale, attraverso la disposizione cronologica che permette di confrontare temporalmente i diversi documenti; interpretazione culturale, che consente di approfondire i contesti sociali durante i quali questi documenti sono stati prodotti; estrazione delle informazioni, che documentano i dati spaziali estratti dalle mappe.

2. Documentazione cartografica

Per diverso tempo il sistema murario della città di Alghero rimase quello medievale realizzato durante il dominio genovese dei Doria, ma a partire dal XV secolo con la comparsa delle artiglierie si rese necessario realizzare opere di ammodernamento dei sistemi murari esistenti per far fronte ai nuovi arsenali militari (Principe, 1983; Sari, 1988; Salvietti, 1990). Le seguenti dodici mappe testimoniano l'ampia traccia che queste operazioni hanno lasciato nella produzione cartografica che ha interessato la roccaforte di Alghero, documentando gli sviluppi del sistema difensivo nel corso delle diverse dominazioni che si sono succedute al controllo dell'isola.

2.1. Carta 1570-72 – Primo progetto (1)

Nel contesto dei lavori di adeguamento degli apparati difensivi, si inserisce il lavoro dell'ingegnere cremonese Rocco Cappellino, inviato in Sardegna nel 1552 dall'imperatore Carlo V, con il compito di coordinare i lavori di ammodernamento delle fortificazioni isolane. Per la città di Alghero realizza due elaborati progettuali, il primo (Fig. 1a) si presenta nella forma di una matrice geometrica che si adatta al preesistente tracciato medievale e che prevede un perimetro difensivo impostato su baluardi collegati da cortine rettilinee (Pirinu, 2013).

2.2. Carta 1570-72 – Progetto definitivo (2)

Il secondo elaborato (Fig. 1b) realizzato dal Capellino si configura come il tentativo di adattare lo schema geometrico del primo elaborato alle preesistenze e alle caratteristiche morfologiche del luogo. Il disegno si caratterizza per la diversità dei tratti impiegati, in particolare l'ipotesi progettuale sul fronte mare è rappresentata come uno schizzo e diverse sono anche le correzioni del disegno della cinta muraria preesistente. Sul fronte terra invece le strutture difensive vengono rappresentate sia con tratto marcato sia più sottile, lasciando aperta la possibilità di ulteriori modifiche e ampliamenti (Pirinu, 2013).

2.3. Carta 1573 (3)

Durante il regno di Filippo II di Spagna il disegno realizzato dal Capellino viene modificato dall'ingegnere ticinese Jacopo Palearo Fratino e successivamente, in parte realizzato dal fratello Giorgio, peraltro autore della carta sopracitata (Principe, 1983). L'elaborato (Fig. 1c) si distingue per la presenza contemporanea delle soluzioni proposte dai tre progettisti: con colori diversi vengono riportati oltre al disegno della cinta muraria medievale (in giallo), le opere realizzate dal Capellino (in verde), il progetto di Jacopo Palearo Fratino (in rosso) e un'ipotesi progettuale proposta dal fratello Giorgio (in nero).

2.4. Carta 1578 (4)

Nel corso del suo incarico di direttore dei lavori Giorgio Palearo Fratino realizza un secondo disegno (fig. 1d) con lo scopo di documentare lo stato di avanzamento dei lavori sul circuito murario e di portare a termine il progetto elaborato dal fratello Jacopo. Da un punto di vista grafico l'elaborato è costituito da una planimetria a cui viene dato l'effetto di una rappresentazione con alcuni caratteri tridimensionali. Dal disegno emerge un fronte terra sostanzialmente completato, con la realizzazione dei baluardi e del fossato, (Pirinu, 2013), mentre lato mare si evidenzia l'andamento dei lavori con alcune differenze rispetto agli elaborati del fratello Jacopo.

2.5. Carta 1625 (5)

La documentazione relativa al XVII secolo è piuttosto frammentata e coinvolge diverse figure che in maniera più o meno rilevante si sono occupate di redigere piani di intervento (Nocco, 2015). Fra queste assume particolare importanza l'opera del viceré Juan Vivas che nel giugno1625, nel corso di una visita alle piazzeforti di Alghero e Castelsardo redige due relazioni complete di elaborati planimetrici, forse realizzati dallo stesso Vivas. La planimetria di Alghero (Fig. 2a), pur rappresentata in forma abbastanza schematica riesce a dare conto delle opere realizzate negli ultimi due decenni del XVI secolo.

