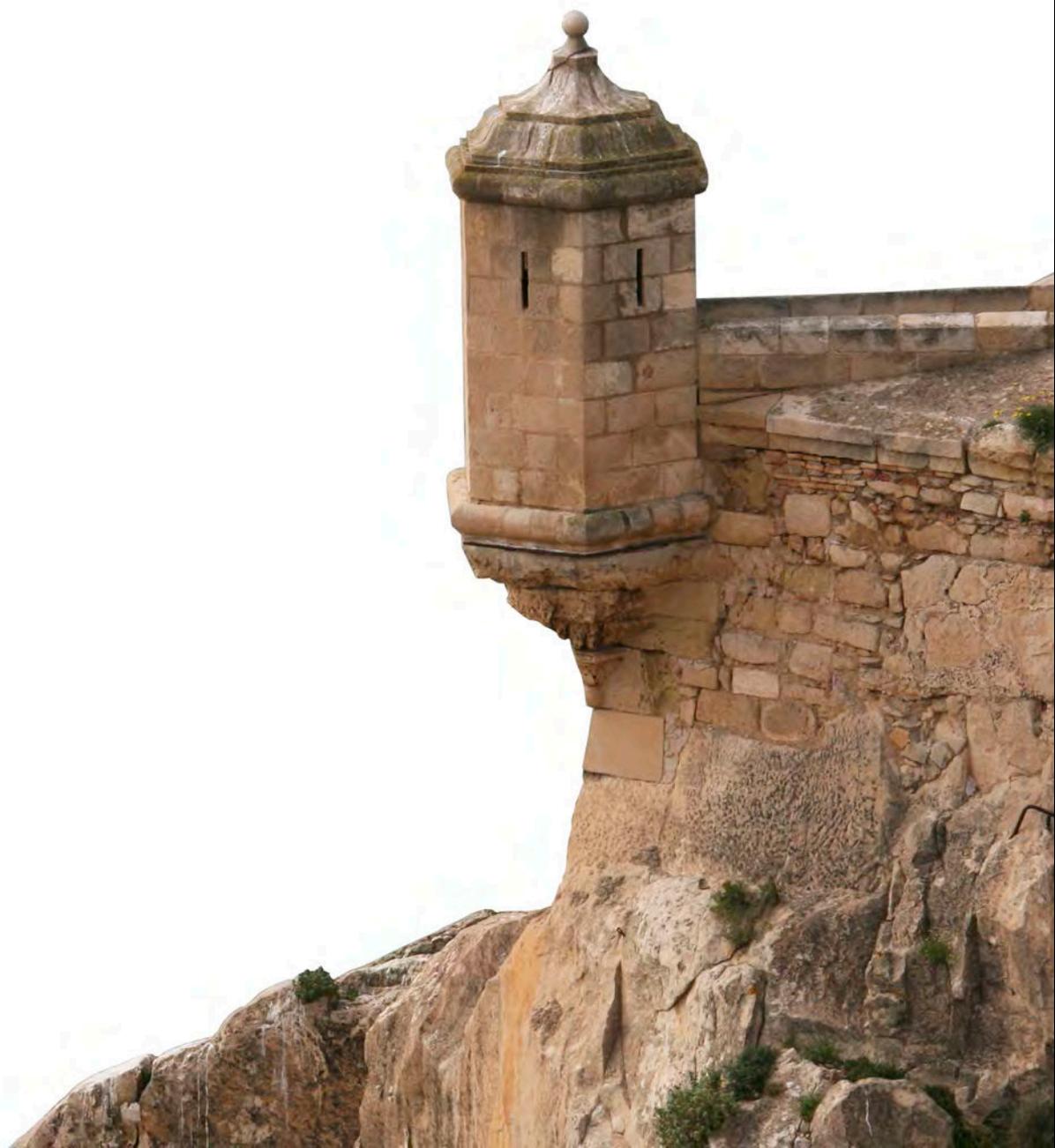


# 6 DEFENSIVE ARCHITECTURE OF THE MEDITERRANEAN XV to XVIII Centuries

Ángel Benigno GONZÁLEZ AVILÉS (Ed.)



DEFENSIVE ARCHITECTURE OF THE MEDITERRANEAN  
XV TO XVIII CENTURIES  
Vol. VI

PROCEEDINGS of the International Conference on Modern Age Fortifications of the Mediterranean Coast  
FORTMED 2017

DEFENSIVE ARCHITECTURE OF THE MEDITERRANEAN  
XV TO XVIII CENTURIES  
Vol. VI

Editor  
Ángel Benigno González Avilés  
Universidad de Alicante. Spain

EDITORIAL  
PUBLICACIONS UNIVERSITAT D'ALACANT

## **FORTMED 2017**

*Colección Congresos UA*

Los contenidos de esta publicación han sido evaluados por el Comité Científico que en ella se relaciona y según el procedimiento de la ``revisión por pares``.

© editor

Ángel Benigno González Avilés

© de los textos: los autores

© 2017, de la presente edición: Editorial Publicacions Universitat d'Alacant.

