

15 DEFENSIVE ARCHITECTURE OF THE MEDITERRANEAN

Marco Giorgio BEVILACQUA, Denise ULIVIERI (Eds.)



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 Olivieri
Università di Pisa

PISA
UNIVERSITY
PRESS

 edUPV
Universitat Politècnica de València

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 Ulivieri. - 3 volumi. - Pisa : Pisa university press, 2023.

Contiene:

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

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

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

725.18091638 (23.)

I. Bevilacqua, Marco Giorgio II. Ulivieri, 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 Ulivieri

© 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 Olivieri. 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:



DEFENSIVE ARCHITECTURE OF THE MEDITERRANEAN
Vol. XV

Table of contents

Preface..... XV

Contributions

CHARACTERIZATION OF GEOMATERIALS

Stone materials and construction technology in the Piscinì 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 maderos históricos en las torres nazaries del reino de Granada 973
L. Pérez-Lomas, J. Ruiz-Jaramillo, L. J. Garcia-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 fotogrametría 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 'turrata' 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>	

Studio preliminare sul complesso fortificato di Trogir (Croazia) basato su un approccio multi-disciplinare

Sofia Brizzi^{a,b}, Marco Ricciarini^c, Stefano Bertocci^d, Cristiano Riminesi^e

^a CNR-ISPC, Sesto Fiorentino (FI), Italy, sofia.brizzi@ispc.cnr.it, ^b University of Florence, Florence, Italy, sofia.brizzi@unifi.it, ^c University of Florence, Florence, Italy, marco.ricciarini@unifi.it, ^d University of Florence, Florence, Italy, stefano.bertocci@unifi.it, ^e CNR-ISPC, Sesto Fiorentino (FI), Italy, cristiano.riminesi@cnr.it

Abstract

The city center of Trogir represents an important example of Romanesque, early Renaissance and Baroque architecture and is part of the UNESCO World Heritage list. In this paper, the authors propose a multidisciplinary approach for the reconstruction of the stratigraphic succession of the interventions and documentation at the masonry level of the Kamerlengo castle by combining digital, photographic and thermographic data. The Kamerlengo castle was built in the 15th century and, together with the Saint Mark chapel, represents the only part of the ancient fortification complex that is still present in the city. Today it has many conservation problems due mainly to the decay of the original parts and the prolonged absence of maintenance works. The first step in the conservation process is the diagnosis of the structural integrity of the fort. At this first stage, recognition using non-destructive techniques based on imaging systems such as a combination of IR thermography, photogrammetric surveys and visual inspection is preferable. Through IR thermography analysis it is possible to verify the presence of inhomogeneities in the masonry (air cavities, water infiltration, different materials, etc.), contributing to the reading of the construction phases of the castle. The study of the structural integrity was completed by the 3D laser scanner survey and the SfM photogrammetric survey, which also enables the morphometry and environmental aspects of the fort to be documented. The output produced at the end of this activity represents an important support for the definition of the diagnostic campaign and for the promotion of the site.

Keywords: digital integrated technologies, infrared thermography, 3D laser scanner, stratigraphic documentation, non-destructive techniques.

1. Introduzione

Il centro storico di Trogir, il palazzo di Diocleziano e la Spalato medievale sono tra i siti inclusi nella lista UNESCO della regione Spalato - Dalmazia, insieme alla pianura di Stari Grad sull'isola di Hvar. La Croazia è una piccola nazione con un grande patrimonio architettonico, monumentale e paesaggistico: fino ad oggi sette siti croati sono stati inclusi nell' UNESCO World Heritage. Il Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze in collaborazione con la Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy di Split e il CNR Italia, con un'azione interdisciplinare realizzata tra le due Università e il