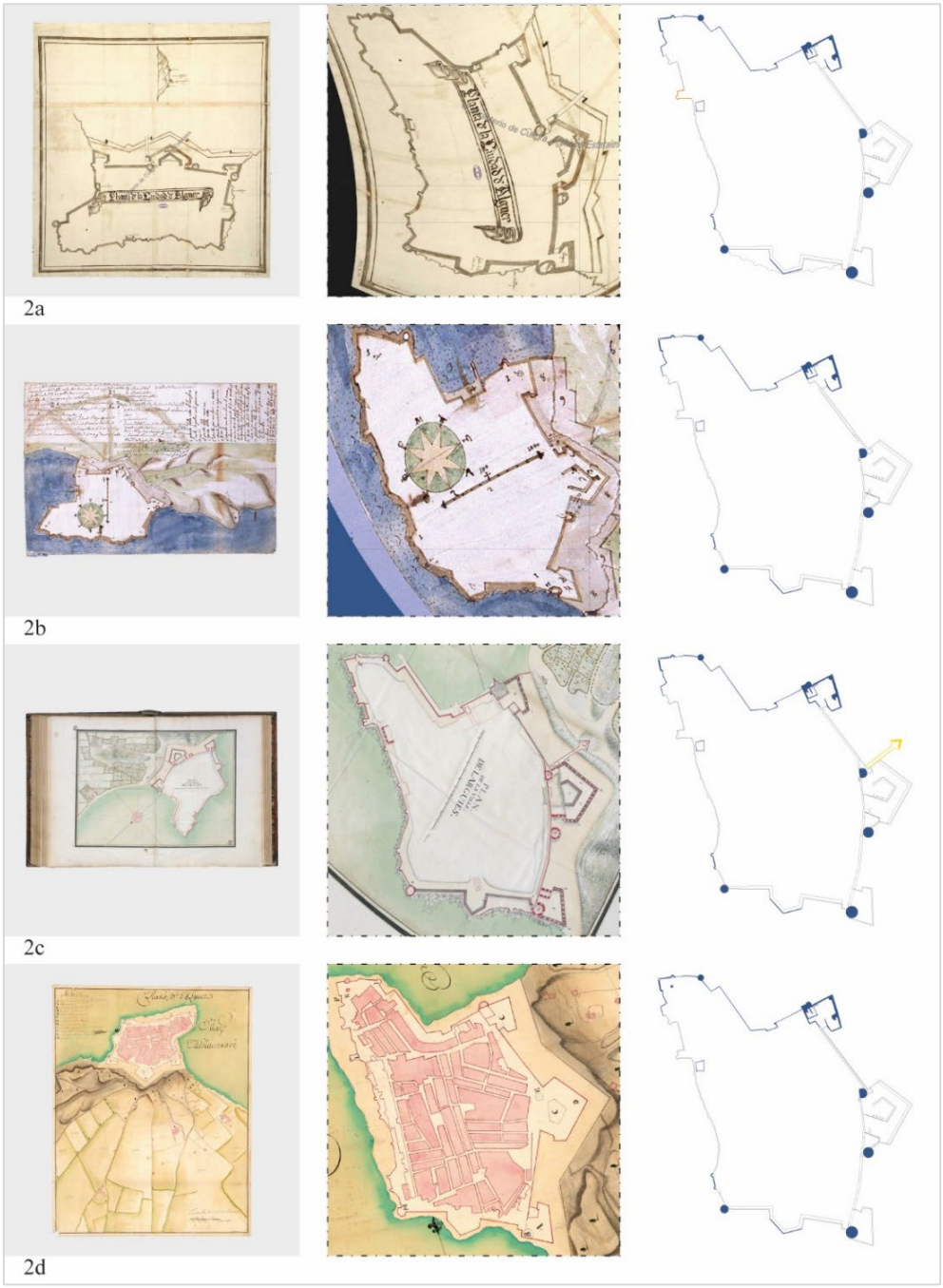


Fig. 2- Quadro sinottico delle mappe e delle trasformazion¡: (a) Attribuita a J. Vivas de Cañamás, *Planta de la ciudad de Alguer*, 1625; (b) D. Bruno, *Planta del recinto fortificado de la ciudad de Alghero*, 1642-1644; (c) J. Petré, *Plan de la ville de Larguier*, 1680-1685; (d) Autore ignoto, *Plano de Alguer*, 1718 ca. (elaborazione grafica a cura degli autori, 2024).

2.6. Carta 1642-44 (6)

Nel corso del XVII secolo la configurazione della cinta muraria della piazzaforte di Alghero rimane pressoché invariata rispetto ai decenni precedenti. Una testimonianza è data dalla mappa realizzata da Domingo Bruno (Fig. 2b), la quale risulta essere costituita da due fogli (Scanu et al. 2018). Di questi il primo inquadra un non meglio precisato tratto costiero, mentre il secondo inquadra la vera e propria rappresentazione delle città e delle sue fortificazioni.

Il disegno sembra privilegiare l'andamento delle fortificazioni lato terra dove il disegno dei bastioni risulta ben dettagliato, mentre il lato mare non gode della stessa attenzione.2.7. Carta 1680-85 (7)

Durante il regno di Luigi XIV, nell'ambito della guerra con Spagna, Inghilterra e Olanda, la Francia necessitava di dotarsi di materiale cartografico il più possibile preciso. In quest'ottica va considerata l'imponente opera di una Carta Portolano del Mediterraneo, affidata agli "Ingegneri della Marina" Nicolas Péne e Jacques Pétré, i quali coordinarono le operazioni di rilievo dal mare delle principali città fortificate del Mediterraneo e dei loro porti (Garducci, 2016). Tra queste trova spazio anche la cartografia realizzata per la piazzaforte di Alghero (Fig. 2c) che restituisce l'assetto delle fortificazioni urbane nel corso del XVII secolo.

2.8. Carta 1718 (8)

Se la tradizione militare prevedeva una rappresentazione che privilegiava le sole strutture difensive, una delle prime carte in cui compare il disegno della città di Alghero è il *Planó de l'Alguer* (Fig. 2d). Questa mappa documenta non solo i fronti difensivi e parte del territorio che circonda la piazzaforte, ma soprattutto l'intero impianto urbano in maniera abbastanza precisa. La mappa si caratterizza anche per essere una delle ultime rappresentazioni in cui il profilo del fronte mare è lo stesso della carta realizzata da Giorgio Palearo Fratino nel 1573 (Simula, 2012-13), pochi decenni prima della realizzazione dei bastioni in epoca sabauda.

2.9. Carta XVIII secolo - Torino (9)

In seguito allo scoppio della guerra di successione spagnola, nel 1720 la Sardegna passò ufficialmente sotto la dominazione sabauda. A questi anni appartiene la produzione del *Plan de la ville d'Alguer* (Fig. 3a), di cui è tuttavia ignoto sia l'autore, sia l'anno di realizzazione (Principe, 1983). Il sistema dei baluardi sul fronte terra e delle strutture difensive dei rivellini rappresentati con cura, così come la trama dell'abitato, farebbe pensare ad una collocazione temporale compresa negli ultimi anni del Settecento.

2.10. Carta XVIII secolo - Cagliari (10)

Del tutto simile alla precedente, per disegno e fattura, questa carta (Fig. 3b) conservata all'Archivio Storico del Comune di Cagliari, sembra configurarsi come copia muta di un originale, ovvero come una delle copie di rappresentanza da inviarsi rispettivamente al viceré di Cagliari, e alla corte di Torino. (Principe, 1983).

2.11. Carta 1802 (11)

Attribuita all'ingegnere militare Leopoldo David questa carta (Fig. 3c), realizzata come le due precedenti in epoca sabauda, risulta particolarmente significativa in quanto rende conto dei lavori di regolarizzazione e rinfascio dei bastioni fronte mare realizzati dai Savoia. Tali opere si concretizzano in parte nell'avanzamento delle strutture difensive e nel conseguente riempimento dello spazio residuo tra le mura tardomedievali e le nuove strutture conferendo alle fortificazioni lato mare, l'aspetto che in larga parte è possibile osservare ancora oggi (Deriu, 2014-15).

