

15 DEFENSIVE ARCHITECTURE OF THE MEDITERRANEAN

Marco Giorgio BEVILACQUA, Denise ULIVIERI (Eds.)



DEFENSIVE ARCHITECTURE OF THE MEDITERRANEAN
Vol. XV

PROCEEDINGS of the International Conference on Fortifications of the Mediterranean Coast
FORTMED 2023

DEFENSIVE ARCHITECTURE OF THE MEDITERRANEAN
Vol. XV

Editors
Marco Giorgio Bevilacqua, Denise Ulivieri
Università di Pisa



International conference on fortifications of the Mediterranean coast FORTMED 2023, 6. <2023 ; Pisa>
Defensive architecture of the Mediterranean, vol. XIII-XV : proceedings of the International conference on fortifications of the Mediterranean coast FORTMED 2023 : Pisa, 23, 24 and 25 March 2023 / editors Marco Giorgio Bevilacqua, Denise Olivieri. - 3 volumi. - Pisa : Pisa university press, 2023.

Contiene:

[Vol. 1]: Defensive architecture of the Mediterranean, vol. XIII / editors Marco Giorgio Bevilacqua, Denise Olivieri

[Vol. 2]: Defensive architecture of the Mediterranean, vol. XIV / editors Marco Giorgio Bevilacqua, Denise Olivieri

[Vol. 3]: Defensive architecture of the Mediterranean, vol. XV / editors Marco Giorgio Bevilacqua, Denise Olivieri

725.18091638 (23.)

I. Bevilacqua, Marco Giorgio II. Olivieri, Denise I. Architettura militare - Fortificazioni - Mar Mediterraneo - Coste - Congressi

CIP a cura del Sistema bibliotecario dell'Università di Pisa

UPI

UNIVERSITY
PRESS ITALIANE

Membro Coordinamento

University Press Italiane

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 FORTMED2023_Pisa

© editors: Marco Giorgio Bevilacqua, Denise Olivieri

© editorial team: Iole Branca, Valeria Croce, Laura Marchionne, Giammarco Montalbano, Piergiuseppe Rechichi

© cover picture: Giammarco Montalbano, Piergiuseppe Rechichi

© papers: the authors

© publishers: Pisa University Press (CIDIC), edUPV (Universitat Politècnica de València)

Published with the contribution of the University of Pisa

© Copyright 2023

Pisa University Press

Polo editoriale - Centro per l'innovazione e la diffusione della cultura

Università di Pisa

Piazza Torricelli 4 · 56126 Pisa

P. IVA 00286820501 · Codice Fiscale 80003670504

Tel. +39 050 2212056 · Fax +39 050 2212945

E-mail press@unipi.it · PEC cidic@pec.unipi.it

www.pisauniversitypress.it

ISBN 978-88-3339-794-8 (three-volume collection)

ISBN 978-88-3339-797-9 (vol. 15 and electronic version)

© Copyright edUPV (Universitat Politècnica de València) 2023

ISBN: 978-84-1396-125-5 (three-volume collection)

ISBN: 978-84-1396-129-3 (electronic version)

ISBN: 978-84-1396-128-6 (vol. 15)

PROCEEDINGS of the International Conference on Fortifications of the Mediterranean Coast FORTMED 2023

Pisa, 23, 24 and 25 March 2023

L'opera è rilasciata nei termini della licenza Creative Commons: Attribuzione - Non commerciale - Non opere derivate 4.0 Internazionale (CC BY-NC-ND 4.0).

Legal Code: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.it>



L'Editore resta a disposizione degli aventi diritto con i quali non è stato possibile comunicare, per le eventuali omissioni o richieste di soggetti o enti che possano vantare dimostrati diritti sulle immagini riprodotte.

L'opera è disponibile in modalità Open Access a questo link: www.pisauniversitypress.it

Organization and committees

Organizing Committee

Chairs:

Marco Giorgio Bevilacqua. Università di Pisa

Denise Ulivieri. Università di Pisa

Secretary:

Lucia Giorgetti. Università di Pisa

Stefania Landi. Università di Pisa

Members:

Iole Branca. Università di Pisa

Laura Marchionne. Università di Firenze

Massimo Casalini. Università di Pisa

Valeria Croce. Università di Pisa

Andrea Crudeli. Università di Pisa

Monica Petternella. Università di Pisa

Piergiuseppe Rechichi. Università di Pisa

Giammarco Montalbano. Università di Pisa

Scientific Committee

Almagro Gorbea, Antonio. Real Academia de Bellas Artes de San Fernando. 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

Castrorao Barba, Angelo. The Polish Academy of Sciences, Institute of Archaeology and Ethnology.

Poland – Università degli Studi di Palermo. Italy

Croce, Valeria. Università di Pisa. Italy

Cherradi, Faissal. Ministère de la Culture du Royaume du Maroc. Morocco

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

Dameri, Annalisa. Politecnico di Torino. Italy

Di Turi, Silvia. ITC-CNR. Italy

Eppich, Rand. Universidad Politécnica de Madrid. Spain

Fairchild Ruggles, Dorothy. University of Illinois at Urbana-Champaign. USA

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
Giorgetti, Lucia. Università di Pisa. Italy
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
Landi, Stefania. Università di Pisa. Italy
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
Maurici, Ferdinando. Regione Siciliana-Assessorato Beni Culturali. Italy
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
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
Santiago Zaragoza, Juan Manuel. Universidad de Granada. Spain
Sarr Marroco, Bilal. Universidad de Granada. Spain
Spallone, Roberta. Politecnico di Torino. Italy
Toscano, Maurizio. Universidad de Granada. Spain
Ulivieri, Denise. Università di Pisa. Italy
Varela Gomes, Rosa. Universidade Nova de Lisboa. Portugal
Verdiani, Giorgio. Università degli Studi di Firenze. Italy
Vitali, Marco. Politecnico di Torino. Italy
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. Università degli Studi di Firenze
Teresa Gil Piqueras. Secretary of FORTMED. Universitat Politècnica de València
Roberta Spallone. FORTMED advisor. Politecnico di Torino
Julio Navarro Palazón. LAAC, Escuela de Estudios Árabes, CSIC
Luis José García Pulido. LAAC, Escuela de Estudios Árabes, CSIC
Ángel Benigno González Avilés. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Escuela Politécnica Superior Universidad de Alicante