CNR ha attivato il workshop 'Reuso: il CENTRO STORICO UNESCO di Trogir, in Croazia, tra memoria e innovazione per la documentazione digitale del centro storico di Trogir' puntando, in particolare, ad un approfondimento sulle facciate della cattedrale di San Lorenzo, del Castello del Kamerlengo e della Fortezza di San Marco. Un'azione dettata dalla necessità di avere un quadro di riferimento dello stato dell'arte della città storica e dei suoi monumenti. Uno studio del patrimonio storico culturale della città costituisce il punto di partenza per la realizzazione di iniziative di valorizzazione e rigenerazione

durature nel tempo, così come previsto dalle direttive UNESCO WHC (Francia) e ICOMOS (Canada). L'esperienza compiuta ha consentito di ottenere una base documentale tridimensionale del patrimonio architettonico di Trogir e delle sue più rilevanti emergenze monumentali e potrà essere utilizzata come supporto per programmi di conservazione del patrimonio, offrendo la possibilità di una continua accessibilità digitale che garantisca nel tempo un punto fermo per il futuro monitoraggio sullo stato di conservazione del sito (Convenzione per la salvaguardia del patrimonio culturale immateriale 2003).

La conoscenza del territorio e dei suoi valori identitari accumulati nel tempo deve essere inevitabilmente meritevole di tutela ad ampio spettro. Oggi, tramite la documentazione digitale, diviene possibile garantire l'accesso a una notevole mole di dati che, anche da remoto, consentono l'interpretazione e l'approfondita descrizione morfologica e architettonica, giungendo fino a contesti ambientali e culturali, di insediamenti e manufatti. Questo processo di studio, discretizzazione e analisi di dati di rilievo, perché sia condiviso e diventi strumento di valorizzazione e memoria del luogo, necessita

di adeguate strategie di gestione e conservazione del dato digitale e lo sviluppo di adeguate metodologie di comunicazione. Tali azioni richiedono di investire nella ricerca di nuove ed efficaci modalità di fruizione del patrimonio digitale, capaci di determinare a lungo termine "politiche di sviluppo" della conoscenza, sempre più necessarie per approdare ad una gestione lungimirante del concetto di patrimonio culturale. L'output principale del progetto TROGIR è, in primo luogo, la costruzione di un supporto documentale per l'individuazione dei fenomeni di degrado naturale e patologico che incidono sul carattere prestazionale del castello del Kamerlengo a Trogir, individuandone cause, segni di dissesto e modalità di diagnosi, al fine di offrire modalità aggiornate di analisi e strumenti di pianificazione per opportuni interventi di ripristino utili a garantire la durabilità delle componenti edilizie nel tempo (Ricciarini, 2019). Una veduta di una parte del castello è mostrata in Fig. 1.

2. Cenni Storici di Trogir

La turbolenta storia di Trogir risale al 2000 a.C., quando si hanno testimonianze di un antico insediamento illiriano (fine III secolo, inizio II



Fig. 1 - Veduta della torre del castello del Kamerlengo (Marco Ricciarini, 2019)

poi divenuto colonia greca. Il quartiere greco di Tragurion durante il I secolo a.C. divenne il *tragurium municipium* romano. Con la fine dell'Impero Romano, tra il XI e l'inizio del XV secolo, Trogir riconosce il potere dei governanti croati e ungheresi, anche se occasionalmente è sotto il dominio veneziano. La città sembra un grande castello sull'acqua. Trogir ha avuto il suo più interessante sviluppo urbanistico e sociologico nel Medioevo, tra il XIII e il XIV. Con le sue trentadue chiese, i sei campanili, il forte di Santa Maria e del Castello Kamerlengo, il Duomo e la Loggia Pubblica in Piazza dei Signori, in parte ancora cinta da mura veneziane tra la Porta di Terraferma a Nord e Porta Marina a Sud, è dal Medioevo simbolo di italianità nella Dalmazia Centrale (Benyovsky, 2014).

Il contesto urbano dell'isolotto di Trogir, è caratterizzato dalla *Civitas*, ovvero la dominante parte circolare impostata sulla pianta originale dell'antica città greca, perfettamente centrata sul piccolo ponte di accesso all'isolotto, sia nella sua prima versione con la vecchia Porta di Terraferma più ad Est, che con la nuova e dal *Burgus*, che costituisce l'aggiunta della parte di città verso Ovest a pianta quadrangolare annessa all'originario nucleo per ospitare le persone più umili della città.

