

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*



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, Raffaella 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>



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

Bouزيد, 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

Castorao Barba, Angelo. Escuela de Estudios Árabes, CSIC. Spain

Cherradi, Faïssal. 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-Champaign. 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 Toscana. 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 Committee

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, Raffaella 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



COMUNE DI AVERSA

With the patronage of:

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**

CGA
STUDIO ASSOCIATO DI ARCHITETTURA
CARAFA E GUADAGNO



unione
italiana
disegno



SEZIONE CAMPANIA



**ORDINE DEGLI
INGEGNERI**
DELLA PROVINCIA
DI CASERTA



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 Lorente 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
<i>A. Angelini, V. Petraroli</i>	
Tra dongioni normanni ed echi federiciani, il Castello Rufo Ruffo di Scaletta Zanclea (ME). Ipotesi per la comunicazione e la fruizione.....	893
<i>M. Arena, S. Mercurio</i>	
Paesaggi fortificati. Pissignano e i castelli triangolari dell'Appennino Centrale.....	901
<i>F. Bianconi, M. Filippucci, S. Ceccaroni, C. Cerbai, F. Cornacchini, M. Cozzali, M. Meschini, A. Migliosi, C. Mommi, R. Rossi, L. Suvieri</i>	
Studying Marseille's citadel: a multiple perspectives strategy	909
<i>J. Y. Blaise, I. Dudek, A. Pamart, L. Bergerot, I. Fasse</i>	
Sperimentazione di LiDAR a stato solido per comparti urbani fortificati. Il caso studio dei vicoli saraceni di Forio d'Ischia.....	919
<i>M. Campi, V. Cera, M. Falcone</i>	
Il Fratello ritrovato. Ricostruzione virtuale di un forte ottocentesco genovese	927
<i>C. Candito, A. Meloni</i>	
Rilievo 3D e Ricostruzione Digitale della Fortezza di Bergamo: la tenaglia di Sant'Agostino e la cannoniera di San Michele.....	935
<i>A. Cardaci, P. Azzola, A. Versaci</i>	
The defensive system of the fortified citadel of Berat.....	943
<i>R. Casalino, V. Cerroni, M. Mastrapasqua, A. Occhinegro, B. Qosja</i>	
The defensive system of Montecatini Val di Cecina. Digital integrated relief for knowledge and enhancement	949
<i>R. Castiglia, L. Ceccarelli</i>	
Reconstrucción de la muralla virreinal de Lima: Análisis histórico, urbano y tecnológico mediante fotogrametría y GIS.....	957
<i>D. J. Celis-Estrada, P. Rodriguez-Navarro, T. Gil-Piqueras</i>	
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
<i>G. M. Cennamo, F. Tarantino</i>	
Traces of the fortification past from poor ruins: the extreme case of Torre Flavia	973
<i>A. Charalambous, G. Verdiani, A. Pasquali</i>	
Il paesaggio militare del XX secolo a <i>Is Mortorius</i> . La Sardegna tra storia e disegno.....	981
<i>E. Chiavoni, A. Martínez-Medina, N. Paba, A. Pirinu, G. Sanna</i>	
Il Circeo e il sistema di fortificazione di torri sul mare.....	989
<i>M. G. Cianci, D. Calisi, S. Colaceci, S. Botta, M. Schiaroli</i>	
Complesso nuragico di Palmavera ad Alghero. Rilievo e ricostruzione digitale.....	997
<i>E. Cicalò, M. Valentino, A. Fusinetti, A. Sias, D. Simula, N. Corgiolu</i>	