Organized by:



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

**With the collaboration
and the contribution of:**



**With the patronage
and the contribution of:**



With the patronage of:



Partnership:



With the patronage of:



Table of contents

Preface..... XV

Contributions

CHARACTERIZATION OF GEOMATERIALS

Stone materials and construction technology in the Piscinni tower (South-western Sardinia, Italy):
archaeometric investigations and digital survey..... 941
S. Columbu, D. Fancello, G. Verdiani

Mannu tower (Central-western Sardinia, Italy): from petrographic, geomorphological investigations
and digital survey to intervention proposal 949
S. Columbu, R. T. Melis, P. E. Orrù, V. Demurtas, D. Fancello, G. Verdiani, G. Deiana

The Rocca Vecchia fortress in the Gorgona island (Tuscany, Italy): building materials and
conservation issues 957
F. Fratini, S. Rescic, D. Pittaluga, F. De Vita

The building materials of the Rocca della Verruca fortress (Tuscany-Italy)..... 965
G. Pancani, A. Arrighetti, F. Fratini, S. Rescic

Caracterización arqueométrica de morteros históricos en las torres nazaries del reino de Granada 973
L. Pérez-Lomas, J. Ruiz-Jaramillo, L. J. García-Pulido

Fortezza medicea di Volterra: progetto della ‘messa in sicurezza’ (restauro e recupero) del
camminamento di ronda e degli elementi architettonici a sporgere -‘beccatelli’- del lato nord della
cortina perimetrale (1472/1474)..... 981
D. Taddei, C. Calvani, A. Taddei, A. Martini

DIGITAL HERITAGE

Application of new survey technologies for 3D restitution and the architectural study of the Spanish
fort Gourraya in Bejaia (Algeria) 991
N. Abderrahim Mahindad, S. Haoui Bensaada

The Fort of the Holy Savior in Messina. Historical cartography and digital surveys..... 997
A. Altadonna, G. Martello, A. Nastasi, F. Todesco

Drawing and interactive architectural walkthrough to communicate complex spaces..... 1005
A. Basso, A. Meschini, M. Russo

Studio preliminare sul complesso fortificato di Trogir (Croazia) basato su un approccio multi-
disciplinare 1013
S. Brizzi, M. Ricciarini, S. Bertocci, C. Riminesi

Fruizione digitale dei paesaggi perduti. Il sistema fortificato di Palazzo d'Avalos a Procida.....	1021
<i>P. D'Agostino, G. Antuono, A. Maglio, A. Carannante</i>	
Digital survey and 3D virtual reconstruction for mapping historical phases and urban integration of the fortified gates in the city of Pavia, Italy.....	1029
<i>R. De Marco, F. Galasso</i>	
Fortificación y control estratégico del Camino de la Raya en el s.XV: análisis geoespacial del dominio visual de un territorio de frontera	1037
<i>J.J. Fondevilla Aparicio</i>	
Il ruolo del rilievo integrato nell'interpretazione dell'edificio storico: Rocca di Sala a Pietrasanta (Lu)	1047
<i>G. Frosini, L. Parodi, A. Di Paola, S. Vecchio, S. Garuglieri, B. Verona</i>	
Levantamiento digital y modelización 3D de la Torre Rubia, del siglo XVI en Molinos Marfagones (Cartagena, Región de Murcia)	1055
<i>J. García-León, P. E. Collado-Espejo, P. J. Martínez-Serrano</i>	
Levantamiento fotogramétrico de las atalayas medievales del Altiplano más septentrional de Granada.....	1063
<i>L. J. García-Pulido, J. Ruiz-Jaramillo</i>	
Taranto underground: digital survey and virtual exploration of the hypogea along the Aragonese walls.....	1073
<i>G. Germanà, G. Verdiani, S. Giraudeau</i>	
Digital artefacts for the knowledge and documentation of the fortified heritage. The Castle of Torres Vedras in Portugal	1081
<i>F. Guerriero</i>	
Castelnuovo: una fortezza dimenticata.....	1089
<i>C. Monteleone, F. Panarotto</i>	
Le rocce raccontano: la cripta, le prigioni e i sotterranei del castello di Otranto. Dal rilievo al modello di fruizione virtuale.....	1097
<i>G. Muscatello, C. Mitello</i>	
Rilievo architettonico remote sensing della Fortezza della Verruca sui Monti Pisani, Toscana (Italia).....	1105
<i>G. Pancani, M. Bigongiari</i>	
Analysis and definition of intervention strategies for the conservation of the boundary walls in Verona.....	1113
<i>S. Parrinello, R. De Marco, E. Doria</i>	
Digitalizzare, ricostruire e fruire il Castello di Montorio. Un tassello nella definizione della rotta culturale dei castelli scaligeri.....	1123
<i>F. Picchio, A. Pettineo</i>	
Levantamiento gráfico integral para el análisis de la Fortaleza de Santa Ana en Oliva (Valencia).....	1131
<i>P. Rodríguez-Navarro, T. Gil Piqueras, A. Ruggieri</i>	

La fotogrametria SfM mediante UAS para la documentación de las fortificaciones de la Alpujarra (Granada y Almería, España)	1139
<i>J. Rouco Collazo, J. A. Benavides López</i>	
A 3D integrated survey of fortified architectures: the medieval Canossa castle.....	1147
<i>M. Russo, F. Panarotto, G. Flenghi, E. Rossi, A. Pellegrinelli</i>	
Architetture fortificate in Istria: analisi, restituzione BIM e comunicazione avanzata di due forti a Pola	1155
<i>A. Sdegno, V. Riavis, P. Bašić</i>	
Elementi fortificati dal territorio di Palmi e Seminara: la cittadella di Carpoli	1163
<i>F. Stilo, L. Pizzonia</i>	
Documentation, understanding and enhancement of Cultural Heritage through integrated digital survey: Ínsua fort in Caminha (Portugal)	1171
<i>R. Volzone, P. Becherini, A. Cottini</i>	
CULTURE AND MANAGEMENT	
L'antico castello di Alba: studi per la conservazione e la valorizzazione di un sito archeologico.....	1181
<i>F. Ambrogio</i>	
Culture, tourism and fortifications-Educational centre on St. John's Fortress in Šibenik, Croatia	1189
<i>G. Barišić Bačelić, I. Lučev</i>	
Bunker landscapes. From traces of a traumatic past to key elements in the citizen identity	1195
<i>G. Cherchi, D. R. Fiorino, M. R. Pais, M. S. Pirisino</i>	
Fortified city's heritage and urban archaeology. The Neapolitan fortified port town through the archaeological discoveries	1203
<i>T. Colletta</i>	
Da struttura fortificata a centro per la comunità: il caso del castello di Hylton a Sunderland (UK)	1211
<i>D. Dabbene</i>	
Identification and Prioritization of Conservation Measures at the Castle of Gjirokastra, Albania	1219
<i>R. Eppich, E. Mamani, L. Hadzic, J. Alonso, M. Núñez García, I. Martínez Cuart</i>	
Andar per castelli: Calendasco lungo la via Francigena	1227
<i>M. M. Grisoni, N. Badan, D. Zanon</i>	
Le mura invisibili.....	1237
<i>M. Malagugini, S. Saj</i>	
Adaptive Reuse for Fortifications as a Strategy towards Conservation and Urban Regeneration. The case of 'Canto di Stampace' in Pisa	1245
<i>L. Marchionne, E. Parrini</i>	
La Cittadella di Alessandria, 'Faro' di pace in Europa	1253
<i>A. Marotta</i>	