L'eccezionale conservazione del suo tessuto urbano di matrice medioevale determina una precisa identità alla città, in particolare l'edilizia romanica identificabile nei caratteri distintivi dello stile e che si manifestano nelle facciate delle abitazioni che compongono l'assetto dei quartieri del nucleo antico dell'isola. Dall'inizio del XV secolo fino alla fine del XVIII la città si trova all'interno della Dalmazia veneziana e dalla fine del XVIII ai primi del XIX sotto il controllo del governo francese. Dal XX secolo Trogir è all'interno della regione dalmata austriaca fino alla fine della Prima guerra mondiale, da allora in Jugoslavia e dal 1991, dopo l'ultima cruenta guerra europea, è diventata Repubblica di Croazia.

3. Stato dell'arte

Il castello del Kamerlengo, situato lungo la costa sud occidentale dell'isola di Trogir, è costituito da strutture murarie del tipo a sacco composte da un doppio paramento di conci di pietra calcarea legati da malta. Il materiale di riempimento tra i paramenti è dato da frammenti di pietra grossolani e informi, tenuti insieme da malta. Il castello

presenta una ricostruzione storica-evolutiva complessa, che lo ha visto oggetto, nel corso del XIX secolo, contestualmente alla demolizione di gran parte della cinta muraria veneziana, alla demolizione di tutti gli edifici situati nel suo cortile: la residenza del comandante del castello, gli alloggi della guarnigione e la cappella di San Marco. L'aspetto attuale della struttura è legato agli interventi di risanamento effettuati nel corso del XX secolo che hanno previsto il recupero e consolidamento delle strutture murarie, adattando un percorso per la visita degli spalti e delle torri e recuperando alcuni spazi della corte per un utilizzo a fini turistici (Bulfone Gransinigh, 2020). Nonostante tali lavori, la fortezza si presenta attualmente in uno stato di conservazione piuttosto compromesso: oltre a mostrate numerose criticità a livello strutturale (dissesti fondali), essa mostra anche un quadro di degrado avanzato delle superfici esterne ed interne, quali la presenza di numerose concrezioni calcaree e patine da biodegrado. In tale scenario l'utilizzo di tecniche non distruttive (*Non-Destructive Techniques*) e non a contatto (*Non-Contact Technique*) quali il rilievo digitale integrato e la termografia infrarossa permettono di ottenere una base di riferimento per una conoscenza integrata storica, architettonica e sperimentale dei beni monumentali (Costanzo et al. 2015; Martin et al. 2022). Inoltre, la sinergia tra le varie tecniche rappresenta un valore aggiunto in grado non solo di colmare eventuali lacune e carenze derivanti dai limiti applicativi degli strumenti, ma anche di valorizzare le peculiarità degli stessi (Morena et al. 2021).

4. Materiali e Metodi

In tale studio il primo passo per la definizione dello stato di conservazione del castello del Kamerlengo è stato l'utilizzo del rilievo digitale (laser scanner TLS e fotogrammetria SfM) accompagnato dalla termografia nell'infrarosso termico e da un'attenta ispezione visiva (Pamart et al. 2019). In particolare, il modello a nuvola di punti del castello del Kamerlengo di Trogir è stato necessario per redigere con accuratezza e rigore scientifico la morfologia architettonica del complesso edilizio, nonché gli orientamenti planimetrici delle strutture. Tramite questo sono state messe in evidenza le peculiarità e le criticità che frequentemente si riscontrano nelle fasi di diagnostica e di analisi strutturale. La ricostruzione delle termografie in scala è stata infatti possibile grazie ai dati ottenuti dal rilievo