Una iper-mappa del Castello di Ischia a supporto della lettura del contesto antropizzato: nuove ipotesi sulla configurazione di un ambito urbano.....	1005
<i>S. D’Auria, M. I. Pascariello, G. Antuono, P. D’Agostino</i>	
La conoscenza del patrimonio fortificato di Terraloggia in Pago Veiano. Rilievi e prime considerazioni.....	1013
<i>A. De Cicco</i>	
I castelli sul mare di Puglia visti dall’alto	1021
<i>A. Diceglie</i>	
L’Isola d’Elba nella Seconda guerra mondiale. Studi e riflessioni a 80 anni dallo sbarco del 17 giugno 1944	1029
<i>T. Emler, A. Caldaroni</i>	
Torri costiere della Calabria Citra. Il caso della Torre-Isola Talao a Scalea (CS).....	1037
<i>F. Fatta, L. Pizzonia, F. Stilo</i>	
Scan-to-BIM strategies and standards for HBIM purposes. A case study	1045
<i>E. J. Fernández-Tapia, J. A. Benavides-López, J. A. Barrera-Vera</i>	
Torre di Santa Maria dell’Alto, Nardò (LE): studio architettonico per la conoscenza e la conservazione.....	1053
<i>I. Ferrari, F. Giuri, A. Giuri</i>	
Multi-scalar digital approaches for heritage knowledge. Integrated documentation strategies of the Morella fortifications in the cultural route of Jaime I.....	1061
<i>F. Galasso, F. Picchio</i>	
I “torresini da polvere” della Serenissima: storia, rilievo e ricostruzione digitale di un’architettura militare perduta	1069
<i>L. Galeazzo, G. Dellabartola, F. Panarotto</i>	
Forte San Giovanni: dal rilievo digitale, all’accessibilità culturale, passando per la modellazione e ricostruzione BIM delle fasi storiche del sito.....	1079
<i>R. M. Giannelli, M. Afonchanka, M. Codeglia</i>	
Erice: la cinta muraria, le porte e i percorsi extra-moenia su Monte San Giuliano. Rilievo, analisi grafica e interpretazioni digitali.....	1087
<i>G. Girgenti, F. Avella, D. G. Abbate</i>	
Conoscenza e divulgazione della Torre di Cala Moresca all’Argentario. Dal rilievo dello stato di fatto all’ipotesi ricostruttiva	1093
<i>F. Lanfranchi, P. Barlozzini, M. Fasolo, E. Guarino</i>	
Connessioni ritrovate. La rete delle torri della Calabria Ultra: mutui sguardi tra passato e presente....	1101
<i>N. La Vitola, S. Mollica</i>	
Esperienze digitali immersive per il patrimonio culturale: il caso studio del Forte di Fortezza e dei suoi armamenti.....	1109
<i>A. Luigini, G. Nicastro, M. Ceracchi, M. Menendez-Blanco, R. Cuel, F. Condorelli</i>	
The Montalbano Fortress, an updated report about a lost fortification in the Gulf of La Spezia	1119
<i>L. Marinaro, G. Verdiani</i>	

Verso un glossario grafico castellano. Rilievo e catalogazione degli elementi tipologici delle architetture fortificate in Umbria.....	1127
<i>V. Menchetelli, F. Cotana, E. Dottorini</i>	
Análisis territorial y caracterización tipológica-constructiva de la torre del Villar de Oria (Almería) mediante modelos digitales	1135
<i>J. Moya-Muñoz</i>	
Documentare i caratteri dei sistemi fortificati in terra cruda dello Ksar di Tamnougalt in Marocco	1143
<i>G. Pancani, A. Pettineo</i>	
Surveying and LiDAR scanning of fortification on Goriška Gradina site near Šibenik.....	1151
<i>J. Pavić, T. Zojčeski, A. Nakić</i>	
Su alcune chiese medievali inglobate in strutture fortificate. I casi di Trani, Bari e Monopoli in Puglia	1157
<i>P. Perfido, N. Rossi, S. Narracci</i>	
Digital dialogues between Military Architecture Treatises. The case of “Le Fortificazioni...” by Bonaiuto Lorini and “La Fortificatione guardia difesa et espugnatione delle fortezze...” by Francesco Tensini.....	1165
<i>P. Rechichi, V. Miele, M. G. Bevilacqua</i>	
Le fortificazioni di Rutigliano: studio e ricostruzione tramite il rilievo digitale	1173
<i>N. Rossi</i>	
San Benedetto alla Canapina: una “chiesa-torre” come cerniera verticale tra la città vecchia e la città nuova.....	1181
<i>R. Rossi, F. Bianconi, M. Filippucci</i>	
Survey experiences of city walls of Alessandria and Lucca: an overview	1189
<i>M. Russo, M. Ascutti, G. Flenghi, M. Casciola, P. Bertoncini Sabatini, G. Caroti</i>	
Ontological definition of Information Classes for Early Modern fortified heritage	1197
<i>M. Saccucci, A. Pelliccio, A. Giordano</i>	
Multi-objective VR-based strategy for preservation and promotion of cultural heritage.....	1205
<i>M. Scorpio, A. Rosato, M. Masullo, D. Jacazzi, R. Serraglio, V. Cirillo, D. Cermola, G. Rea, R. Iaderosa, S. Iachini, G. Ciampi</i>	
Parametric variations of the “delineazioni seconde delle fortezze, e dell’ortografia loro”, from the Trattato di Fortificatione by Guarini.....	1213
<i>R. Spallone, M. Vitali, F. Natta, E. Pupi</i>	
Le fortificazioni urbane di Alghero. Documentazione carto-grafica dell’evoluzione storica.....	1221
<i>M. Valentino, N. Corgiolu</i>	
Out of time but in the right place: a first report about the “old tower” on the Gorgona’s island.....	1229
<i>G. Verdiani, Y. Ricci, S. Giraudeau</i>	