[www.publicaciones.ua.es/](http://www.publicaciones.ua.es/)

Imprime:

ISBN: 978-84-16724-76-5 (Vol.VI)

Depósito legal: A 494-2017



## **Organization and committees**

### **Honorary Committee**

Manuel Palomar Sanz. Rector de la Universidad de Alicante. Spain  
Gabriel Echávarri Fernández. Alcalde de Alicante. Spain  
Milagros Flores Román. Presidenta de ICOFORT (ICOMOS, UNESCO)  
Daniel Simón Plá. Concejal de Cultura del Ayuntamiento de Alicante. Spain

### **Organizing Committee**

Víctor Echarri Iribarren. Universidad de Alicante. Spain (Chair)  
Ángel Benigno González Avilés. Universidad de Alicante. Spain (Organizing Secretariat)  
José Manuel Pérez Burgos. Dpto Patrimonio Integral y Unidad de N. Tabarca. Ayto de Alicante. Spain  
M<sup>a</sup>. Isabel Pérez Millán. Universidad de Alicante. Spain  
Antonio Galiano Garrigós. Universidad de Alicante. Spain  
José Luis Menéndez Fueyo. Fundación MARQ. Alicante. Spain  
Begoña Echevarría Pozuelo (Técnico de Cultura). Ayuntamiento de Alicante. Spain  
Luisa Biosca Bas (Restauradora). Ayuntamiento de Alicante. Spain  
Maribel Serrano. Universidad de Alicante. Spain  
Roberto Yáñez Pacios. Universidad de Alicante. Spain  
Mateo Aires Llinares. Universidad de Alicante. Spain  
Ginés Gómez Castelló. Universidad de Alicante. Spain  
Aitor Guijarro. Universidad de Alicante. Spain  
Justo Romero del Hombrebuena. Universidad de Alicante. Spain

### **Consultant Committee**

Pablo Rodríguez-Navarro. FORTMED President. Universitat Politècnica de València. Spain  
M. Teresa Gil Piqueras. Universitat Politècnica de València. Spain  
Giorgio Verdiani. Università degli Studi di Firenze. Italy

### **Scientific Committee**

Víctor Echarri Iribarren. Universidad de Alicante. Spain (Scientific Co-Chair)  
Pablo Rodríguez-Navarro. Universitat Politècnica de València. Spain (Scientific Co-Chair)  
Ángel Benigno González Avilés. Universidad de Alicante. Spain (Scientific Secretariat)  
Alessandro Camiz. Girne American University. Cyprus  
Alicia Cámara Muñoz. UNED. Spain  
Andreas Georgopoulos. Nat. Tec. University of Athens. Greece  
Andrés Martínez Medina. Universidad de Alicante. Spain  
Anna Guarducci. Università di Siena. Italy  
Anna Marotta, Politecnico di Torino. Italy  
Antonio Almagro Gorbea. CSIC. Spain  
Arturo Zaragoza Catalán. Generalitat Valenciana. Castellón. Spain  
Boutheina Bouzid. École Nationale d'Architecture. Tunisia  
Concepción López González. Universitat Politècnica de València. Spain

Faissal Cherradi. Ministerio de Cultura del Reino de Marruecos. Morocco  
Fernando Cobos Guerra. Arquitecto. Spain  
Francisco Juan Vidal. Universitat Politècnica de València, Spain  
Gabriele Guidi. Politecnico di Milano. Italy  
Giorgio Verdiani. Università degli Studi di Firenze. Italy  
Gjergji Islami. Universiteti Politeknik i Tiranës. Albania  
João Campos, Centro de Estudos de Arquitectura Militar de Almeida. Portugal  
John Harris. Fortress Study Group. United Kingdom  
María Isabel Pérez Millán. Universidad de Alicante. Spain  
Nicolas Faucherre. Aix-Marseille Université – CNRS. France  
Per Cornell. University of Gothenburg. Sweden  
Philippe Bragard. Université catholique de Louvain. Belgium.  
Rand Eppich. Universidad Politécnica de Madrid. Spain  
Sandro Parrinello. Università di Pavia. Italy  
Santiago Varela Botella. Generalitat Valenciana. Alicante. Spain  
Stefano Bertocci. Università degli Studi di Firenze. Italy  
Stefano Columbu. Università degli Studi di Cagliari. Italy  
Yolanda Spairani Berrio. Universidad de Alicante. Spain

## Note

This conference was made in the frame of the R & D project entitled "SURVEILLANCE AND DEFENSE TOWERS OF THE VALENCIAN COAST. Metadata generation and 3D models for interpretation and effective enhancement" reference HAR2013-41859-P, whose principal investigator is Pablo Rodríguez-Navarro. The project is funded by the National Program for Fostering Excellence in Scientific and Technical Research, National Sub-Program for Knowledge Generation, Ministry of Economy and Competitiveness (Government of Spain).

*Este congreso está realizado bajo el marco del Proyecto I+D+i de título "TORRES DE VIGÍA Y DEFENSA DEL LITORAL VALENCIANO. Generación de metadatos y modelos 3D para su interpretación y efectiva puesta en valor" referencia HAR2013-41859-P, cuyo investigador principal es Pablo Rodríguez-Navarro. El proyecto está financiado dentro del Programa Estatal de Investigación Científica y Técnica de Excelencia, Subprograma Estatal de Generación de Conocimiento, del Ministerio de Economía y Competitividad (Gobierno de España).*