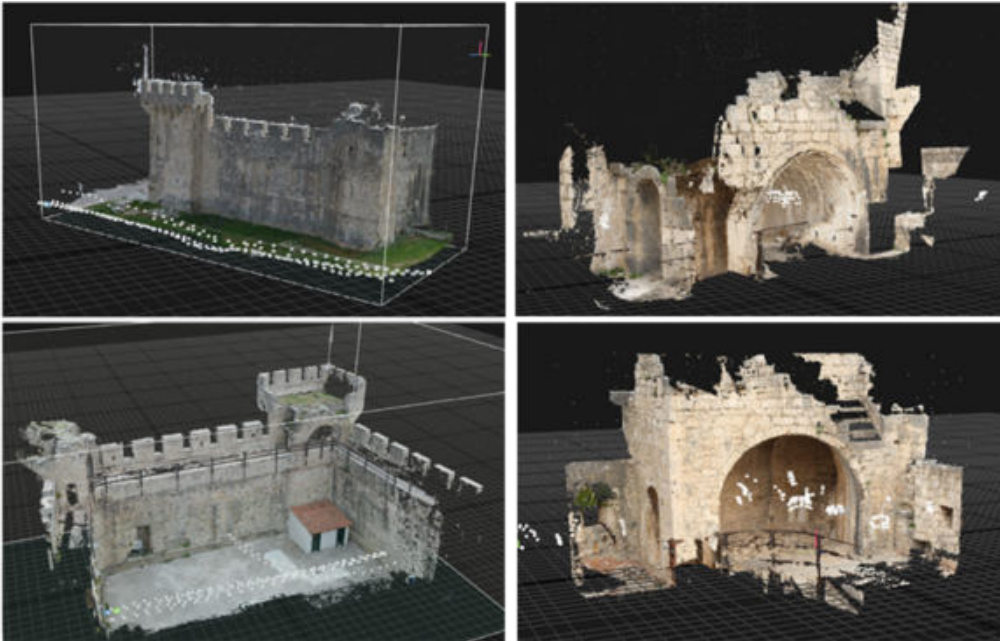


Fig. 2- Elaborazione dei modelli fotogrammetrici 3D ottenuti tramite tecnica SfM del lato Nord-Est esterno ed interno. (Stefano Bertocci, 2020)

digitale integrato. La nuvola di punti può essere infatti utilizzata non solo come riferimento affidabile per la realizzazione di disegni tecnici 2D, come piante e sezioni che, sovrapposti ai fotopiani ottenuti da fotogrammetria SfM, hanno permesso una valutazione preliminare dello stato di conservazione del complesso fortificato, ma anche per integrare i dati termografici utili per completare ed ottimizzare il quadro storico-evolutivo e conservativo del castello.

4.1. Rilievo digitale

La campagna di indagine è stata affrontata avvalendosi dell'integrazione di strumenti tradizionali e strumenti informatici per il rilievo e l'elaborazione dei dati. Tranne che in alcuni casi eccezionali in cui il rilievo diretto era l'unica possibilità per ottenere informazioni attendibili, il lavoro è stato condotto per lo più tramite l'integrazione di diverse metodologie di rilevamento indiretto. Fra queste si è scelto di utilizzare la tecnologia offerta dai sistemi laser scanner 3D e dall'acquisizione di fotografie per la ricostruzione di modelli fotogrammetrici. Il castello del Kamerlengo è stato scansionato dal personale del Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze utilizzando la tecnologia del tempo di

volò. più specificamente, uno Z+F 5016. L'uso di questo tipo di strumentazione rende possibile l'acquisizione di grandi quantità di dati spaziali, geo-referenziarli e derivarne informazioni 3D in maniera abbastanza semplice. Parallelamente al rilievo laser scanner si è proceduto al rilievo dei prospetti esterni ed interni del castello tramite tecnica Structure from Motion (SfM) con sessioni fotografiche utilizzando una fotocamera digitale Nikon D3000, con un sensore CCD da 23,6 x 15,8 mm e con 12,1 megapixel di risoluzione. Le foto scattate sono state elaborate all'interno del programma Reality Capture. Dall'interpretazione di questi dati è poi possibile ottenere restituzioni virtuali con ambientazioni e visualizzazioni 3D prodotte per varie applicazioni quali la documentazione, conservazione, restauro virtuale, simulazione, didattica, animazione, cartografia, gestione territoriale (GIS), monitoraggio, etc.