2.12. Carta 1863 (12)

Nel corso del XIX secolo la città di Alghero perderà progressivamente il suo ruolo di città fortificata. La cartografia (Fig. 3d) realizzata dal Genio Militare documenta le fortificazioni della città nella condizione appena precedente le prime demolizioni. Si evince una cattiva manutenzione e incuria da un lato, e la necessità di dotarsi di nuovi spazi urbani dall'altro.

Queste condizioni porteranno ai primi progetti di demolizione dei bastioni sul fronte terra. I decreti dei primi anni della seconda metà dell'Ottocento provvederanno alla cancellazione della città di Alghero dall'elenco delle piazzeforti del Regno (Principe, 1983; Deriu, 2014-15).

3. Confronto delle cartografie

Per ottenere un attendibile raffronto fra il dato storico rappresentato nelle mappe e la situazione attuale, si è ricorso a una procedura di georeferenziazione che ha comportato una

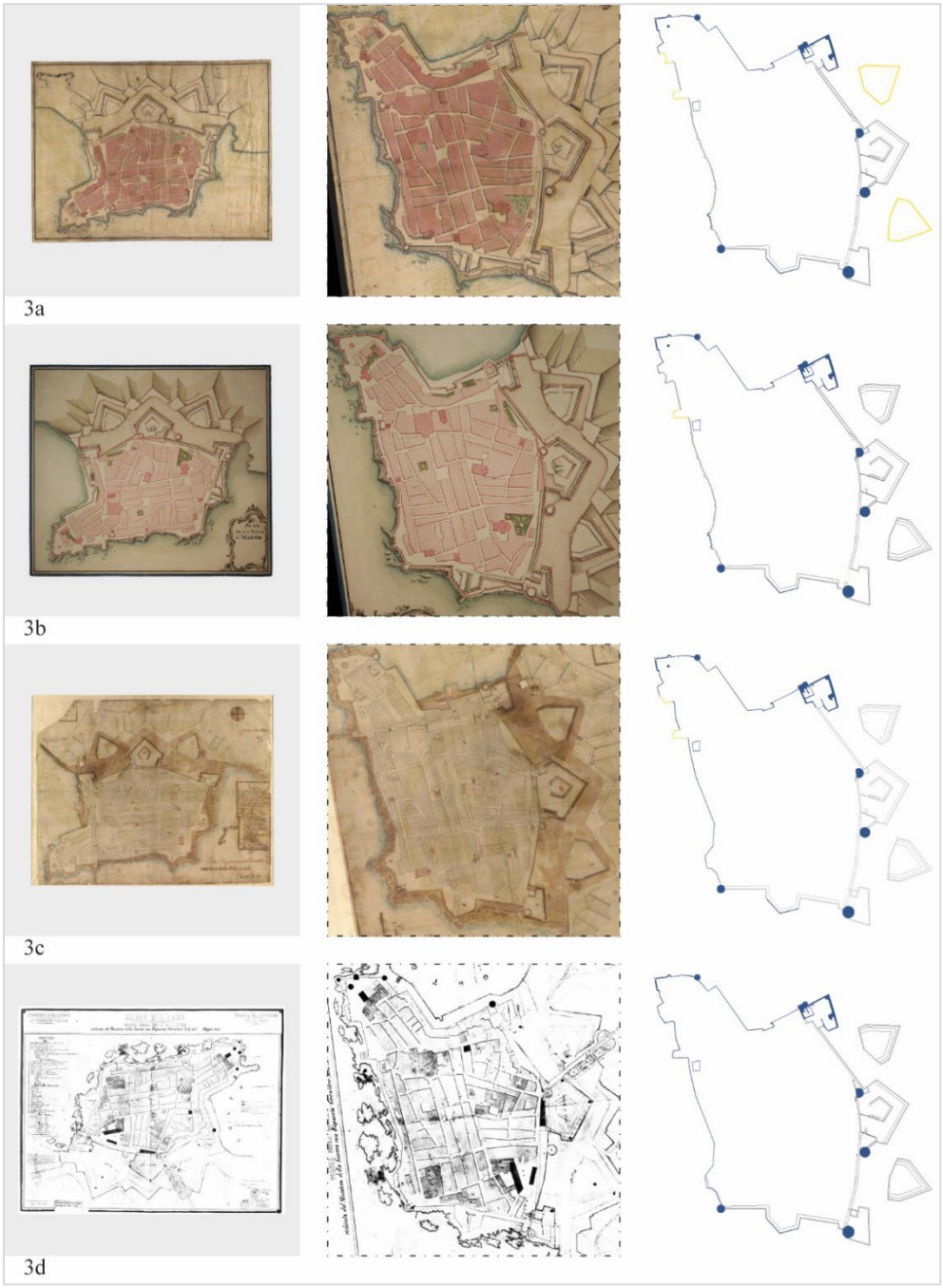


Fig. 3- Quadro sinottico delle mappe e delle trasformazioni: (a) Autore ignoto, *Plan de la ville d'Alguer*, XVIII secolo; (b) Autore ignoto, *Plan de la ville d'Alguer*, XVIII secolo; (c) L. David, *Pianta in trabucchi di Alghero*, circa 1802; (d) N. Aufieri, *Pianta della città di Alghero*, 1863 (elaborazione grafica a cura degli autori, 2024).

geometrica e l'attribuzione di coordinate geografiche attraverso l'identificazione di punti riconoscibili *(multipoint*) ed elementi identificabili, quali le torri ancora presenti. L'associazione in ambiente GIS ha permesso un ricampionamento delle cartografie digitalizzate utilizzando algoritmi di trasformazione polinomiale di primo grado (affine) che hanno permesso di mantenere la collinearità attraverso la scalatura, la traslazione e la rotazione delle dodici immagini.