**Organized by**



**Funded by**



Ref: HAR2013-41859-P



**Partnerships**



**Support**



## Table of contents

<b>Preface</b> .....	XV
<b>Contributions</b> .....	1
<b>BUILT HERITAGE RESEARCH</b>	
The Renaissance Fortress at Civitella del Tronto: A Hypothesis for its Adaptive Reuse..... <i>P. Tunzi</i>	5
Nicosia's city walls. The morphological attraction of city gates .....	13
<i>A. Camiz</i>	
The ruins of the Castle of Conti D'Aquino in Belcastro (Catanzaro, Italy). Conservation, reuse and accessibility.....	21
<i>B. Mussari, A. M. Oteri, F. Todesco</i>	
Masonry Ceilings at the Dey Palace in the Citadel of Algiers .....	29
<i>S. Chergui</i>	
El entorno de la Iglesia-Fortaleza de N <sup>a</sup> S <sup>a</sup> de la Encarnación de Motril (Granada). Modulación proyectual para su recuperación, puesta en valor y difusión.....	39
<i>C. Rosa-Jiménez, M. J. Márquez-Ballesteros, A. E. García-Moreno</i>	
La Isla Plana, intervenciones recientes en sus murallas.....	47
<i>S. Varela Botella, S. Varela Rizo</i>	
The round corner tower of Kyrenia's city walls (1211-1232) .....	55
<i>A. Camiz, M. Griffo, S. Baydur, F. Tuğçe Fidan, S. Khalil</i>	
Aplicación de la técnica de Trabajos Verticales a intervenciones puntuales en el Castillo de Santa Bárbara de Alicante.....	63
<i>C. D. Sirvent Pérez</i>	
Fortifications of Stato dei Presidii. The gateways of Spanish Governors and the Guzmán Powder Magazine in Orbetello. History, military technique and musealization .....	71
<i>F. Broglia</i>	

Estudio de accesibilidad al Castillo de Santa Bárbara.....	77
<i>J. R. Sepulcre Segarra, J. Berná Amorós</i>	
Fortificaciones modernas de los castillos roqueros del río Palancia.....	83
<i>C. López González</i>	
Il Torrione Poligonale e lo sviluppo della porzione orientale del Castello di Gallipoli.....	91
<i>A. Quarta</i>	
Inhabited ruin heritage: stone and water in the defensive system of Tala Aougrou. (Gourara, Algerian Sahara).....	99
<i>I. Mahrour</i>	
La Torre Grossa del Castell de Castalla (Alicante, España). Un ejemplo primerizo de arquitectura pre-abaluartada en el sur del Reino de Valencia .....	107
<i>M. Bevià i Garcia, J. A. Mira Rico, J. R. Ortega Pérez, V. R. Baldaquí Escandell, M. B. Yáñez Martínez</i>	
Burj Qal’at al-Fül, the ottoman shore fortress of Algiers city. Between permanence and transformation.....	115
<i>S. Benselama-Messikh</i>	
The curtain of Porta Balice in Cagliari.....	123
<i>V. Bagnolo</i>	
Western Liguria: a network of fortifications, from the coast reaches the interior valleys.....	131
<i>E. T. Clotilde Marchis</i>	
Constructive Characteristics of the Citadel of Algiers (Algeria).....	137
<i>A. Abdessemed-Foufa</i>	
Architectural and landscape study of Medieval Fortifications. Case study of “Béni Abbes” fortress in Bejaia, Algeria .....	145
<i>O. Mohand, A. Abdessemed-Foufa</i>	
The 15th c. Venetian Fortifications of Nafpaktos (Lepanto), Greece.....	153
<i>Stavros Mamaloukos</i>	
Drawings and archive documents of Hierosolomytan Castles in Southern Italy.....	161
<i>F. Castanò, P. Rossi</i>	
The Spanish civil optical telegraphy network. Approach to a fortified telecommunication system.....	169
<i>P. Bértolo Valero</i>	
Técnicas y trazado frente a la artillería, el caso del fuerte de Santa Cruz en Orán - Argelia.....	177
<i>S. Metair</i>	
Before and after Ribera. Coastal defenses of Northern Capitanata in the early modern age.....	183
<i>M. Coppola</i>	

La recuperación del patrimonio como espacio público.....	191
<i>C. Ruiz Peral, J. Vera Belló</i>	
El castillo de San Julián de Cartagena .....	199
<i>D. Ros McDonnell, M. J. Jiménez Meca</i>	
Under attack again. Difendersi all’ombra del “Monte del fuoco”. Il caso di Torre Albani di Montignano, Senigallia, Italia.....	207
<i>P. Formaglini, A. Giacomelli, F. Giansanti, S. Giraudeau</i>	
Análisis de las fuentes documentales y cartográficas para el estudio de las torres defensivas coasteras de la provincia de Castellón (España) .....	213
<i>J. M. Melchor Monserrat, C. Pardo Nacher</i>	
Coastal towers in the Bay of Xàbia: assessment and interpretation .....	221
<i>F. J. Vidal</i>	
El baluarte del Grao de Valencia. Un avance fortificado al mar .....	229
<i>S. Lillo Giner</i>	
Una aproximación al carácter defensivo de la Catedral de Almería: el descubrimiento de la cimentación de una séptima torre defensiva .....	235
<i>A. Palenzuela Navarro</i>	
Napoleonic military architectures on island of Elba .....	241
<i>G. L. Dalle Luche, E. Jolanta Karwacka</i>	
The Santa Croce wall structure of Cagliari's ancient fortifications (Sardinia, Italy): construction technologies and stone decay .....	249
<i>S. Columbu, A. Pirinu</i>	
L’opera di Punta Rossa (Sardegna, Italia).....	257
<i>S. Pieri</i>	
Fortificazioni vicereali in Calabria meridionale. I castelli di Oppido, Bovalino Superiore e Monasterace.....	267
<i>F. Martorano</i>	
The ancient mortars of Serravalle fortification (Bosa, Italy): a case study .....	275
<i>S. Columbu, F. Fratini, E. Pecchioni, E. Cantisani</i>	
Malte ‘fortificate’: lo studio delle malte di allettamento nei fortini peruzziani delle mura di Siena (Italia) .....	283
<i>M. Giamello, S. Columbu, F. Gabbrielli, S. Mugnaini, A. Scala</i>	
Il rilievo digitale del waterfront del centro storico di Taranto (Italia).....	291
<i>S. Bertocci</i>	