4.2. Indagine in termografia infrarossa

Ogni prospetto del castello è stato indagato mediante termografia IR in modalità passiva (Balaras et al. 2002; Kylili et al. 2014; Barreira et al. 2017; Moropoulou et al. 2018), ad eccezione del lato esterno nord a causa della presenza di un campo da calcio. L'indagine è stata eseguita

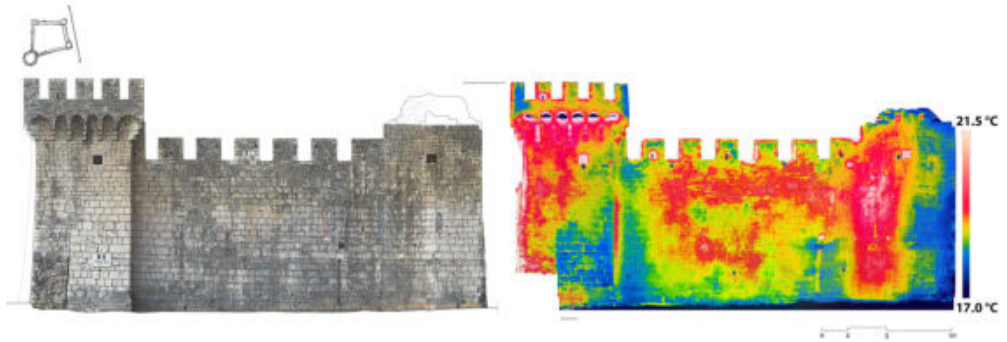


Fig. 3- Ortofotopiano del prospetto esterno nord-est con ricostruzione termografica IR long-range. (Sofia Brizzi, 2022)

in modalità passiva, cioè sfruttando la diversa capacità termica dei materiali che compongono la muratura e lo scambio che può avvenire tra di essi in determinati periodi della giornata a seguito delle condizioni meteo/ambientali delle stagioni (Brizzi et al. 2022). In una prima fase sono state scattate circa cento fotografie IR per ogni prospetto in modalità long-range, cioè posizionandosi ad una distanza dall'oggetto di circa 10 metri.

Gli obiettivi dell'indagine sono stati i seguenti:

- scoprire le trasformazioni effettuate nel corso degli anni: tamponamento di finestre, modifiche alle aperture - integrazioni di nuove pietre calcaree (Bordini et al. 2021);
- determinare la presenza di crolli strutturali, infiltrazioni d'acqua/fenomeni di umidità di risalita capillare dal terreno e vuoti d'aria (Rocha et al. 2018);
- consentire una lettura stratigrafica dell'edificio, utile per orientare ulteriori indagini analitiche e interventi di restauro;
- integrare i caratteri tipologici del complesso architettonico derivanti dal rilievo digitale, al fine di ottenere un'analisi completa ed una mappatura tipologica del complesso fortificato.

Il dispositivo utilizzato per l'indagine IRT è la termocamera FLIR T540, operante nell'intervallo spettrale 7-14 μm , con una risoluzione di 464 x 348 pixels, sensibilità termica di (NETD) <30 Mk a 30 °C (ottica lenti di 42°) di 50mK, intervallo di temperatura da -20 °C a +350 °C e precisione di $\pm 2\%$. L'immagine termica è stata elaborata con il software FLIR e la ricostruzione dell'immagine panoramica è stata eseguita con il software Adobe Photoshop.

5. Risultati e Discussione

Il castello del Kamerlengo ha una pianta trapezoidale e una torre monumentale a base ottagonale nel lato sud-ovest con torri quadrate più piccole nei lati nord-ovest e sud-est. Attraverso il rilievo digitale integrato sono stati ottenuti gli ortofotopiani di tutti i lati del castello, utili a comprendere i caratteri morfo-metrici del castello e le diverse fasi storico-evolutive (Fig. 2). L'integrazione delle immagini IR long range con gli ortofotopiani ha permesso inoltre di determinare la presenza di discontinuità termiche (che variano da circa 11 a 27 °C, rispettivamente associati ad una scala di colore che va dal blu al rosso) dovuta all'utilizzo di diverse tipologie di conci e alla presenza di biodegrado.