Questo ha consentito di costruire un catalogo iconografico e documentario delle fortificazioni urbane delle relative trasformazioni. Tale sistema presentata alcuni limiti legati alle precisioni metriche derivate da diversi fattori, come le proiezioni geometriche e le differenti scale con cui le diverse mappe sono state redatte.

Seppure nella maggior parte dei casi questa procedura risulta percorribile, al fine di ottenere un'autenticità quantitativa del dato che sia la più possibile precisa è stato necessario verificare le informazioni bibliograficamente, attraverso rilievi *in situ* e integrando, ove possibile, con il reperimento di vedute pittoriche - come quelle di Simone Manca di Mores (Piloni & Putzulu, 1976) - da atlanti geografici e da fotografie storiche. Questa procedura ha permesso di ridisegnare, ancorandosi all'esistente, le diverse mappe con la stessa proiezione geografica al fine di rendere maggiormente visibili le trasformazioni e le permanenze difensive, riportandole in tavole sinottiche (Figg. 1-3) con il fine di comunicare in maniera più efficace l'evoluzione delle mura difensive in relazione allo stato attuale del centro urbano storico.

4. Risultati e Prospettive

Lo studio delle fortificazioni di Alghero**,** attraverso le diverse testimonianze cartografiche**,** ha sottolineato l'intricata relazione tra sviluppo urbano e architettura difensiva nel Mediterraneo. Le mappe storiche rivelano una narrazione stratificata di adattamento e di riuso, fornendo preziose informazioni sulle strategie militari, sociali e politiche che hanno plasmato la città. Si è passati dal sistema difensivo delle torri puntuali di matrice medievale, per una struttura complessa di origine rinascimentale, fino alla demolizione del sistema murario a terra che ha permesso la riconfigurazione dei bordi e dell'ampliamento con uno schema ippodameo a scacchiera che caratterizza la città Novecentesca (Sari, 1998).

Alla luce di queste considerazioni, nella fase successiva, la ricerca si concentrerà su un rilevo dettagliato dei segmenti superstiti del circuito murario, con l'obiettivo di documentare sia le strutture conservate, sia gli elementi residui assorbiti nel tessuto urbano. Attraverso la modellazione tridimensionale sarà consentito di migliorare significativamente la comprensione delle trasformazioni storiche delle fortificazioni (Zerlenga & Cirafici, 2023). Il fine è quello di restituire i cambiamenti delle configurazioni murarie e della morfologia urbana nel corso dei tre secoli. Questi modelli consentiranno di visualizzare l'evoluzione delle fortificazioni e di valutare l'impatto delle varie influenze militari, ambientali e urbane sulle strategie difensive della città di Alghero. Questo approccio integrato - che combina la cartografia, il rilievo e la modellazione digitale - ha l'obiettivo di offrire un quadro documentario dinamico per la conservazione e l'interpretazione delle fortificazioni storiche per la gestione, documentazione e valorizzazione di questo patrimonio culturale.

Notes

(1) R. Cappellino, *Progetto definitivo delle fortificazioni di Alghero*, 1570-1572. Biblioteca Apostolica Vaticana, Barb. lat. 4414, f. 25v-26r. Tecnica non specificata, 42 x 57 cm.

(2) R. Cappellino, *Primo progetto delle fortificazioni di Alghero*, 1570-1572. Biblioteca Apostolica Vaticana, Barb. lat. 4414, f. 15v-16r. Tecnica non specificata, 42 x 57 cm.

(3) G. Palearo Fratino, *Mappa della piazzaforte di Alghero*, 1573. Civica Raccolta delle Stampe Achille Bertarelli, Castello Sforzesco, Milano, P.V.g. 27-9. Tecnica non specificata, 41 x 58 cm

(4) G. Palearo Fratino, *Plano de la Fortificación de Alghero (Cerdeña)*, 1578. Archivo General de Simancas, MPD, 08, 020. Manoscritto su carta, inchiostro e acquerello viola, 42,7 x 55,2 cm.

(5) Attribuita a J. Vivas de Cañamás , *Planta de la ciudad de Alguer*, 1625. Archivo General de Simancas, MPD, 09, 016. Manoscritto su carta, inchiostro e acquerello nero, 63,2 x 58,3 cm.

(6) D. Bruno, *Planta del recinto fortificado de la ciudad de Alghero*, 1642-1644. Archivo de la Corona de Aragón, Barcelona, España, ACA,

CONSEJO DE ARAGÓN, Legajos, 1194, plano 4. Manoscritto, inchiostro e colore in acquerello blu, verde, grigio e ocra, 92 x 29 cm

(7) J. Petré, *Plan de la ville de Larguier*, 1680-1685. Service Historique de la Défense, Département des archives définitives, Vincennes, Val-de-Marne, SH 98. Tecnica non specificata, 51 x 40 cm,

(8) Autore ignoto, *Plano de Alguer*, 1718 ca. . Archivo Cartográfico de Estudios Geográficos del Centro Geográfico del Ejército, Ar.H-T. 7-C. 6-139. Manoscritto a penna in inchiostro nero e miniato ad acquerello in verde, carminio e grigio, 52 x 40 cm.

(9) Autore ignoto, *Plan de la ville d'Alguer*, XVIII secolo. Archivio di Stato di Torino, 29 A I Rosso. Tecnica non specificata, 46,5 x 53 cm

(10) Autore ignoto, *Plan de la ville d'Alguer*, XVIII secolo. Archivio Storico Comune di Cagliari, Archivio Storico del Comune di Cagliari (ACC), Fondo Cartografico, fuori inventario, nn. 1. Tecnica non specificata.

(11) L. David, *Pianta in trabucchi di Alghero*, circa 1802. Archivio Storico Comune di Cagliari, Archivio Storico del Comune di Cagliari (ACC), Fondo Cartografico, fuori inventario, nn. 2. Tecnica non specificata.

(12) N. Aufieri, *Pianta della città di Alghero*, 1863, Istituto Storico e di Cultura dell'Arma del Genio, Roma, Fortificazioni, x.C.690. Disegno a penna e matita colorata, 86 x 66 cm.

Bibliografia

Deriu, C.M. (2014-15) *Archeologia urbana ad Alghero: dal Castellas al monastero di Santa Chiara.* [Tesi di dottorato]. Sassari, Università degli Studi di Sassari.