Identidad y memoria: nuevos enfoques para la gestión de los castillos en la provincia de Alicante (España)	1261
<i>J. A. Mira Rico, G. Jover Roig</i>	
Recupero dei camminamenti in quota delle mura urbane limitrofe al Giardino Scotto di Pisa.....	1269
<i>M. Pierotti, M. Guerrazzi, G. Masiello</i>	
The Military Heritage and its natural environment of the Veracruz-Mexico Royal Road	1277
<i>D. Pineda Campos</i>	
La Real Piazza di Pescara: prospettive per la ricerca di un'identità urbana	1285
<i>M. Pirro</i>	
Torri nel paesaggio urbano. La 'turrita' Forio d'Ischia tra alterazioni e possibilità di valorizzazione delle architetture fortificate.....	1291
<i>A. Ragosta</i>	
Architetture fortificate e gestione dell'emergenza post-sisma: nuovi possibili strumenti per il rilievo del danno.....	1299
<i>E. Zanazzi</i>	
MISCELLANY	
Revitalization of tower fort Fort Monte Grosso and the restoration of the fortified path of Pula	1309
<i>P. Boljunčić</i>	
Il progetto incompiuto di Massimo Carmassi per il restauro della Fortezza Nuova di Pisa.....	1317
<i>A. Crudeli</i>	
The Castle of Cleto in Calabria. Singular characteristics of a fortress.....	1325
<i>C. Gattuso, D. Gattuso</i>	
Strategie di conoscenza e di progetto: un nuovo percorso urbano per il borgo storico di Massa Marittima	1331
<i>E. Giomini, S. Pieri, M. De Vita</i>	
Esplorazione visuale del dibattito intorno al secondo fianco	1339
<i>M. Pavignano</i>	

Architetture fortificate in Istria: analisi, restituzione BIM e comunicazione avanzata di due forti a Pola

Alberto Sdegno^a, Veronica Riavis^b, Petar Bašić^c

^a Università degli Studi di Udine, Udine, Italia, alberto.sdegno@uniud.it, ^b Università degli Studi di Udine, Udine, Italia, veronica.riavis@uniud.it, ^c Pola, Croazia, petar.basic@hotmail.com

Abstract

The defensive system of Pola and the Southern Istria consists of about thirty fortifications built during the XIX century by the Habsburg Empire, to realize and protect the arsenal in those territories.

The research aims to outline the historical reasons and the constructive motivations of these fortresses characterized by different types of geometric plan -Polesana tower, segmented Polesana tower and polygonal fortress *Feldwerk*- with their own constructive logic, functions, and inner distribution. Many of these, following the directives of the general urban plan of Pula of 1966, were destroyed, or abandoned. This is due to the logic of the *damnatio Memoriae* that involves several buildings built before 1947.

Fort Bourguignon and Fort San Giorgio, built around 1850 in Pola, are two circular fortifications made of Istrian stone with an inner courtyard, covered for camouflage reasons by ground and grass: a type of structures that quickly became obsolete due to the rapid development of military engineering.

The studio deals with these forts and deepens them through the informative modeling of the architecture based on archival materials and surveys, to obtain a graphic restitution and to integrate the photographic documentation. The aim is also to enhance these buildings not protected by safeguard policies, to disseminate their history through the new technologies such as rapid prototyping and virtual reality.

Keywords: Pola, fortifications, survey, advanced representation.

1. Introduzione

Molte fortificazioni di Pola sono successive alla caduta di Napoleone Bonaparte alla Battaglia delle Nazioni (1813). La presa di quei territori da parte dell'Impero austriaco garantì un'importante fase di sviluppo avvenuto con la volontà di istituire e potenziare il porto e l'arsenale della città istriana; una condizione favorevole che perdurò per oltre un secolo, fino alla fine del Primo Conflitto Mondiale.

Con il Congresso di Vienna (1815) l'Istria entrò a far parte della monarchia asburgica, iniziando una fase di eccezionale sviluppo (Marsetić, 2012: pp. 483-484). La posizione strategica e il potenziale militare furono fin da subito riconosciuti dalle autorità austriache che trasformarono l'immagine di Pola e la resero una potenza marittima fra le più protette dalla monarchia asburgica fino al 1918.

Nel 1816 Francesco I d'Austria (1768-1835) visitò Pola accompagnato dall'architetto Pietro Nobile (1776-1854). Allora l'imperatore si interessò inizialmente al consolidamento e alla protezione dei resti romani, per poi attivare azioni di riqualifica e l'erezione di una ben più articolata rete difensiva. Infatti, già nei piani catastali del 1820 si rintracciano la fortezza Marie Louise, la batteria Val di Zonchi, e la batteria sull'insenatura di S. Pietro. Una seconda fase di potenziamento riguardò il reimpiego di preesistenti fortezze venete e francesi e l'espansione con nuovi forti nell'entroterra e sulle isole Brioni.