Le maggiori anomalie sono state riscontrate nel prospetto del lato nord-est (Fig. 3), in cui è possibile notare i seguenti elementi:

- nuova integrazione dei conci nella maggior parte dei merli e in alcune aree delle torri laterali;
- forme rettangolari a temperatura minore rispetto all'intorno (circa 17 °C) corrispondenti, probabilmente, a delle tamponature o rifacimenti;
- abbondanti concrezioni calcaree, presenti su tutte le facce del castello, che arrivano fino a 4 m di altezza;
- numerose patine biologiche; di queste le più critiche dal punto di vista conservativo sono sicuramente la crescita di piante infestanti.

Alla luce di tali risultati è stato deciso di effettuare anche un'indagine short range, ovvero acquisendo

i termogrammi da una distanza ravvicinata dall'oggetto, pari a 3 m. Da questo esame è stato possibile osservare alcuni elementi caratterizzati da una certa disomogeneità termica, tra cui:

- vuoti d'aria presenti soprattutto in corrispondenza dei conci calcarei in cui si

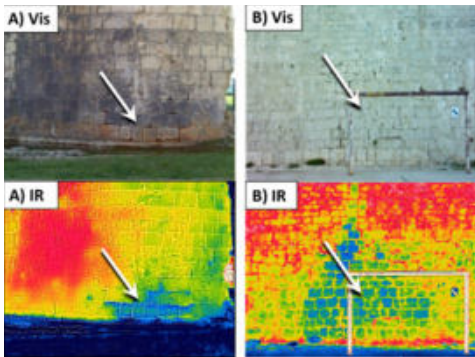


Fig. 4- Vuoti d'aria sul basamento del lato nord-est (A Vis e IR), vuoti d'aria in corrispondenza di lesioni strutturali nel lato ovest (B Vis e IR). (Sofia Brizzi, 2022)

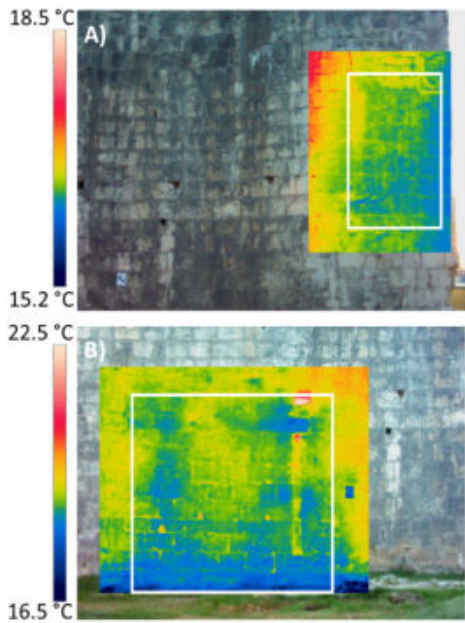


Fig. 5- Presenza di presunte aperture evidenziate da riquadri color bianco: una finestra (A) e una porta/nicchia (B) sul lato nord-est del castello. (Cristiano Riminesi, 2022)

registra la mancanza di malta di allettamento. Tali discontinuità sono presenti sia lungo il basamento del castello, dove l'umidità di risalita capillare può aver contribuito alla perdita di malta (Fig. 4A), sia in vicinanza delle lesioni strutturali che hanno provocato un distacco tra i conci (Fig. 4B).

- la presenza di due aperture sul prospetto nord-est, già rilevata in modalità long-range è stata confermata dall'esame short-range L'anomalia termica fatta corrispondere ad una presunta porta nel basamento del castello (Fig. 5B) coincide, nel lato interno, ad una nicchia nella muratura, ma non è da escludere che in passato si trattasse di un'apertura delle mura fortificate verso la città, mentre l'apertura in Fig. 5A, localizzata circa a metà altezza della torre minore di destra, sembra realmente corrispondere ad una tamponatura di una finestra.