Guarducci, A. (2016) Torri e fortezze del Mediterraneo nella cartografia nautica della Marina militare francese (seconda metà XVII-metà XVIII secolo). In: Verdiani, G. (ed.), *Defensive Architecture of Mediterranean XV to XVIII centuries. Vol. 3*. Firenze, DIDAPRESS. pp. 29-36.

Nocco, S. (2015) Torri e piazzeforti nella Sardegna moderna. Fonti cartografiche e documentarie nella lettura delle trasformazioni territoriali del paesaggio costiero sardo tra XVI e XVIII secolo. In: Rodríguez-Navarro, P. (ed.), *Defensive architecture of the mediterranean: XV to XVIII centuries. Vol. I*. València, Editorial Universitat Politècnica de València. pp. 139-146.

Piloni, L., & Putzulu, E. (1976) *Fascino di Sardegna: acquerelli di Simone Manca di Mores, 1878-1880*. Roma, Istituto Poligrafico dello Stato.

Pirinu, A. (2013) *Il Disegno dei baluardi cinquecenteschi nell'opera dei fratelli Paleari Fratino: le piazzeforti della Sardegna*. Firenze, All'Insegna del Giglio.

Principe, I. (1983) *Le città nella storia d'Italia. Sassari, Alghero, Castelsardo, Porto Torres*. Bari-Roma, Laterza.

Salvietti, M. (1990) *Alghero. Le fortificazioni medievali nella pergamena di Pere Fuyà e dopo recenti ritrovamenti*. Alghero, Edizioni del sole.

Sari G., (1988) *La piazza fortificata di Alghero*. Alghero**,** Edizioni del sole.

Sari, A. (1998). Alghero nel XIX secolo. I piani d'ingrandimento. *Revista de l'Alguer, IX*. p. 69.

Scanu, G., Cinzia, P., & Scanu, G. (2018) Su una mappa spagnola della fortezza di Alghero. Tra storia e applicazioni geomatiche. In: *Bollettino A.I.C*. Trieste, Edizioni Università di Trieste. pp. 72-94.

Simula, A. (2012-2013) *La piazzaforte di Alghero negli ultimi anni di dominazione spagnola (1717-1720)* [Tesi di Laurea Magistrale]. Sassari, Università degli Studi di Sassari.

Valentino, M. (2020) *Diségno della Terra. Il mondo come lo immaginiamo*. Alghero, Publica.

Zerlenga, O., & Cirafici, A. (a cura di) (2023) *Nuove Frontiere nel Disegno*. Aversa, DADI_Press.

Defensive Architecture of the Mediterranean / Vol. XX / Zerlenga, Cirillo (Eds.)
© Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* / edUPV

DOI: https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20386

Out of time but in the right place: a first report about the “old tower” on the Gorgona's island

Giorgio Verdiani[a], Ylenia Ricci[b], Stéphane Giraudeau[c]
[a-c] Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Architettura, Firenze, Italia, [b] Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Storia, Archeologia, Geografia, Arte e Spettacolo, SAGAS, Firenze, Italia, [a]giorgio.verdiani@unifi.it, [b]ylenia.ricci@unifi.it, [c]stephane.giraudeau@unifi.it

Abstract

Some places uniquely preserve their characteristics, landscapes, and architecture over time. Even when their structures decay, they maintain their connections to original designs and natural surroundings. Gorgona Island is an example, where harsh conditions, limited access, and the presence of a prison have preserved its XVIth century military heritage. Two significant fortifications, the “old tower” in the west and the “new tower” in the east, are part of the broader Tuscany archipelago defence system. This study focuses on the “old tower,” which, despite being in ruins, retains its original features and demonstrates its safeguarding and surveillance roles. The tower’s isolated position and the island’s continued use as a prison presented challenges for documentation, requiring precise, efficient methods. A digital survey was applied, emphasizing speed and optimization. The following paper examines the tower’s history, the survey planning, data processing, and early dissemination. It offers comprehensive insights into the site's significance, surpassing tourist photography, currently the only resource available. By providing a detailed digital record, this study contributes to preserving Gorgona Island’s cultural heritage. Sharing this information enhances understanding of the site and ensures its story remains accessible for future scholars, students, curious and any kind of virtual visitors.

Keywords: Tuscany, archipelagos, digital Survey, fortification.

1. Introduction

The ability of certain places in preserving their natural and historical features over time is always linked to their modest interaction with humanity, difficulties in access, distance, laws, hard environments or simply the presence of military or imprisonment functions are the main reason preserving a place as it was in a specific time or to reduce its transformation. The case of the “old tower” on the Gorgona Island is a perfect case of fascinating abandon, especially for the landscape the limited access caused by the presence of the prison has preserved an “out of time” condition that is still appreciable during a visit. On the other side the decay of the tower and some unlucky restoration intervention shows this valuable building in concerning conditions with various parts claiming a proper restoration and others just on the edge of being lost. In this particular condition, a survey intervention, aimed to document the state of all the main accessible parts of the tower seems worth to be done and brought on in the context of an autonomous and spontaneous research project aimed to the creation of a shareable digital dataset capable of documenting the state of the tower about eight centuries from its first phase.

1.1. The landscape

The island of Gorgona is the smallest inhabited island in the Tuscan Archipelago, has a thousand-

BY-NC-SA

year history that intertwines nature, spirituality and penance.

The island appears rich in natural vegetation, with a generous amount of large and medium size trees, creating a gorgeous sample of rich Mediterranean scrub. The shape of the island may barely recall the one of a saddle, with two rising groups of peaks and hills at south and north. The island is swiped by all the typical winds of the Mar Tirreno, with the prevalence of Mistral, the main inhabited area is protected by the hills from this wind as well as from *Scirocco*, *Grecale*, and *Libeccio*, this last one tends to be the most problematic one, causing storms and intense waves, but it hits mostly the high cliffs on the west side, the same being the base of the Old Tower. The harbour connects the island mainly to Livorno with a quite regular ferry line (Fig. 1). In time, the consistency of the island and its reasonable height made it a valuable observation point of the routes and to the open sea as well as to the inner part of the archipelago.