Nel piano generale di difesa stilato nel 1827 Pola fu scelta come stazione marittima militare. Da allora fu avviata la realizzazione di fortezze circolari di diametro di 24-25,5 metri e di torri a

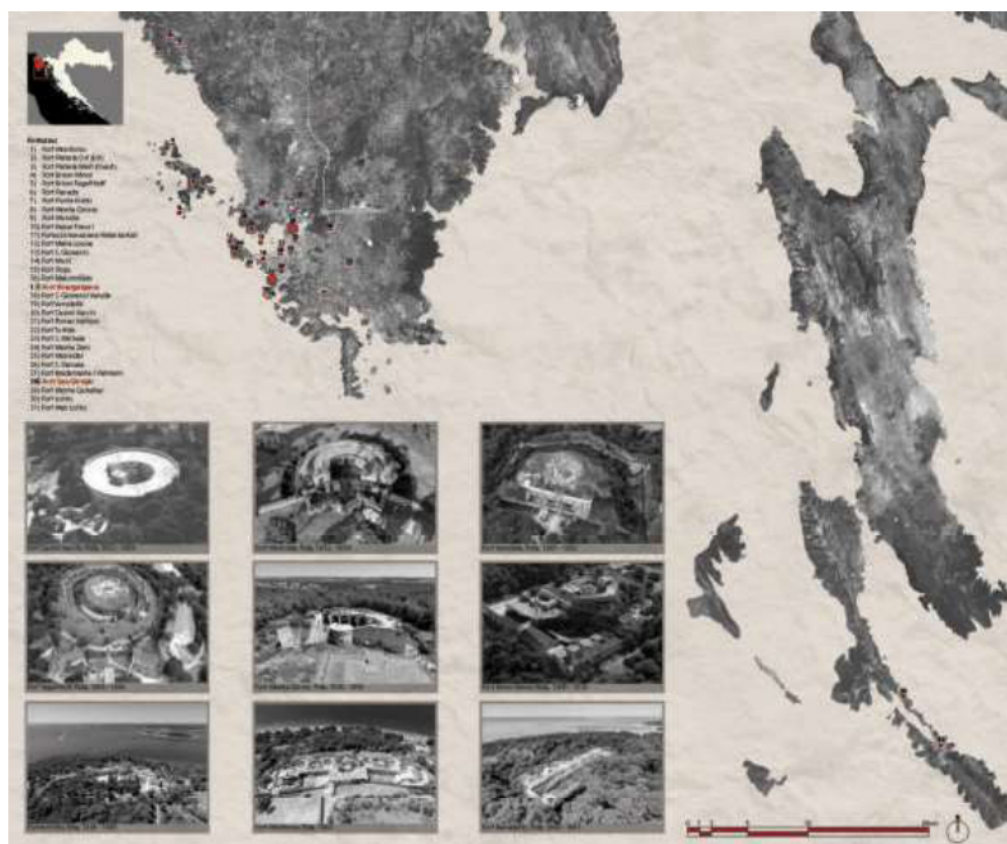


Fig. 1 - Principali fortificazioni asburgiche nella penisola istriana (elaborazione grafica di Petar Bašić)

martello costruite nella roccia viva, atte a sopperire alle debolezze dei forti antecedenti facilmente espugnabili per via sotterranea (Tatić, 2021).

Nel 1832, l'imperatore Francesco I tornò a Pola per progettare l'espansione del porto e per avviare la costruzione di nuovi fortificati.

Tuttavia, fino al 1850 - anno della visita dell'imperatore Francesco Giuseppe I (1830-1916) -, il sistema difensivo della baia progredì lentamente (Marsetić, 2012: pp. 484-485). Tra il 1850 e il 1875 accelerarono invece i piani e le operazioni di costruzione di nuovi forti, occasione che arricchì Pola di competenze e professionalità. Furono quindi eretti quattordici nuovi forti circolari/segmentati, mentre le strutture più vecchie furono meglio protette e armate. Tale condizione fu imposta soprattutto dal rapido sviluppo della tecnologia bellica e dall'impiego di armi più devastanti. L'invenzione della granata riempita di esplosivo, ad esempio, fu una delle ragioni di più radicale cambiamento dell'intero

sistema difensivo alla Prima Guerra Mondiale. Infatti, i forti circolari divennero inefficaci e furono sostituiti da più moderne strutture poligonali scavate nel terreno, che consentivano l'impiego di armi a maggiore portata (Isgrò, 2020: pp. 626-627).

Nel 1915 Pola era difesa da tre cinte fortificate unite da trincee, campi minati intorno al porto, corridoi sotterranei, batterie e quattro aeroporti: un "forte territoriale che occupava l'area del Canale di Leme fino alla baia di Arsia e al capo Premantura e le fortificazioni di Lussinpiccolo" (Krizmanić, 2009: p. 101).

Le fortezze conferivano alla città un coeso potere spaziale, analogo a quello degli antichi bastioni medievali: segni indelebili nell'immagine della città e nella sua concezione urbana, ma anche importanti punti di riferimento nel paesaggio per la loro posizione strategica in cima alle alture. I forti austriaci d'Istria erano completamente subordinati alla strategia militare, alla tecnologia bellica e

alle potenzialità distruttive dell'artiglieria. In queste architetture c'era la massima rinuncia alla decorazione - se non minimi dettagli secondo lo spirito storicista -, dove la pura geometria rappresentava il più alto ornamento e conferiva una perfetta integrazione di forma e funzione. Progettati anche per fini abitativi, i forti istriani adempivano a ruoli difensivi da e verso il mare o l'entroterra.

Nel complesso possiamo asserire che a Pola e nei territori limitrofi furono erette alcune autentiche opere difensive in pietra, ultimi esempi dell'architettura ormai scomparsa delle fortificazioni. I forti polesi, infatti, costituiscono per loro natura un patrimonio storico importante dell'Istria del XIX e dell'inizio XX secolo, che meritano maggiore studio e valorizzazione.

2. Tipologie di fortificazione a Pola

Il moderno sistema difensivo di Pola, costruito fuori dai confini cittadini già dalla prima metà del XIX secolo, riprende uno stile architettonico militare di tradizione rinascimentale e barocca. I caratteri evocano inoltre i lavori del Cinquecento tedesco, come il forte circolare rinascimentale immaginato da Dürer (1527), e l'influenza della scuola svedese che ispirò Marc-René de Montalembert (1776-1784) nel concepire le sue fortezze (Krizmanić, 2009: pp. 34-48).