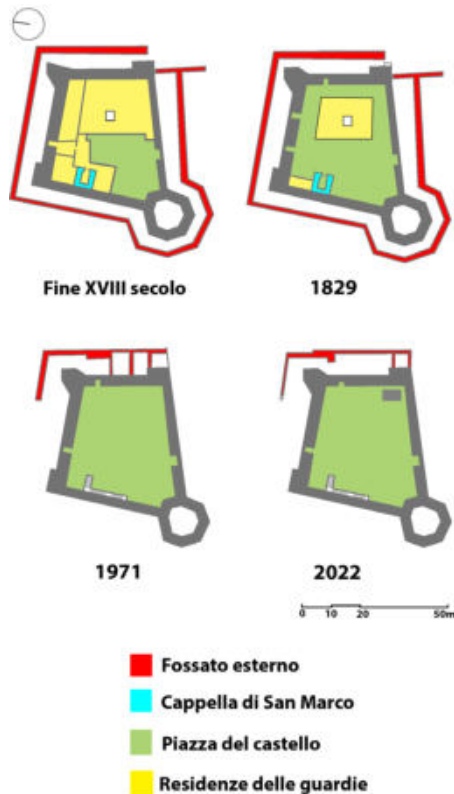


Fig. 6- Fasi storico-evolutive tratte da planimetrie storiche del castello del Kamerlengo. (Sofia Brizzi, 2022)

Attraverso il ritrovamento di planimetrie storiche (Kovačić, 2011) ridisegnate in scala (Fig. 6) è stato anche possibile comprendere l'evoluzione storica-evolutiva del castello e notare che già a partire dal periodo di dominio francese (fine XVIII) era presente, nel lato Ovest interno, una cappella dedicata a San Marco, in onore della precedente dominazione veneta. La cappella è stata poi distrutta nei lavori di metà '900, infatti oggi ne rimane traccia visibile solamente nell'infrarosso termico (Fig. 7).

Tramite le planimetrie si può inoltre confermare la presenza dell'apertura/nicchia nel lato Nord-Est, già presente a partire dal 1829. Pochissime tracce rimangono invece delle vecchie abitazioni delle guardie militari del castello.

6. Conclusioni

Il progetto di ricerca effettuato fornisce dal punto di vista della sperimentazione dei risultati un alto gradiente di attendibilità e scientificità del metodo, dovuto principalmente all'integrazione di differenti metodologie di ricerca di riferimento e la tecnologia digitale di elaborazione. I differenti procedimenti messi in atto conducono ad un significativo risultato: la realizzazione del modello digitale ottenuto da un accurato rilievo digitale integrato con termografia IR ha consentito

di sviluppare un processo metodologico affidabile per ottimizzare la conoscenza dell'edificio e per guidare le successive operazioni di restauro e manutenzione che possono essere adottate per una corretta conservazione del complesso fortificato del castello del Kamerlengo.

La documentazione del complesso architettonico potrà rappresentare inoltre un importante supporto anche per studi di illuminazione, pianificazione urbanistica, piano di gestione, studi di marketing, ecc., implementando lo sviluppo turistico, con tutti gli effetti moltiplicatori che esso comporta.