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

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 sicurezza 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 dichiarate*". 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 lazzeretti, 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 bombe - 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

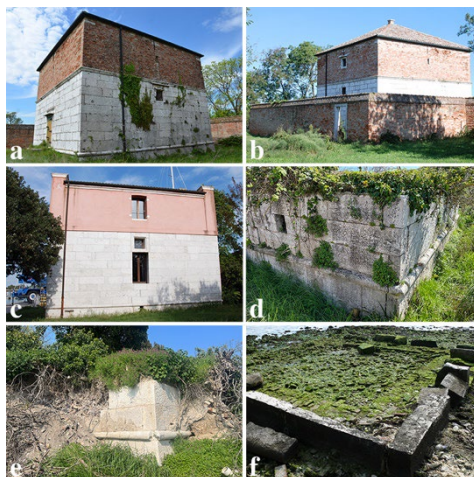


Fig. 2- Le polveriere presso: Lazzaretto Nuovo (a-b), Certosa (c), Santo Spirito (d), San Giorgio in Alga (e) e San Secondo (f) (foto degli autori, 2024).

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 protti 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 morfodimensionali, 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

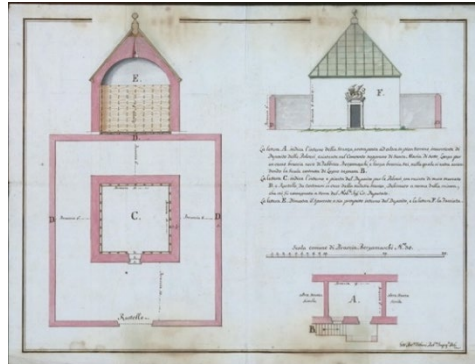


Fig. 3- Rilievo della polveriera presso Santa Maria di Sotto a Bergamo, 1776 (ASVe, *Patroni e provveditori all'arsenal*, b. 562, dis. 3)

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 connessioni 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 georeferita 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 engineering* (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

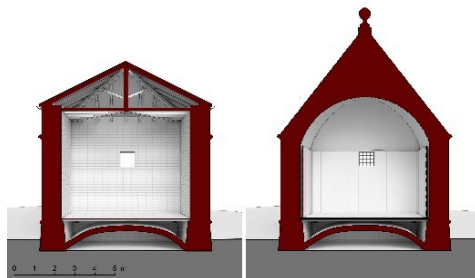


Fig. 6- Spaccato prospettico dell'edificio attuale e ipotesi ricostruttiva delle parti originarie (elaborazione degli autori, 2024).

documentazione storica e sulla comparazione con strutture simili 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).

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.