Architettura fortificata nei Presidios spagnoli: il caso dell'Isola d'Elba .....	299
<i>L. Piga</i>	

## DIGITAL HERITAGE

Fortifications and documentation: the case of Fortezza Vecchia in Livorno. State of the digital survey 2017.....	311
<i>G. Verdiani</i>	

From project drawings to digital modeling in different representation scales. The Citadel of Alessandria .....	319
<i>A. Marotta, E. T. Clotilde Marchis, R. Netti</i>	

Coastal towers in the Mediterranean of XVI century: a comparison between Sicilian and Valencian .....	329
<i>A. Lo Faro, P. Rodríguez-Navarro, C. Santagati, M. Mangani</i>	

Documentation strategy for coastal towers of the Mediterranean: the case of the tower in the archeological site of Saturo (TA-ITA).....	337
<i>M. Bercigli</i>	

TOVIVA Project: una experiencia en torno al proyecto de defensa de la costa valenciana entre los siglos XVI al XVII .....	345
<i>P. Rodríguez-Navarro</i>	

Digital tools for documentation and interpretation of the fortification system of Elba: the Giove Fort as a connection point between ancient routes and visual targets. ....	353
<i>G. Baldi, M. Pucci, G. Verdiani</i>	

The Fortress of Giove (or Giogo) on the Elba Island: 3D survey for knowledge and dissemination .....	361
<i>A. Mancuso, A. Pasquali, G. Verdiani</i>	

Relational and conceptual models to study the Mediterranean defensive networks: an experimental open database for content management systems .....	369
<i>L. Serra</i>	

Geometrical processing of real data for Finite Element Analysis of historical fortified structures .....	377
<i>S. Gonizzi Barsanti, G. Guidi, P. Rodriguez Navarro</i>	

Ruoli della rappresentazione nei processi di analisi, codifica e valorizzazione: il Castello Giusso di Sicignano degli Alburni.....	385
<i>G. M. Cennamo</i>	

## CULTURE, MANAGEMENT AND INTERVENTION

Cervantes and Shakespeare and their impact on the Conservation of two Mediterranean Fortifications.....	395
<i>R. Eppich, J. L. Garcia Grinda</i>	

Valorizzazione e gestione partecipata delle torri costiere nella borgata di Mondello a Palermo .....	403
<i>F. Schilleci, M. Picone</i>	
A multidisciplinary approach to study Sardinian coastal towers. Restoration, conservation and archaeological research.....	411
<i>M. Serra, P. Vargiu, E.Cannas</i>	
Propuesta de plan director para el Castillo de San Fernando de Alicante: La reactivación ecológica del patrimonio defensivo como espacio público accesible .....	419
<i>C. Pastor García, L. Fernández González</i>	
La musealización del Castell de Castalla (Alicante, España). Un nuevo aporte para una situación pobre en el contexto de la provincia de Alicante .....	427
<i>J. A. Mira Rico, M. Bevià i Garcia, J. R. Ortega Pérez</i>	
Paesaggi Forti. Leggere le forme per riconfigurare i ruoli del sistema di fortificazioni dell’Arsenale Militare della Spezia nel paesaggio urbano contemporaneo. Il caso di Marola. ....	435
<i>L. Marinaro, S. Di Grazia</i>	
Devalorization of Spanish fotifications, case of canatel gate.....	443
<i>M. C. Selka, I. Oussadit, M. N. Ouissi</i>	
Tangier: a cultural bridge on the Strait of Gibraltar. A project proposal for the valorisation of the relationship between the old city and the harbour.....	447
<i>B. Ruggieri, M. Giorgio Bevilacqua, C. Calvani, R. Pierini</i>	
Piemonte, torri di controllo sulle vie per il mediterraneo.....	455
<i>N. Fabris</i>	
Mirar, conectar, Santa Bárbara .....	463
<i>O. Moya Martínez, S. J. Sánchez Orts</i>	
Sistema difensivo costiero del promontorio di Saturo: tecnologie digitali per aumentare il coinvolgimento attivo del visitatore e per preservare il patrimonio architettonico .....	467
<i>T. Pignatale, I. Tramentozzi</i>	
From defensive system to urban space. A century of transformations of the “Castle” of Cagliari .....	475
<i>P. Sanjust, M. Pisanu</i>	
The relationship between fortification and landscape structure in Genova.....	481
<i>S. di Grazia, L. Marinaro, P. Granara</i>	
Digital models for the virtual reconstruction and the representation of the existing: the city gates of Turin.....	489
<i>M. Vitali</i>	

## **Fortifications and documentation: the case of Fortezza Vecchia in Livorno. State of the digital survey 2017**

**Giorgio Verdiani**

Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Firenze, Firenze, Italia, giorgio.verdiani@unifi.it

### **Abstract**

The “Fortezza Vecchia” (Old Fortress) in Livorno resumes many features of the fortified architecture realized in the Mediterranean in the Modern age, at the same time it has a significant stratification, with the clear sign of a continuous reuse, expansion and adaptation across time. Built from the XIV century it received main reconstructions and extension works from the XVI to the XX century. In early 2017 a complete digital survey (still ongoing at the time of this writing) has been started under the collaboration of Autorità Portuale di Livorno (Livorno Port Authority), Area3D S.l.r. and Dipartimento di Architettura, Firenze. The survey work has been planned using two 3D laser scanners with the implementation of topographical survey, terrestrial and areal (IUAV) photogrammetry. The paper proposed here will present the state of development of the data treatment and the specific methodology used to document such an important and large fortress.