Fig. 1- Map of the Tuscany coast with Livorno and the Gorgona Island (Openmaps.org, 2025).

2. The brief story of the prison island

The prison on the island of Gorgona was established in 1869, during the post-unification period, when the newly formed Kingdom of Italy was seeking new solutions for the penitentiary system. Gorgona, already known for its remoteness and wild environment, was chosen as an ideal location for an agricultural penitentiary, where inmates would be able to work in isolation and contribute to their own rehabilitation through productive activities. The foundation of the prison marked a major transformation of the island: the Carthusian monks, who had lived there since the Middle Ages, had abandoned their monastery, making way for the new use of the island as a prison. The main buildings, included the old tower, were dedicated to hosting the prisoners and the function of the prison (Società Geografica Italiana, 1878). Over time, the penitentiary specialized as an agricultural colony, in line with the re-educational approach promoted in contemporary times. This model involved inmates in agricultural, animal husbandry and environmental maintenance activities. Over the years, the island became food self-sufficient, and inmates learned trades useful for reintegration into society once their sentences were over. This system, based on work and rehabilitation, proved to be an innovative experiment compared to traditional detention institutions.



Fig. 2- View of the eastern front of the island, with the Old Tower appearing in between the hills (photo by the authors, 2024).

During the XXth century, the prison maintained its agricultural vocation. However, like many Italian prison facilities, it faced problems of overcrowding and logistical difficulties, especially during periods of major social and economic crisis. Gorgona's insularity guaranteed relative stability, however, favoring controlled management of the number of inmates. After World War II, the idea of prisoner re-education as the main purpose of punishment became a pillar of the Italian Constitution (art. 27). This principle resulted in the confirmation and enhancement of the *labor* and rehabilitative approach adopted on the island.

Today, the Gorgona prison is the only agricultural penal colony still active in Italy. The island houses a limited number of inmates, usually people at the end of their sentences or with less serious sentences. These are engaged in activities ranging from organic farming to the production of

high-quality wine and cheese. The project has received international recognition for its innovative approach. The products made by the inmates are sold on the market under brand names that guarantee an economic and social return. In addition, collaboration with environmental associations and universities has made Gorgona a laboratory for biodiversity protection and environmental education. However, prison management is not without its challenges. Geographic isolation makes logistics complex, and pressure to close island prison facilities has generated debates in the past about whether the prison should remain active. Despite this, the local community and prison workers continue to support the educational and environmental value of the project.



Fig. 3- The Old Tower, view from south (photo by the authors, 2024).

3. The Tower

The Old Tower is a coastal tower and its location is along the steep and jagged West coast of the island, facing the Corsica Channel.

The fortified structure was built in the XIIIth century by the Pisans, when the island and most of the archipelago were under their control (Guarducci et al. 2013). The purpose was to be able to perform sighting functions in the stretch of sea separating Gorgona from Corsica; the tower, if necessary, could also perform effective defensive functions, especially in the event of attempted pirate raids, thanks to its dominant position overlooking the sea (Fig. 2). During the following epochs, when the island became part of the Grand Duchy of Tuscany (Florentine rule began in 1406), the fortified structure continued to perform its original functions (Dotti, 2016), until it was definitely decommissioned during the XIXth century, when island was transformed into a prison. This long period of use brought to a progressive transformation of the tower, to enlarge it, to expand its spaces and to adapt it to the needs of new weapons both for offensive and defensive reasons (Errico, 2000).



Fig. 4- Stone from the cliff merged into the masonry work at the upper base of the tower (photo by the authors, 2024).

The Old Tower today appears as an imposing, albeit partially ruined, fortified complex with an irregular polygonal plan, arranged on several levels, with a mighty scarp basement that adapts to the orography of the promontory on which it stands (Fig. 3); the wall structures are mainly faced with local stone (Fig. 4). Access to the tower is through a relatively small round-arched door that gives access to a narrow passage bringing after various changes in level, to the central high courtyard of the fortification. At the north-western corner of the complex rises a square tower, taller than the rest of the structure, culminating in a characteristic crenelated summit. The height of the tower is functional to its defensive aim, exploring the shape of the island, it allows having a good visual control on both the main sides, offering a wide angle of view on the open sea (Fig. 5) as well as on the sea toward Tuscany.

Nowadays the tower appears as a result from a sequence of transformations, with a well recognizable layering of parts from different ages. The conditions of the building are not that good, recently felt fragments of various sizes indicate the urgent need for restoration, while numerous points show structural issues and/or enhanced states of decay that made dangerous a visit or even going close to the walls.



Fig. 5- View to the west from the entrance of the Old Tower (photo by the authors, 2024).

4. Digital survey: 3D TLS

When the digital survey was early planned the options coming from a 3D Terrestrial Laser Scanner Survey (3D TLS) were accurately taken into account, even if it was not that clear how complex and articulated it may be in its interiors, it was preferred to exploit this survey as a valuable integration in terms of speed, accuracy, completion and problem solving in front of a situation that was yet to be explored. A first inspection done on arrival revealed a consistent number of rooms and spaces with a reasonable level of safety for access and survey. The sides facing on the sea and rising up from the cliff on the western direction were out of range, while the accessible areas were too backward to allow a positioning of the scanner unit capable of targeting these sides. Thus, these parts were a task for the drone units, which would take care about completing the documentation of the whole building and surroundings. According to these conditions, the 3DTLS intervention was planned to optimize scanning times and the following automatic alignment of the point cloud.



Fig. 6- The Leica RTC360 unit at work during the survey of the Old Tower (photo by the authors, 2024).

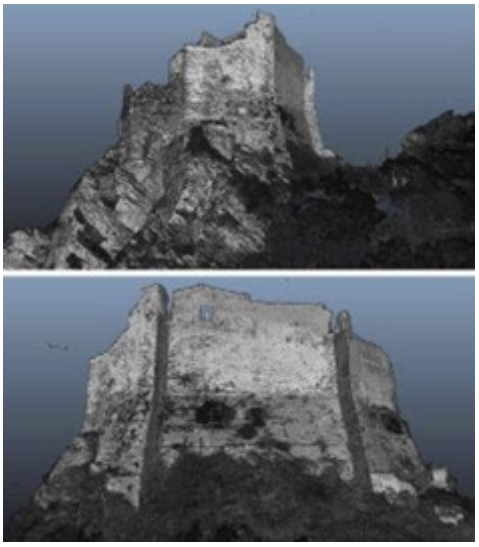


Fig. 7- Results from the TLS survey campaign, external fronts of the tower (graphic elaboration by the authors, 2024).