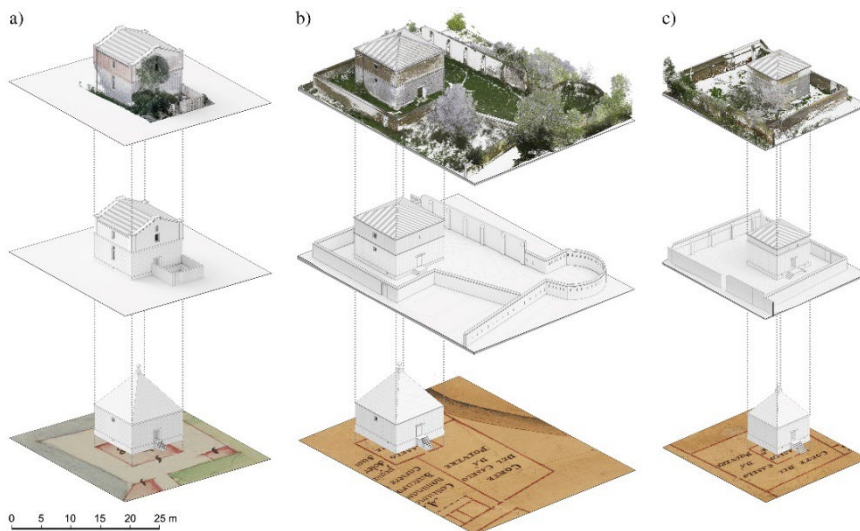


Fig. 5- Rappresentazione dei caselli della Certosa (a) e del Lazzaretto Nuovo est (b) e ovest (c) (elaborazione grafica autori, 2024).

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).

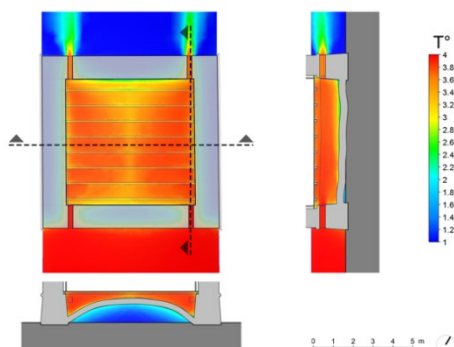


Fig. 7- Simulazione fluidodinamica del sistema di ventilazione (temperatura in gradi Celsius) (elaborazione grafica degli autori, 2024).

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

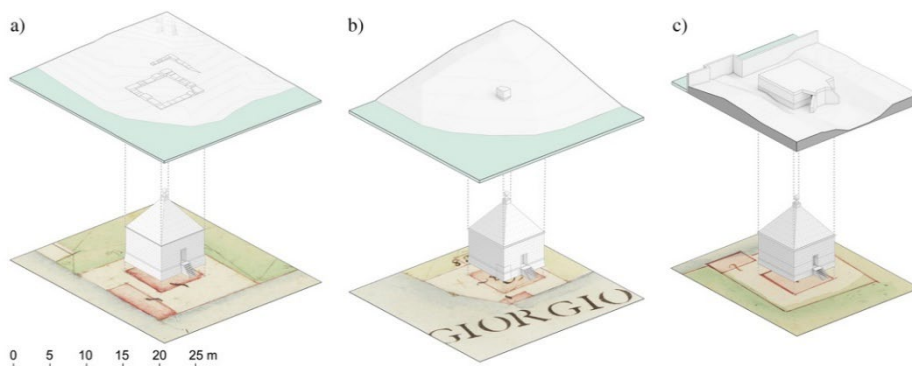


Fig. 8- Ricostruzione 3D delle polveriere di San Secondo (a), San Giorgio in Alga (b) e Santo Spirito (c) (elaborazione grafica degli autori, 2024).

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 GIS, utile a determinare la loro collocazione spaziale, il dimensionamento e la posizione della porta di ingresso (10). La

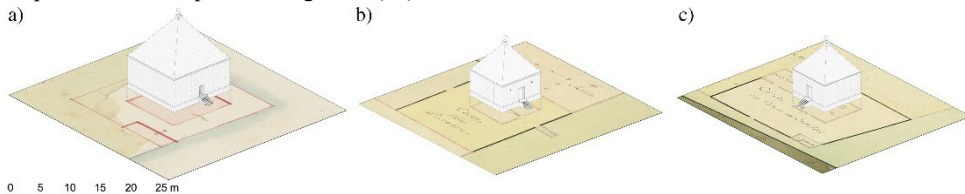


Fig. 9- Ricostruzione 3D delle polveriere di San Clemente (a), Lazzaretto Vecchio lato est (b) e ovest (c) (elaborazione degli autori, 2024).

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

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 protti 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).

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.
- Pancierà, W. (2005) Il governo delle artiglierie. Tecnologia bellica e istituzioni veneziane nel secondo Cinquecento. Milano, F. Angeli.

(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.

- 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.