**Keywords:** Fortress, Fortezza Vecchia, Livorno, Tuscany, Digital Survey.

### **1. Introduzione**

La documentazione del patrimonio costruito è oggi una operazione strettamente digitale, le opportunità e i vantaggi in termini di tempo impiegato, possibilità di trattamento del dato, qualità del livello di dettaglio acquisito rendono superiore la soluzione di rilievo digitale a qualunque tecnica adottata in passato.

Nell'arco degli ultimi vent'anni, la consuetudine e la necessità oggettiva di produrre elaborati digitali, come disegni tecnici e tavole tematiche vettoriali, oppure ampiamente basati su materiali provenienti dalla fotografia digitale e dalla sua elaborazione, hanno portato a prevedere la finalizzazione di tutti gli elaborati in forma digitale. Con il crearsi di nuove necessità di condivisione e di gestione del dato secondo dinamiche ancora completamente in fase di sviluppo. Quelli che sono stati lungamente chiamati “nuovi strumenti” sono gradualmente, ma rapidamente diventati gli strumenti consueti

e contemporanei. Nelle modalità e nelle procedure si è quindi gradualmente instaurata la percezione, quando non anche la comprensione, di come un approccio basato su rilievo digitale permetta assoluta precisione, maggiore copertura, maggior sicurezza nelle operazioni.

Nell'operazione compiuta per la Fortezza Vecchia di Livorno si è scelto di attuare un rilievo documentativo estremamente dettagliato, mirato alla produzione di elaborati a copertura totale dell'edificio, con sessioni eseguite con Laser Scanner 3D, Stazione totale e fotogrammetria digitale sia terrestre che da drone. La grande complessità dell'edificio e la sua cospicua dimensione hanno fatto preferire di gran lunga un approccio basato su una base topografica consistente, tale da permettere il continuo raccordo di ogni scansione o gruppo di scansioni ad un sistema unitario, certo ed affidabile. La richiesta dell'Autorità Portuale di Livorno per un rilievo

dettagliato di questo patrimonio costruito si è sviluppata a partire dalla necessità di produrre elaborati certi, corretti da un punto di vista metrico ed accurati nella descrizione dello stato di conservazione e delle lesioni di tutto il complesso. Lo sviluppo delle operazioni di rilievo e restituzione ha visto la collaborazione del Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze con Area3D S.r.l. di Livorno. Tutte le operazioni di restituzione sono state mirate alla produzione di modelli tridimensionali semplificati e specifici per uso multimediale e di modelli parziali per supportare la produzione di rappresentazioni bidimensionali di piante, prospetti e sezioni. Nell'insieme delle procedure sia di rilievo che di rappresentazione sono state adottate alcune soluzioni integrative, funzionali e innovative che hanno permesso una notevole miglioria nelle operazioni generali di rilievo e restituzione.

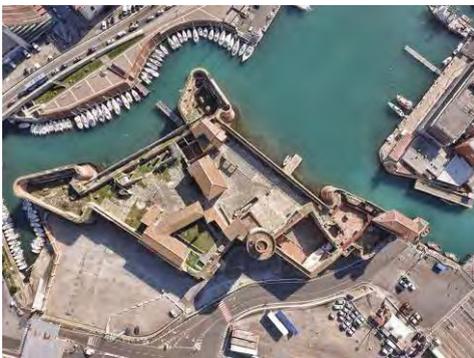


Fig. 1- Vista aerea da unità UAV del complesso della Fortezza Vecchia (L. Scaletti, 2017)

## 2. Note storiche

Secondo i principali studi storici, il nucleo originario della fortezza Vecchia è databile intorno al X-XI secolo ed è rappresentato da una torre quadrata in laterizio posta ai margini del porto Pisano, verosimilmente parte del *Castrum Liburni* riportato come presente nel 1017 [Piancastelli 1995]. Si trattava di un primo insediamento sulla formazione rocciosa che avrebbe poi gradualmente costituito base e probabilmente anche la cava dei materiali, per la forma definitiva del complesso.

Una posizione strategica, direttamente affacciata sul mare e capace di fare da capo e passaggio per la

complessa rete del sistema di avvistamento tra costa, entroterra ed isole a difesa e presidio del territorio [Guarducci, Piccardi, Rombai, 2014].

Il *Castrum* vede una serie di passaggi di proprietà dal 1076 e fino al 1120, anno in cui diviene possesso dell'Arcivescovo di Pisa Attone [Cagianelli, Matteoni, 2003].

In questa fase le vicende di Livorno si legano strettamente a quelle della Repubblica di Pisa, e dopo la vittoria di quest'ultima contro la rivale Genova nel 1241 al largo dell'Isola del Giglio, viene presumibilmente edificato il torrione a pianta circolare, denominato poi "Mastio di Matilde" [Piombanti, 1903]. Nel 1376 le due torri furono riunite secondo un'unica cinta muraria. L'organismo che si venne a costituire prese il nome di Rocca Nuova, una struttura oggi ancora visibile e riconoscibile e indicata come "Quadratura dei Pisani". Il nuovo fortilizio quadrangolare si configurava come una postazione difensiva sul mare [Ceccarini, 2009].

In seguito al declino di Pisa, la fortezza passò nel 1404 al Re di Francia, che incaricò J. le Meingre, governatore di Genova, di potenziarne le strutture. In una fase storica di innovazioni balistiche e con l'introduzione delle prime armi di artiglieria si rese necessaria la collocazione di feritoie e bocche da sparo in relazione anche a rapporti tiro-gittata geometricamente studiati.