Durante il dominio austriaco, in quell'area furono eretti oltre 30 forti di vario impianto planimetrico, le cui caratteristiche erano strettamente legate al periodo storico e, come chiarito precedentemente, al contrasto di specifici modi e strumenti di attacco (Fig. 1). Essi possono essere classificati in: circolari (Torre Polesana), semicircolari (Torre Polesana segmentata, a ferro di cavallo) e poligonali (*Feldwerk*) (Fig. 2).

L'impianto circolare - simile alle fortificazioni di tipologia Massimiliana - costituisce un terzo dell'intero sistema difensivo di Pola e fu il più adottato nella seconda metà del XIX secolo (Fig. 3).

Le torri Polesane a pianta circolare contenevano un cortile interno con una vera e propria pozzo. Il complesso si suddivideva in due anelli - esterno ed interno - con funzioni rispettivamente militari e abitative. Le torri Polesane raggiungevano in genere i due piani fuori terra e la loro copertura era praticabile. Posizionate su alture per attaccare a distanza, esse erano solite circondate da fossati secchi privi di acqua. Ipogeo e al piano terra, l'anello difensivo conteneva una serie di

stanze con feritoie che miravano in direzione dei fossati secchi. Al piano superiore si trovavano invece le casematte con i cannoni.

L'impianto delle torri Polesane segmentate, invece, richiamava la forma a ferro di cavallo. Le scale erano posizionate agli estremi del diametro e, a differenza del modello precedente, l'ingresso avveniva al primo piano, mentre le varie funzioni si svolgevano al livello seminterrato.

Le fortezze poligonali di tipo *Feldwerk*, infine, non avevano una forma definita e universale. Anch'esse racchiudevano un cortile, ma il loro sviluppo murario era spesso di andamento spezzato per meglio adattarsi alle circostanze belliche e ambientali. Esse sorsero con l'esigenza di sostituire i forti circolari ormai obsoleti, poco resistenti ai più devastanti proiettili utilizzati dal 1880 in poi. Innovazioni belliche che richiesero inoltre l'introduzione di materiali più resistenti, come il calcestruzzo e l'acciaio.

Le fortificazioni furono realizzate in pietra locale fino ad inizio '900, la cui struttura a setti poteva raggiungere anche i 3 m di spessore: i blocchi lisci o bocciaardati componevano file orizzontali di varie dimensioni, mentre archi e stipiti a cornice



Fig. 2- Tipologie di fortificazioni istriane (elaborazione grafica di Petar Bašić)

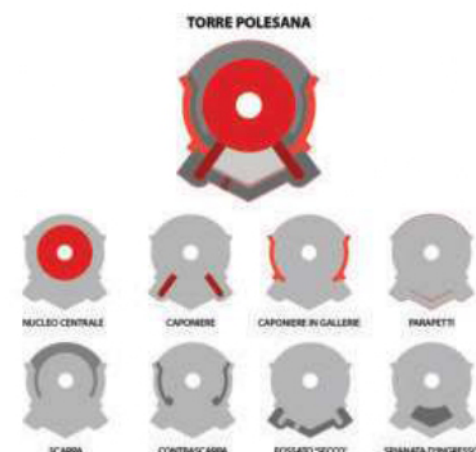


Fig. 3- Composizione di una Torre Polesana (elaborazione grafica di Petar Bašić)

di porte e finestre emergevano dalla muratura. L'orditura di solai in travi e tavolato garantiva il sostegno del peso considerevole dei cannoni.

Comprendiamo quindi come la geometria e i principi costruttivi scelti e adottati per i forti polesi assumano un ruolo rilevante per queste architetture che dovevano contrastare gli attacchi dell'artiglieria nemica, ma anche avere funzioni abitative per il battaglione che le gestiva. Il dato estetico-decorativo per tali ragioni si collocava in secondo piano rispetto alla logica militare e ai progressi bellici (Krizmanić, 2009: p. 41).

3. Fort Bouguignon e Fort San Giorgio

La ricerca ha esaminato due fortificazioni coeve e successive al 1850: Fort Bourguignon e Fort San Giorgio. Entrambe costruite a Pola, esse presentano una pianta circolare a casamatta, ma si distinguono per dimensioni e alcuni corpi architettonici (Fig. 4).

Come anticipato, le torri polesi disponevano di un anello interno destinato a funzioni giornaliere (cucina e servizi), e contenevano anche l'ufficio del capitano e la polveriera. A livello delle fondazioni scavate nella roccia, si trovavano invece le cisterne con l'acqua filtrata dalla copertura.

Si passava da un piano all'altro attraverso le scale amovibili in legno - di solito a chiocciola - inserite in un vano che fungeva talvolta da sorta di montacarichi per il trasporto verticale di materiali ed articoli pesanti.

La copertura piana presentava un parapetto di 1,5 m e l'intera superficie veniva sfruttata per raccogliere dell'acqua meteorica. I tetti erano infatti ben ingegnerizzati e progettati: l'acqua drenata attraverso l'erba, la terra o la ghiaia veniva

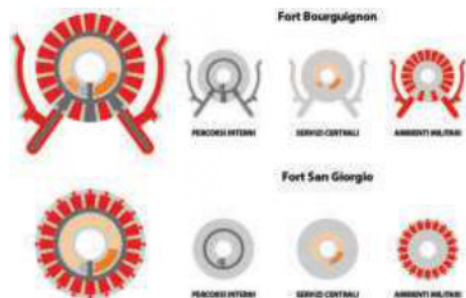


Fig. 4- Fort Bourguignon e Fort San Giorgio: comparazione e definizione destinazioni d'uso (elaborazione grafica di Petar Bašić)

convogliata in una tubatura che la portava filtrata in una cisterna sotto il cortile.

Fort Bouguignon (*Tvrđava Bourguignon*) è situato a sud-ovest a Monsival sulla penisola di Zlatne Stijene e fu costruito con l'obiettivo di monitorare il territorio da Verudella a Stoja (Fig. 5). La costruzione di un primo piccolo fortilizio iniziò tra il 1852 e il 1853, che fu poi integrato in una struttura più grande.

Il corpo principale di 47 m di diametro contiene una corte interna ampia 12 m. In altezza raggiunge i due piani fuori terra e la copertura praticabile fu ricoperta di terriccio ed erba anche per meglio mimetizzare l'architettura nel paesaggio circostante.