The scanning plan started from the external street along the cliff, at South of the tower, from a distance of about 60 metres from the building (Fig. 6). Following, the sequence of the scans moved northward along the road and until the path entered the meadow at the inner base of the fortification, with a double passage of scans to

fully cover the main fronts and reduce any possible occlusion (Fig. 7). From there the scanning operations went on entering the first gate, giving access to a side passage, and after a stop on a stunning balcony facing on the sea from the cliff the path entered a narrow staircase and the main body of the tower. After an intermediate side room the passage enters the main courtyard, and from there to the two main buildings still accessible at the ground floor (Fig. 8).



Fig. 8- Results from the TLS survey campaign, interiors of the tower (graphic elaboration by the authors, 2024).

The 3DTLS in use was a Leica Geosystem RTC360, a high performance capable of excellent accuracy up to two millimetres on standard reflective materials, long range scanning (up to 130 metres), high-speed operations (about two minutes for a standard quality scan with panoramic HDR pictures, equal to a projected grid with one point each six millimetres at 10 metres distance), and extended panoramic coverage (360 degree on the horizontal and 300 degree on the vertical axis). With this tool the full coverage of all the accessible parts of the tower was done in the turn of four hours.

5. Digital survey: Photogrammetry

To conduct the aerial photogrammetric survey of the Old Tower on the edge of its steep cliff, a careful planning was crucial. The environment presents challenges, such as strong winds, potential rain, and the threat of bird attacks. Additionally, airspace regulations and weather conditions must be considered before any flight operations. One key factor in planning is determining whether flying is permitted in the area, especially regarding any bans or restrictions. Regarding airspace regulations, operations took place at a maximum flight altitude of 120 meters above ground, avoiding the need for permission from ENAC. Fortunately, the tower's location was just outside the restricted zone of the Gorgona Prison (LI P169 - Gorgona) (Fig. 9).



Fig. 9- Map of the "no flight zone" for UAV units for the Gorgona Island (D-Flights, 2024).



Fig. 10- Results from the UAV survey campaign, external fronts of the tower (photo by the authors, 2024).

In case of need for flying within this zone, permission from the Ministry of Defence and the Department of Prison Administration (DAP) would have been required. Instead, the only action in this regard was notifying the relevant authorities of our operations near the prison. While the intervention was operated in winter, weather conditions were monitored for weeks to identify a suitable day for flying, considering wind and rain risks. A proper day with good cloudy conditions and minimal wind was identified, just before a storm hit the island.

Satellite imagery, specifically Google Earth/Maps, was used to assess the area around the tower and to plan the flight operations. This allowed to design flight plans that would best cover the tower and surrounding area, ensuring both detailed architectural surveys and contextually rich landscape documentation. Drone-based photogrammetry allows for high-precision 3D models through aerial images (Franke, 2014). The flight method is critical, with two primary modes: manual and planned. Each mode has its advantages and is used based on the operational context. Manual flight provides direct control by the pilot, making it ideal for navigating complex environments, adapting to unexpected conditions, and capturing intricate details, particularly on vertical surfaces. However, it requires a skilled operator to ensure proper image overlap and avoid errors. On the other hand, planned or automated flights use specialized software, such as Pix4D Capture, to predefine the drone's path, operational parameters, and coverage area. The drone performs the flight autonomously, ensuring systematic data acquisition over large areas. This mode is especially effective for uniform coverage and repeatability, but it has limitations in complex environments where the drone cannot easily adapt to obstacles. In this case, it was decided to combine both flight modes to optimize results. The planned flights allowed mapping the overall area and then manual flights captured specific details of the tower and its surroundings. This integration brought the benefits from the efficiency of automated flights for broad surveying, while manual flights provided the flexibility needed to document details. The planned flights were operated with a DJI Mavic 2 Pro, equipped with a 20MP Hasselblad camera. This drone was controlled via a Xiaomi Redmi smartphone running Pix4D Capture.



Fig. 11- Photogrammetric processing in EG Reality Capture (graphic elaboration by the authors, 2024).

The planning provided six different pre-programmed flights with varying altitudes, flight shapes, and areas to be covered, with the tower at the centre. The flight plans included rectangular and circular patterns at altitudes ranging from 40 to 50 metres. A total of 437 images were acquired through this method. The manual flights, were operated with a DJI Mini 4 Pro, equipped with a 48MP camera. This drone, controlled via an RC2 radio control, captured 2,097 images documenting the tower's exterior and the rocky outcrop beneath it (Fig. 10). These images complemented the data collected during the planned flights. Aerial photogrammetry was integrated with terrestrial photogrammetry to capture high-resolution details of the tower's façades (Fig. 11). Using a Fujifilm GFX-50S camera, a total of 1,007 photographs were taken to assess material and structural degradation. This approach was essential for detailed documentation of the tower's exterior, complementing the aerial survey data, to ensure consistency and quality (Rodriguez-Navarro et al. 2016).



Fig. 12- VR shooting with Insta360 Pro II (photo by the authors, 2024).