Successivamente agli interventi dei Francesi, la fortezza passò nelle mani di Firenze (1405). Fin dalla Signoria di Lorenzo il Magnifico si cominciò ad investire nell'accrescimento del borgo di Livorno, incoraggiandone lo sviluppo commerciale. Fece seguito a questo periodo la riorganizzazione della Fortezza ad opera di Antonio da Sangallo: Questa ulteriore trasformazione della fortezza risale quindi al XVI secolo, quando i Medici, divenuti di nuovo padroni di Firenze e di Livorno, vollero realizzare un nuovo organismo a difesa del porto della città [Vivoli, 1903].

I lavori di costruzione del complesso, voluti e finanziati dal Cardinale Giulio de' Medici, iniziarono nel 1519 con l'edificazione del bastione detto "dell'Ampolletta" e delle cortine est e sud; questi proseguirono con la costruzione

dei bastioni Canaviglia e Capitana nel 1523 e si conclusero nel 1533. Parallelamente alla costruzione dei bastioni e delle cortine, nel 1520 erano iniziati anche i lavori di scavo del fossato che doveva separare la fortezza dal borgo, e che successivamente sarebbe diventato parte di un sistema unitario rappresentato dal progetto idraulico di Claudio Cogorano del 1606, avviato con lo scavo del fosso Reale e proseguito successivamente con la costruzione del quartiere della “Venezia Nuova”.

All’inizio del XVI secolo, con il perimetro murario ancora incompleto, venne definito il sistema degli ingressi. Furono collocate due porte: una verso la città che conduceva, attraverso una rampa, alla piattaforma principale denominata Piazza del Castello; l’altra, in corrispondenza di un molo di maggiori dimensioni (l’attuale Molo del soccorso), che si affacciava direttamente sulla Darsena. Successivamente, il granduca Cosimo I de’ Medici volle attuare un intervento significativo su tutta la fortezza, trasformandola in un presidio difensivo di grande efficacia, completandone molte delle strutture, potenziando i sistemi precedenti e facendo anche costruire un palazzo integrato nelle strutture esistenti. Questo edificio venne completato nel 1546 e inglobava parte della Quadratura dei Pisani, tuttavia non è giunto nel nostro tempo, essendo stato ridotto in macerie durante la Seconda guerra mondiale. Con Cosimo vennero costruiti anche il canale navigabile “dei Navicelli” (1564) e fu avviata nel 1572 la costruzione del nuovo porto, poi interrotta dopo la morte del granduca.

Con l’insediamento del nuovo granduca Francesco I, venne avviata la realizzazione del progetto di Bernardo Buontalenti, in cui la Fortezza resta isolata sull’acqua e andando a costituire il quinto bastione della nuova cinta muraria urbana.

Tra le opere di adattamento e rinnovamento di questa fase rientra anche la realizzazione della palazzina rivolta verso il mare e la costruzione di una piccola cappella dedicata a S. Francesco. Successivamente, nel XVIII e XIX secolo, le funzioni della fortezza iniziarono gradualmente ad orientarsi verso una maggior funzione di caserma e di “contenitore” di armamenti. Nel

1769 con il passaggio del Granducato di Toscana ai Lorena la fortezza Vecchia divenne sede di una caserma militare [Nudi, 1959].

A seguire, con l’occupazione napoleonica, vennero avviate varie operazioni di aggiornamento delle fortificazioni, con il sopraelevamento dei bastioni e le aperture di numerose cannoniere. Con l’inizio del XIX secolo la fortezza subì ulteriori modifiche, sia architettoniche che di rifunzionalizzazione. Tra queste la conversione a prigione, avvenuta nel 1825. Con l’Unità d’Italia, dal 1865, la fortezza venne di fatto considerata come facente parte del limitrofo quartiere urbano e successivamente venne inglobata nell’area doganale del porto.



Fig. 2- Vista aerea da unità IUAV del complesso della Fortezza Vecchia (L. Scaletti, 2017)

Nel 1908 il Ministero della Guerra del Regno d’Italia concluse la cessione al Comune di Livorno della fortezza. A partire da questa data si va a definire in maniera chiara una divisione tra la parte superiore, utilizzata prevalentemente come deposito di armi e munizioni, e quella inferiore, adibita a deposito di vini, olii e materiali da esportare. Questa significativa trasformazione portò anche a vari interventi di adattamento, con l’apertura di nuovi accessi atti a favorire soprattutto le operazioni di movimentazione delle merci. Se l’introduzione della polvere da sparo fu un elemento determinante per la trasformazione della fortezza, al tempo stesso l’evoluzione e il potenziamento delle armi esplosive nel XX secolo ne misero per due volte a rischio l’esistenza. Il primo evento disastroso accadde il 13 agosto del 1918 con l’esplosione della nave

Etruria che causò danni ingenti al complesso, in particolare alla palazzina medicea di Francesco I del bastione della Canaviglia, alle murate esterne e ai ballatoi inferiori e superiori della Quadratura dei Pisani. Successivamente, riparati questi danneggiamenti, la fortezza operò fino alla Seconda guerra mondiale come caserma militare, divenendo però obiettivo strategico dei bombardamenti alleati: il 28 maggio del 1943, durante un pesante attacco aereo a Livorno, il complesso venne centrato da alcune bombe che colpendo i depositi di esplosivi nell'area nord, produssero gravissimi danni al bastione della Capitana e al sistema di spazi e gallerie di quel settore. Nel Dopoguerra, con la ricostruzione e la riorganizzazione dello Stato, la fortezza passò al Ministero della Pubblica Istruzione (1948); negli anni successivi, la Soprintendenza, attraverso P. Sanpaolesi e S. Assuant, avviò una serie di interventi orientati al recupero, restauro e adattamento di una struttura che risultava molto sofferta. L'insieme delle operazioni portò all'esecuzione di opere di rinforzo di molte murature, ma anche alla demolizione di molte parti pericolanti e ritenute di difficile recupero.