L'ingresso, a nord, è protetto da due caponiere lunghe 22 m direzionate a nord-est e nord-ovest con caponiere in gallerie nel seminterrato a protezione delle controscarpe a est e ovest. La spianata antistante l'ingresso è riparata da parapetti e da un ponte levatoio posizionato sopra un fossato secco profondo 3.5 m e largo 6 m che si estende da una caponiera. La fortezza, dai fronti occidentale, orientale e meridionale, è difesa da un altro fossato cieco meno avvallato che termina nelle controscarpe: una trappola per bloccare l'avanzamento del nemico.

L'impianto è diviso in un anello esterno adibito alle funzioni militari, e uno interno abitativo (cucina, spazio per i soldati, bagni e ufficio del capitano). La stessa distinzione è rintracciabile al piano primo dove l'anello esterno è riservato all'alloggiamento dei canoni per i quali, tra il piano terra ed il primo piano, è adibito un solaio in legno a sostegno del carico.

L'entrata al forte è allineata al corpo scale e, tra i due anelli, c'è un passaggio costituito da portali aperti che percorre tutta la pianta ed è accessibile direttamente dall'ingresso, aspetto non comune ad altre fortezze. La struttura portante è composta

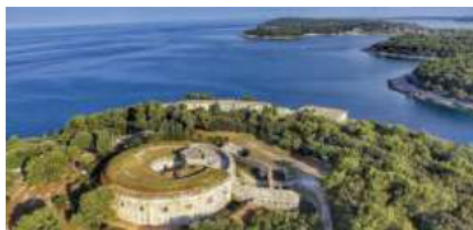


Fig. 5- Fort Bourguignon, stato di fatto (<https://goo.gl/maps/K42cJYhsrVefKcAX7>)

da muri in pietra spessi 1,5 m, nella parte esterna l'altezza dell'edificio è di 10 m, mentre nel cortile interno raggiunge i 12 m considerando l'apice del volume del corpo scala. I solai lignei presentano uno spessore di 30 cm. La struttura della copertura è sostenuta da un sistema di volte a sviluppo semi-conico a imposta orizzontale di profilo trapezoidale, spesso fino a 60 cm, ricoperto da altrettanto strato di terra. Finestre e porte si concludono ad arco per una migliore distribuzione delle forze di peso.

Fort Bourguignon, infine, fu coperto in parte da una cupola protettiva in metallo, risalente al periodo tra le due Guerre Mondiali (Krizmanić, 2009: pp. 68-73).

Fort San Giorgio, trova un'identica struttura in Fort Cassoni Vecchi ed è collocato a nord-est di Pola in cima al Monte Ghiro (Fig. 6). Orientato verso sud-ovest, in direzione dell'arsenale, fu costruito per la difesa e il monitoraggio dell'entroterra a est e nord est (Puhmajer, 2011).

La posizione elevata e la poca distanza dal mare consentivano al forte di monitorare a lunga distanza sia l'entrata nella baia che una vasta area alle spalle della città. Visivamente si collega alle fortificazioni delle colline vicine (Fort Monvidal a sud, Fort Bradamante a nord, Fort Munida a est) creando una rete difensiva il cui raggio d'azione dei cannoni copriva l'intero territorio.

Sempre ad impianto circolare ma di ridotte dimensioni (il fortino raggiunge il diametro di 35 m), Fort San Giorgio è composto da due piani, più un livello terrazzato. Come ogni torre Polesana, all'interno si trova un cortile di 17 m di diametro. L'entrata a sud-ovest è delimitata da due mura poligonali alte 3,8 m e spesse 1,4 m. Anche il forte sul Monte Ghiro presenta ponti levatoi lignei per superare i fossati. Il pianterreno e le mura difensive sono dotati di feritoie, mentre ai lati delle mura del cortile sono stati innalzati alcuni elementi verticali per falsificare le reali dimensioni della fortezza, dove dietro ai quali è celata una controscarpa. Osservando il prospetto esterno, notiamo le caratteristiche ampie arcate al piano terra alte circa 3 m che racchiudono mura con una leggera rastremazione. Per tale inclinazione, la parte superiore del muro perimetrale non è connessa all'arco e forma un'apertura poco visibile, usata come presidio per sparare alle forze nemiche nel caso riuscissero a raggiungere i piedi delle mura.

La pianta fu concepita secondo la logica strategica militare più elevata, e per garantire più livelli di



Fig. 6- Fort San Giorgio, stato attuale (<https://goo.gl/maps/tiviwywPTuADu5XHA>)

difesa sia all'esterno che per eventuali incursioni nella corte interna. Infatti, addentrandosi, si intraprendeva un corridoio monodirezionale verso il cortile interno, a nord-est del quale è collocata la scala a chiocciola, scollegata dalla torre ascensore accessibile dal sopracitato corridoio. Si nota quindi che il corpo scala non è collegato al corridoio e che le feritoie di quest'ultimo sono rivolte verso l'interno. La finestra sopra l'ingresso, inoltre, è chiusa in un 'parapetto difensivo' per poter proteggere l'entrata.

In questo fortilizio il piano terra era destinato alle funzioni sanitarie, mentre i piani superiori erano adibiti a quelle militari.

Al centro del cortile c'era la vera da pozzo che conteneva l'acqua raccolta dal sistema di filtraggio sulla copertura. Analogamente ad altre costruzioni, anche il tetto del forte era percorribile e prevedeva il posizionamento dell'artiglieria.

Come la fortezza a Monsival, anche questa è stata realizzata con una struttura portante in pietra d'Istria con i solai in legno. La copertura è sostenuta da volte a botte ricoperte da uno strato di terra, la cui terminazione è visibile in facciata negli archi sopra le finestre (Krizmanić, 2009: pp. 82-84).