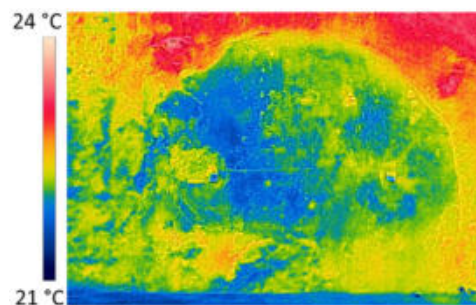


Fig. 7- Termogramma con evidenza delle tracce della cappella di San Marco (lato ovest). (Cristiano Riminesi, 2022)

Bibliografia

- Balaras, C.A. & Argiriou, A. (2002) Infrared thermography for building diagnostics. *Energy and Buildings*, 34 (2), 171-183.
- Barreira, E., Almeida, R. M.S.F. & Moreira M. (2017) An infrared thermography passive approach to assess the effect of leakage points in buildings. *Energy and Buildings*, 140, 224-235.
- Benyovsky I. (2014) The Venetian Impact on Urban Change in Dalmatian Towns in the First Half of the Fifteenth Century. *Acta Histriae*, 22 (3), 573-616.
- Bordini E., Brizzi S. & Ferretti R. (2021) Analisi preliminari per la documentazione del Santuario del Beato Antonio Vici a Stroncone: il contributo del rilievo digitale e della termografia. In: Bellanca, C. & Mora Alonso-Munoyerro, S. (a cura di) *Roma, Capitale d'Italia 150 anni. Atti di convegno ReUso, Roma 2021*. Roma, Artemide, pp. 382-393.
- Brizzi S., Cottini A., Manganelli Del Fa R., Felici A., Bertocci S. & Riminesi C. (2022) Survey of the state of conservation of detached wall paintings by digital and IR techniques. The case study of Verde cloister in the church of Santa Maria Novella. In: Furferi, R., Giorgi, R., Seymour, K. & Pelagotti, A. (a cura di) *The Future of Heritage Science and Technologies: Materials Science. Proceedings of Third International Conference, Florence Heri-Tech 2022, 16-18 maggio 2022, Florence*. Springer, pp. 82-93.
- Bulfone Gransinigh F. (2020) Le fortificazioni dell'isola di Traù in Dalmazia. Valore simbolico e appartenenza culturale. *EcoWebTown Journal of Sustainable Design*, 22, 245-255.
- Costanzo, A., Minasi, M., Casula, G., Musacchio, M., & Buongiorno, M. F. (2014) Combined use of terrestrial laser scanning and IR thermography applied to a historical building. *Sensors*, 15(1), 194-213.
- Kovačić, V. (2011) The citadel in Trogir. A Contribution to the Study of the Fortifications of the early 15th Century. *Prilozi povijesti umjetnosti u Dalmaciji*, 42 (1), 95-120.

- Kylili, A., Paris, F.A., Petros, C. & Soteris, K.A. (2014) Infrared Thermography (IRT) applications for building diagnostics: A review. *Applied Energy*, 134, 531-549.
- Martin, M., Chong, A., Biljecki, F., & Miller, C. (2022). Infrared thermography in the built environment: A multi-scale review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 165.
- Morena, S., Bordese, F., Caliano, E., Freda, S., De Feo, E., & Barba, S. (2021) Architectural Survey Techniques for Degradation Diagnostics. An Application for the Cultural Heritage. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 46, 449-454.
- Moropoulou A., Avdelidis N. P., Karoglou M., Delegou E. T., Alexakis E. & Keramidas V. (2018) Multispectral Applications of Infrared Thermography in the Diagnosis and Protection of Built Cultural Heritage. *Applied Science*, 8 (2), 284.
- Pamart, A., Morlet, F. & de Luca, L. (2019) A fully automated incremental photogrammetric processing dedicated for collaborative remote-computing workflow. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 565–571.
- Ricciarini M. (2019) Rilievo digitale integrato per la descrizione del complesso fortificato di Trogir. In: Parrinello, S. & Picchio, F. (a cura di) *Dalmazia e Montenegro - Le fortificazioni Venete nel Bacino del Mediterraneo Orientale Procedure per la conoscenza e la Documentazione Digitale del Patrimonio Storico Fortificato*. Pavia, Pavia University Press, pp. 49-56.
- Rocha, J.H.A, Santos, C.F. & Póvoas Y.V. (2018) Evaluation of the infrared thermography technique for capillarity moisture detection in buildings. *Procedia Structural Integrity*, 11, pp. 107-113.

Volume pubblicato nel mese di marzo 2023