L'accesso al pubblico della fortezza venne dato a partire dal 1969; nel 1970 furono aperti la porta del Duca e il cortile d'Armi e furono completati vari restauri minori, tra cui il rifacimento della facciata della Chiesa di S. Francesco. Tuttavia, già nel 1971 il complesso fu nuovamente chiuso a causa della "mancanza di fondi per un suo decoroso mantenimento". Successivamente, dal 1974 al 1978 prese il via una nuova campagna di restauro ed in contemporanea venne dato inizio alle prime indagini strutturali ed archeologiche con l'individuazione delle originarie preesistenze e la definizione della consistenza strutturale del complesso. I lavori di intervento e di restauro proseguirono per tutti gli anni '70, '80 e '90: progressivamente vennero completate le ricuciture della cortina muraria danneggiata dagli eventi bellici e fu consolidata la grave lesione del bastione della Capitana; con queste operazioni vennero anche introdotti i primi camminamenti basati su passerelle in ferro, che permisero la strutturazione di un percorso di visita completo e di fatto migliorativo rispetto a

quello del 1970, seppur introducendo un elemento architettonico non sempre ben integrato alle preesistenze. Con il proseguire dei lavori sono stati introdotti anche sistemi di illuminazione, impianti tecnici, rampe per migliorare l'accessibilità e nuovi tratti di passerelle e scale, il tutto a volte secondo un piano non del tutto chiaro, apparentemente volto più alla soluzione delle molteplici necessità che non alla definizione di un programma unitario di visita e fruizione del complesso. Vari edifici sono stati ripristinati e adattati a nuove funzioni, aumentando significativamente la possibilità di accesso e coscienza di questo particolare patrimonio costruito da parte dei visitatori.

Le molte aree ancora in disuso (come la maggior parte del settore nord, ricostruito e consolidato, ma non pienamente ripristinato ad un uso pubblico), e la palazzina medicea sul bastione a sud (che mostra la necessità di significativi nuovi interventi di manutenzione), aumentano così in maniera graduale la loro possibilità di essere reintegrate ad una presenza attiva nel quadro generale degli accessi alla fortezza. Appare quindi gradualmente evidente, come, per documentare una così articolata storia costruttiva, sia necessario un adeguato intervento di documentazione e rilievo. Aggiornato e dettagliato in maniera opportuna. Nel gennaio del 2017, al fine di avviare un piano di interventi e definire una chiara base conoscitiva sullo stato della fortezza, l'Autorità portuale di Livorno ha affidato ad un team composto dalla società Area3D Livorno e dal Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze, il compito di realizzare un rilievo completo di tutta la fortezza, in modo da aggiornare in maniera completa lo stato delle conoscenze di questo complesso al fine di avviare appropriate strategie di fruizione e tutela della "Fortezza Vecchia".

## **2. La strutturazione del rilievo digitale**

Come spesso capita nel definire una campagna di rilievo per un edificio di grandi dimensioni e di elevata complessità, un primo passaggio è costituito dal vaglio delle basi precedentemente realizzate e dai disegni esistenti. Nel caso della Fortezza Vecchia, i materiali già a disposizione

dell'Autorità Portuale sono risultati poco consistenti e spesso risultato di sensibili approssimazioni, caratterizzati da procedure di rilievo diretto e restituzioni tese a produrre elaborati massivi e scarsamente dettagliati. Il successivo piano degli interventi ha quindi pianificato una strategia di rilievo integrato basato su tre linee operative principali: rilievo topografico con stazione totale; rilievo con laser scanner 3D; rilievo fotogrammetrico da terra ed aereo con unità UAV.



Fig. 3- Febbraio 2017, una delle unità laser scanner 3D al lavoro (G. Verdiani, 2017)

Questa soluzione, in genere molto classica, ha qui risposto efficacemente alla necessità di dover programmare in maniera molto articolata la totalità degli interventi: gli spazi complessi, a volte senza accesso da decenni, i vani con condizioni di sicurezza da ripristinare, le condizioni atmosferiche, non sempre costanti in una campagna di rilievo della durata di circa due settimane complessive e, in ultimo, alcune tempistiche legate alle maree, alle autorizzazioni, ai tempi tecnici per alcuni interventi specifici (come lo svuotamento delle cisterne e dei condotti, operato dai Vigili del Fuoco di Livorno) hanno posto la necessità di poter condurre l'insieme delle operazioni di rilievo in un ordine "fluidico" capace di ripensare le singole giornate in ogni momento e di portare comunque a compimento una copertura totale ed accurata. La scelta di una base topografica di riferimento è quindi diventata strategica per tutte le altre operazioni. La definizione della rete dei punti fissi a cui fare riferimento per ogni gruppo di operazioni laser scanner 3D o fotografiche ha