3.1. Dal BIM alla comunicazione avanzata

La ricostruzione tridimensionale delle fortificazioni oggetto di studio è avvenuta in ambiente parametrico, che ha consentito di realizzare due modelli informatizzati nell'ottica dell'HBIM (*Heritage Building Information Modeling*), finalizzato all'archiviazione e ricostruzione di edilizia preesistente dal riconosciuto valore

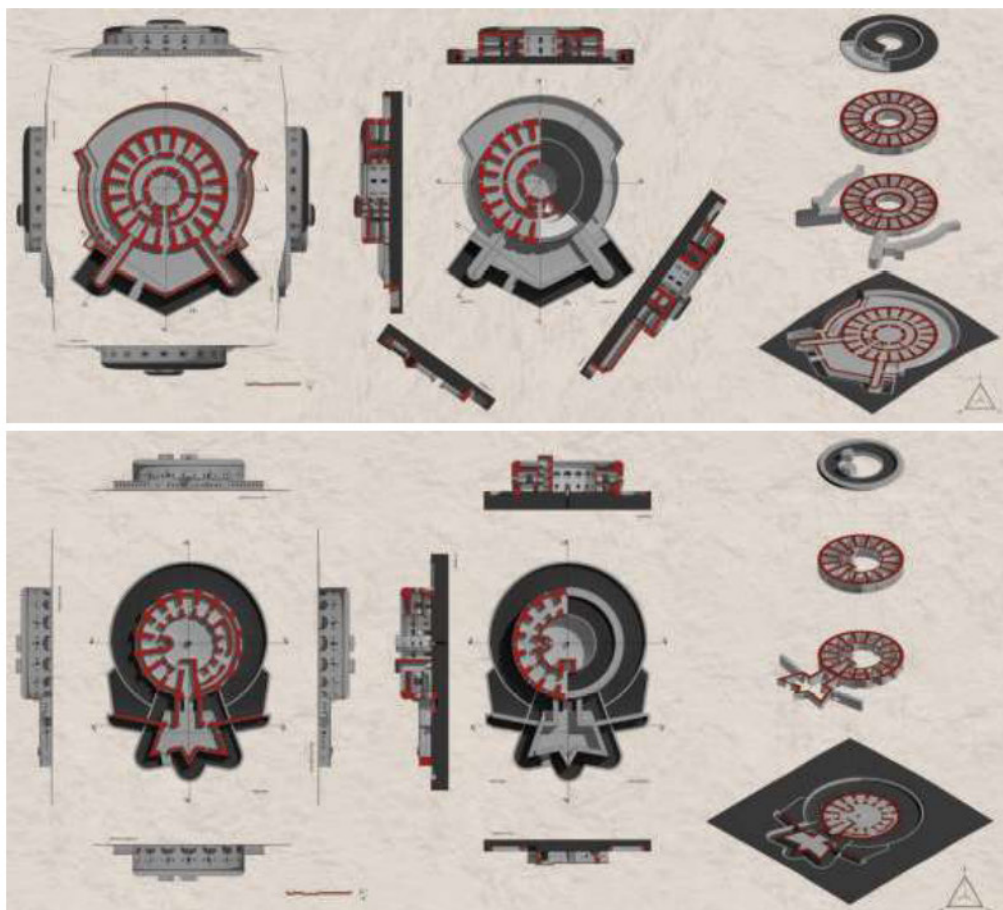


Fig. 7- a) Fort Bourguignon b) Fort San Giorgio: piante piano terra e prospetti; piante piano primo, copertura e sezioni; esploso assometrico (elaborazione grafica di Petar Bašić)

storico, ma anche alla possibile condivisione di plurimi dati tra vari ambiti professionali.

Sebbene i software BIM siano versatili e vantaggiosi soprattutto in termini di rapidità di generazione di modelli per edifici di nuova costruzione - anche grazie alle librerie digitali predefinite e modificabili, come i pacchetti murari, a cui possono essere associati ad esempio porte e finestre - e per la loro gestione nel tempo, alcune procedure applicate a manufatti di edilizia storica analoghi a quelli qui trattati risultano essere più complesse rispetto alla semplicità che tali programmi vogliono offrire. Questo vale per i tempi di realizzazione di un *digital twin* di un'architettura preesistente dall'elevato valore storico e dei suoi elementi componenti, come la struttura portante o i particolari architettonici, materiali e la loro posa in opera. In particolare,

le strutture di Fort Bourguignon e San Giorgio presentano specifici sistemi voltati e particolari intelaiature di porte e finestre, elementi quindi non disponibili all'interno del programma. Nonostante ciò, i limiti imposti sono stati superati impiegando specifici modificatori *morph* e di tipo booleano che hanno consentito di "personalizzare" i modelli 3D emulando le caratteristiche intrinseche delle fortificazioni. Le operazioni sono state pertanto svolte per la ricostruzione dei complessi sistemi voltati ad imposta trapezoidale, ma anche per la composizione volumetrica di finestre e bugnato.

L'analisi geometrica e la ricostruzione digitale delle architetture si sono basate sullo studio e sulla comparazione del materiale documentale analogico fornito dall'Amministrazione Comunale di Pola e da quello reperito nell'archivio di Stato di Spalato, oltre che dai numerosi disegni

contenuti nelle monografie di Attilio Krizmanić (2005, 2008, 2009) e di Petar Puhmajer (2011). La ricerca è stata ulteriormente arricchita dal confronto con strutture similari rintracciate in Istria e da rilievi diretti e fotografici che hanno consentito di chiarire, colmare e integrare alcune carenze grafiche della documentazione, come l'utilizzo dei materiali impiegati ed eventuali modifiche apportate ai forti nel corso della storia.

Dai modelli digitali generati in ambiente parametrico, sono state quindi intraprese tre strade di comunicazione del lavoro effettuato: da una parte, la restituzione bidimensionale su supporto video e cartaceo; da un'altra, la prototipazione fisica delle architetture; infine, la visita virtuale con visori di realtà immersiva. Le fortificazioni sono state pertanto analizzate attraverso la rappresentazione in proiezione ortogonale di piante, prospetti e sezioni, in proiezione parallela assonometrica (Figg. 7a-b) e in prospettiva per meglio comprendere la conformazione di ambienti, elementi componenti e materiali impiegati anche in rapporto con il contesto nel quale le due architetture sono inserite.

Per la riproduzione fisica in scala dei forti si è fatto ricorso alla prototipazione rapida a deposizione di filamento fuso (*Fused Deposition Modeling* - FDM). I due modelli digitali sono stati quindi ottimizzati per la stampa 3D considerando le dimensioni e le caratteristiche della stampante, del processo di stratificazione del materiale e della morfologia degli elementi da realizzare. Entrambi i forti sono stati suddivisi in quattro settori circolari applicando ove necessario l'inserimento di supporti o disponendo gli elementi in modo da ottimizzare le operazioni di solidificazione. Tale suddivisione è stata inoltre adottata per rendere più comprensibile la conformazione interna dei modelli scomponibili da parte dell'utente. La predisposizione dei materiali da prototipare e la loro esportazione nel formato grafico STL è stata eseguita nel software parametrico, per poi impiegare il programma di gestione della stampante per settare i parametri relativi al livello di dettaglio, al tempo di produzione e alla quantità di stampa. I modelli sono stati riprodotti in scala 1:200 usando l'acido polilattico (PLA) grigio (Fig. 8).

