

20 DEFENSIVE ARCHITECTURE OF THE MEDITERRANEAN

Ornella ZERLENGA, Vincenzo CIRILLO (Eds.)



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

Castro 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

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 Loreense 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. Asciti, 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>	

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

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 (installazioni, 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 alzata – 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 cura di S.A.B.E.).

con un focus sulle armi e all'artiglieria cinquecentesca. Il progetto si è posto l'obiettivo 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 diminuire 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.).

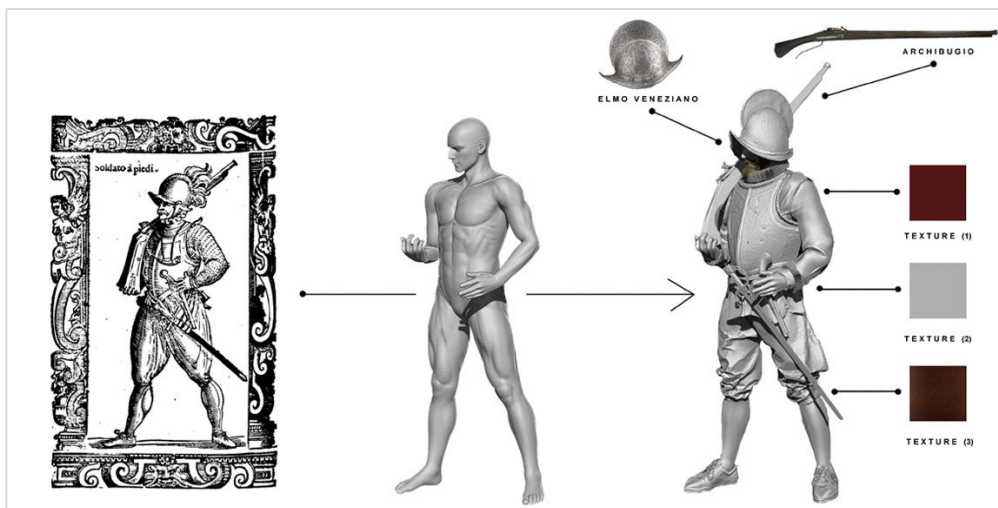


Fig. 7- La modellazione dei soldati dalle studio delle fonti archivistiche (elaborazione grafica di S.A.B.E.)

e rappresentativi della scena (fig. 9); sono state scelti le inquadrature in modo da enfatizzare i particolari delle architetture e le pose dei personaggi. In post-produzione sono stati impiegati 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.).

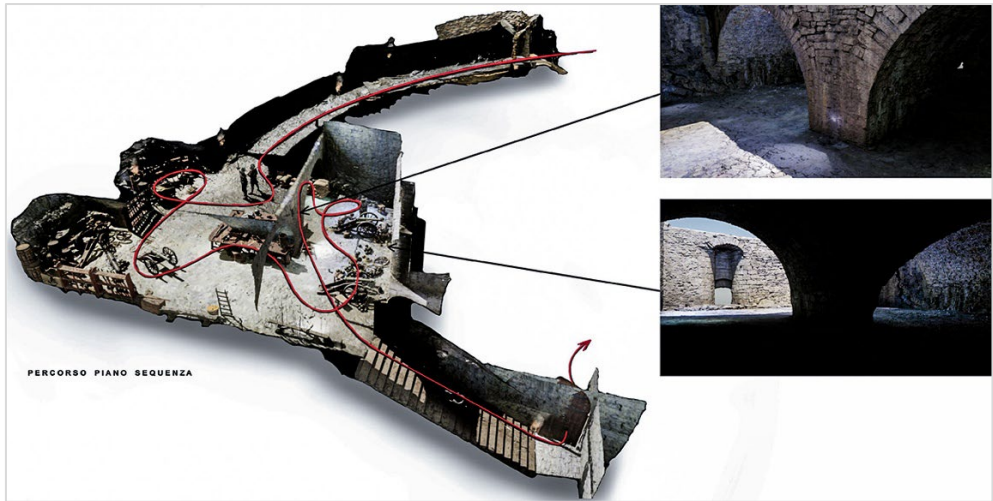


Fig. 9- La costruzione scenografica e il movimento della camera per il *plan-séquence* (elaborazione grafica di S.A.B.E.).

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 [ric conducendo] 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 obiettivo 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.