6. Digital survey: VR shooting

The creation of a virtual tour in a particularly impressive and challenging environment such as a rocky ridge overlooking the sea requires meticulous planning in every respect, both technical and logistical. In this case, the use of the Insta360 Pro 2 camera (Fig. 12), a high-quality 360-degree camera, proved to be the ideal choice

to ensure that every detail of the breathtaking landscape and abandoned site was captured with the utmost precision and realism, thus providing an immersive experience. However, capturing the images was not without its difficulties, especially due to the particularly precarious conditions of the site and the environmental challenges it faced. The first step in this process was the assessment of the site, a rocky ridge where wild nature and spectacular sea views are key elements of the overall visual experience. The Insta360 Pro 2 offered the advantage of capturing the highest quality panoramic images, thanks to its ability to take 360-degree photographs at an excellent 8K resolution. This feature proved crucial in rendering the grandeur of the landscape and ensuring complete, uninterrupted coverage, which was essential for the virtual tour, where every corner had to be virtually explorable by the user (Fig. 13). One of the principal difficulties in capturing the photos was the nature of the location: the site has been abandoned for a long time and the Old Tower is suffers a serious decay. The precarious conditions made it difficult to access and navigate the space, but the intention was to capture every single detail to allow the user to fully immerse in that uninhabited reality. Using a stable tripod and the remote control APP on the smartphone allowed optimal handling. From a technical point of view, the choice of using the Insta360 Pro 2 proved crucial in ensuring high image quality, thanks to its ability in handling brightness in high-contrast environments, such as those characterised by areas of direct light and deep shadows. This was crucial, considering the many variations of natural lighting on site.

7. Data treatment

The last phase of the research was the elaboration of all the data collected. The overall 60 scans were converted in E57 format using Leica Geosystem Cyclone Core and then imported and aligned in Autodesk Recap, so to have a easily compliant version of the point cloud with the Autodesk Suite. A full featured E57 and a simplified E57 (with a grid subsampled to eight millimetres) were then produced to most various software and extending the option of reuse in time of the dataset. The images from both aerial and terrestrial surveys were processed using EG Reality Capture software to create a detailed 3D model of the tower. This model, along with the photographic documentation, will serve as a valuable resource for scientific, historical, and restoration purposes, helping with the digital preservation of the tower and providing insights for future conservation efforts. The model's accuracy is crucial for understanding the tower's morphology and condition, ensuring effective restoration and conservation strategies (Rodriguez-Navarro, 2012).



Fig. 13- Equirectangular Panoramas captured with the Insta360 Pro 2 (photo by the authors, 2024).

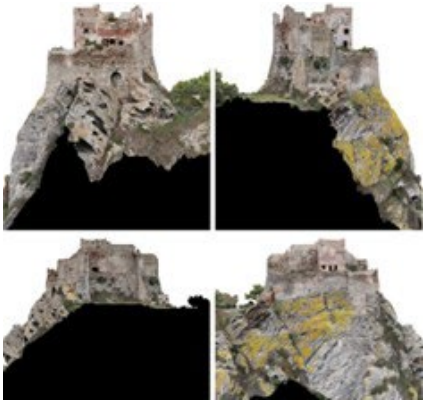


Fig. 14- Fronts of the main body of the tower produced by photogrammetry (graphic elaboration by the authors, 2024).

For the photogrammetric survey, the set of collected images was processed in Reality Capture (1.4.2.117426 RC) from the software house Epic Games. The alignment phase

generated a set of four components, with a main one (2514/2533 pictures) and three secondary, not significant parts. The main component was then used to complete the processing. A model of 423.1 M polygons was generated in 32 hours. Next, the model was simplified and optimized. After high resolution texturing the orthophotos were exported (Figg. 14, 15).



Fig. 15- Detail of the southern front produced by photogrammetry (graphic elaboration by the authors, 2024).

The VR post-production phase followed a consolidated process: the images were assembled at high quality, using Insta360 stitcher software, setting it to avoid visual artefacts and other stitching defects, then they were retouched to remove defects, improve saturation and optimise the white balance to enhance detail visibility., so to make more effective the immersive experience of the virtual tour assembled using the specific software Garden Gnome Pano2VR. The final virtual tour is freely available online from the UNIFI DIDALXR laboratory at the URL www.didalxr.it/Gorgona, it not only connects the single VR scenes, allowing an otherwise impossible visit, but it also links the main graphic materials produced during the present stage of this research on the Old Tower.

8. Conclusions

The end result of this first step of research is an extended dataset that allows the documentation of an extraordinary place, with a natural and wild landscape overlooking the sea, but also a historical environment that tells the story of an abandoned and isolated place. A first action to guarantee a possible digital preservation to a built heritage at risk of being partially lost despite is value. The possibility of virtually exploring the ruins and perceiving the beauty of the landscape and the fragility of a declining environment was made possible by a complex capture process that combined the different types of surveys carried out. Each session helped to capture aspects not only of the majesty of the rocky ridge, but also the unique atmosphere that this place, suspended between sea and land, is able to inspire.

Author's contributions

The digital survey of the Old Tower on the Gorgona Island was operated as personal collaborative research by prof. Giorgio Verdiani, Ylenia Ricci and Stéphane Giraudeau, with the support of the Didalabs system from the University of Florence. The authors want to thank the operators of the Archipelagos Park and the Director of the Prison, Perla Macelloni as well as the personnel on the island, for the precious and kind collaborative spirit in supporting the activities in place.

References

Dotti, L. (2016) *Isola di Gorgona*, EDT, Italia.

Errico, C. & Montanelli, M. (2000) *Gorgona storia dell'isola dal 16° al 19° Secolo*, Il borghetto, Italia.

Franke, U.E. (2014) The global diffusion of unmanned aerial vehicles (UAVs), or "drones". In: Aaronson, M., Aslam, W., Dyson, T., Rauxloh, R., (eds), *Precision Strike Warfare and International Intervention Strategic, Ethico-Legal and Decisional Implications*, Taylor and Francis, UK.

Guarducci, A., Piccardi, M. & Rombai, L. (2013) *Atlante della Toscana tirrenica. Cartografia, storia, paesaggi, architetture*, Debatte Editore, Italia.

Rodriguez Navarro, P. (2012) *La fotogrametría digital automatizada frente a los sistemas basados en sensores activos*, EGA, 17(20), pp. 100-111, Spain.

Rodriguez-Navarro, P., Gil-Piquera, T. & Verdiani, G. (2016), *TOVIVA project: documenting the Spanish defense towers along the Valencian coast with a comprehensive digital methodology*. Electronic Imaging & the Visual Arts. EVA 2016, pp. 102-107, Firenze University Press, Firenze.

Società Geografica Italiana (1878) *Bollettino della Società Geografica Italiana*, Anno XII Volume XV, Serie II- Vol. III, Stabilimento Giuseppe Civelli, Roma, Italia.