Infine, le due architetture sono state indagate attraverso la realtà virtuale (*Virtual reality* - VR). Data la geometria a volume cilindrico cavo, i casi studio si sono rivelati particolarmente interessanti per la loro fruizione attraverso dispositivi VR (fig.

9). I due applicativi si sono dimostrati rilevanti da una parte per poter visitare esternamente e internamente le architetture militari così da comprenderne la struttura, i materiali e gli ambienti adibiti alle diverse destinazioni d'uso, dall'altra sono stati utili per perfezionare a livello qualitativo la resa di superfici curve nella logica del compromesso tra *low* e *high poly* oltre che dell'impiego di tecniche di *UV texture mapping*.



Fig. 8- I forti Bourguignon e San Giorgio, modelli prototipati (elaborazione grafica di Petar Bašić)

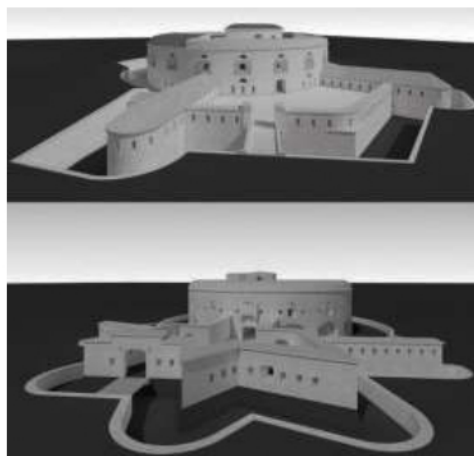


Fig. 9- Fort Bourguignon e San Giorgio, in ambiente digitale virtuale (elaborazione grafica di Petar Bašić)

4. Conclusioni

Il lavoro condotto sui due forti polesi ha visto l'integrazione di diverse metodologie di indagine - analisi documentale, rilievo, ricostruzione digitale - e di comunicazione del dato che hanno consentito di raggiungere significativi risultati sia nell'ambito della procedura applicata che nei prodotti finali. Da un lato, infatti, il ricorso alla parametrizzazione ha permesso di tradurre le complessità geometriche e costruttive di manufatti architettonici ad elevato valore storico e di approfondire il settore HBIM, attualmente ancora

in fase di sviluppo. Dall'altro, la predisposizione e l'ottimizzazione di modelli per plurime categorie di fruizione e utenza sono stati in grado di restituire le peculiarità e dati informativi sotto forma di elaborati grafici, modelli tattili e visite virtuali. L'intento di questa ricerca, infine, è stato quello non solo di documentare architetture appartenenti alla storia del XIX secolo, ma anche di sensibilizzare maggiormente le politiche locali allo studio, riqualifica e tutela di manufatti di elevato valore per il patrimonio culturale che, per buona parte, sono in avanzato stato di abbandono.

Bibliografia

- De Montalembert, M. R. (1776-1784) *La fortification perpendiculaire, ou Essai sur plusieurs manières de fortifier la ligne droite, le triangle, le quarré & tous les polygones... en donnant à leur défense une direction perpendiculaire*. Paris, P. D. Pierres.
- Dürer, A. (1527) *Etliche Underricht zu Befestigung der Stett, Schloss und Flecken*. Nuremberg, Hieronymus Andreae.
- Isgro, S. (2020). Le fortificazioni costiere austroungariche sulla frontiera italiana nell'Istria e Dalmazia dagli studi dello Scacchiere orientale. In: Navarro Palazón, J., García-Pulido, L. J. (a cura di) *Defensive Architecture of the Mediterranean, proceeding of the International Conference on Fortifications of the Mediterranean Coast, FORTMED 2020, Granada, 26th, 27th and 28th of March 2020*, Vol XI, pp. 623-630.
- Krizmanić, A. (2005). Prostorni razvitak Austrijske Pule. In: Cvek, E. (a cura di) *Pula: tri tisućljeća mita i stvarnosti*. Pula, C.A.S.H, pp. 168-169.
- Krizmanić, A. (2008) *Pulska Kruna*, voll. I-II. Pula, Čakavski Sabor.
- Krizmanić, A. (2009) *Pomorska tvrđava Pula: fortifikacijska arhitektura austrijskog razdoblja*. Pula, Čakavski sabor.
- Marsetić, R. (2012). Apparato militare austro-ungarico a Pola. *Atti*, XLII, 483-520.
- Matijašić, R., Buršić-Matijašić, K. & Marušić-Čiči, D. (1996) *Antička Pula: s okolicom*. Pula, ZN "Žakan Juri".
- Mavar, Z. (2016a) *Fort Bourguignon 2013. Međunarodna ljetna radionica arhitekture*. Ministarstvo kulture, Uprava za zaštitu kulturne baštine.
- Mavar, Z. (2016b) Međunarodna radionica arhitekture fortifikacija – rezultati i iskustva. *Godišnjak zaštite spomenika kulture Hrvatske*, 40, 189-202.
- Petković, D. (2004) *Ratna mornarica Austro – Ugarske Monarhije: brodovi u K. u. K. Kriegsmarine s prijelaza iz 19. u 20. stoljeće do kraja Prvog svjetskog rata*. Pula, C.A.S.H.
- Puhmajer, P. (2011). *Fort San Giorgio. Katalog austrougarskih fortifikacija - Tvrđava Pula*. Pula (Zagreb), Ministarstvo kulture Republike Hrvatske i Hrvatski odbor, ICOMOS-a.
- Sdegno, A., Cochelli, P. & Riavis, V. (2018). Ricerche su architetture croate: indagine, analisi geometrica e ricostruzione digitale. In: Bertocci, S. (a cura di) *Programmi multidisciplinari per l'internazionalizzazione della ricerca. Patrimonio culturale, Architettura e Paesaggio*. Firenze, Didapress, pp. 236-241.
- Tatić, D. (2021) *Tvrđava Pula: fortifikacijski sustav glavne austrougarske ratne luke*. Zagreb, Despot infinitu.