richiesto la materializzazione attraverso target piani (e quindi stabilmente fissati con appositi collanti di facile rimozione, disposti in maniera tale da essere scarsamente soggetti a possibili spostamenti causati da vento, pioggia, insolazione) che garantissero stabilità e continua possibilità di raccordo per ogni singola operazione. Pur stabilendo una rete di collegamento stabile anche per singole scansioni, la procedura preferenziale con cui si sono operate le misurazioni ha fatto preferire "blocchi" il più possibile in continuità tra loro, con un adeguato livello di sovrapposibilità e cercando sempre di sfruttare al meglio il rapporto delle aree comuni tra scansioni e la capacità di ogni gruppo di postazioni di scansione di tracciare punti della rete topografica. In questo modo, settori ampi dell'insieme architettonico sono stati realizzati evitando una eccessiva ridondanza del dato e mantenendo una solida possibilità di allineamento. Le operazioni di rilievo topografico sono state condotte attraverso due stazioni stazione totali, utilizzando un'unità Leica TCR 805 Ultra (R300) *reflectorless* e un'unità Leica TCR 705 *reflectorless*, realizzando una rete topografica con poligonale chiusa composta da 39 postazioni, da cui sono stati rilevati 355 punti target appositamente applicati per tutta la durata del rilievo. Le operazioni di rilievo laser scanner 3D sono state attuate attraverso 3 unità a variazione di fase, Cam/2 Faro Focus, nello specifico due modelli MS120 e un X330, con le due unità MS120 frequentemente utilizzate in coppia al fine di accelerare le operazioni di copertura complessiva. Entrambi i modelli utilizzati offrono un angolo di campo per la ripresa orizzontale di 360° e un angolo di campo verticale di 320°, offrono una accuratezza di circa 2 millimetri dieci metri di distanza per ogni punto rilevato e una portata di presa fino a 120 metri (modelli MS120) e fino a 330 metri (modello X330). Gli ampi spazi interni si sono ben prestati all'impiego di più unità operative nello stesso tempo, ovviamente, salvo casi eccezionali dovuti alla sequenza delle operazioni, l'uso di due scanner abbinati si è svolto in settori differenti e secondo sequenze di scansioni ben differenziate. La grande velocità operativa di questo tipo di strumenti ha permesso di portare a compimento tutte le operazioni di misurazione in circa 12

giorni complessivi, producendo un insieme di 750 scansioni effettive per la copertura completa di interni ed esterni. Alcune delle operazioni sono state condizionate dalla necessità di mettere in sicurezza e rendere accessibili alcuni vani, ma in definitiva tutte le operazioni sono state condotte con notevole rapidità. Nelle attività di rilievo laser scanner 3D sono state utilizzate anche alcune soluzioni originali e specifiche al fine di favorire operazioni di misurazione altrimenti difficoltose. Nello specifico: utilizzo di una testa a sfera di tipo fotografico, inserita tra cavalletto ed attacco dello scanner, che si è rivelata particolarmente versatile per posizionare rapidamente lo strumento e permettere scansioni da posizioni estremamente a ridosso di piccole aperture, come le molte fuciliere (presenti in forme anche molto complesse nella fortezza). Utilizzo di un mini cavalletto di tipo fotografico e di portata adeguata per favorire ed accelerare tutte le operazioni di misura in spazi angusti e lungo scale, infatti, il treppiede standard previsto per questi modelli di scanner, pur permettendo la ripresa da posizioni molto basse, comporta comunque l'ingresso delle gambe del treppiede stesso nel campo di scansione ed una fase di riposizionamento (specie nelle scale a chiocciola) a volte di durata non breve. Grazie all'utilizzo del mini treppiede, si è anche ridotto notevolmente lo spazio di occlusione verso terra.



Fig. 4- Uso della testa a sfera per la ripresa all'interno delle fuciliere (G. Verdiani, 2017)

Per la parte relativa al rilievo fotogrammetrico, questa è stata condotta in due sessioni ben separate: quella dedicata alle riprese da terra e orientata alla produzione di elaborati finalizzati alla produzione di fotopiani di tutti i fronti ed una fatta per ripresa aerea utilizzando una unità

UAV e finalizzata alla produzione di un modello generale, orientato ad applicazioni multimediali e di presentazione [Rodriguez-Navarro, Gil-Piquera, Verdiani, 2015], ma anche utile al fine di verifiche della situazione delle coperture, specie per le parti non raggiungibili dalle unità laser scanner 3D. Oltre a queste due campagne di documentazione principali, si è realizzata anche una campagna di riprese dedicate a catalogare e documentare le principali strutture murarie, gli elementi costruttivi, le aperture e i sistemi murari specifici (come feritoie, fuciliere, caditoie, ecc...) una operazione metodica ed estesa, pensata al fine di supportare efficacemente le successive operazioni di restituzione permettendo una visualizzazione di elevato dettaglio dei particolari più significativi.



Fig. 5- Uso del mini treppiede per la ripresa di scale e piccoli vani (A. Peruzzi, 2017)

Le riprese da terra sono state eseguite con fotocamere DSLR con sensori da 24 Mp (Nikon D3300, con ottica standard 18-55mm) e 36.4 Mp (Nikon D800e con ottica Nikkor 24-120mm F4.0 o ottica Nikkor 75-300mm F4.5). La campagna fotografica da terra ha prodotto circa 350 scatti selezionati per la restituzione dei fronti e circa 200 scatti per la documentazione delle murature e delle aperture.

Le riprese aeree sono state effettuate con drone *Dji Phantom 4* equipaggiato con fotocamera *FC-330* da 12 Mp. L'insieme complessivo delle riprese da drone ha prodotto un insieme di 220 scatti selezionati.

### 3. Prime operazioni di restituzione

Le operazioni di restituzione sono state avviate con le fasi di rilievo ancora in corso, questo al fine di verificare continuamente il livello di copertura e di controllare lo stato di avanzamento e la qualità di quanto ottenuto. Ovviamente il primo processo di restituzione è stato effettuato con l'allineamento delle scansioni, tra loro e con la rete topografica di riferimento, in modo da ricomporre in maniera efficace e graduale tutte le parti via via completate. Queste operazioni di messa a registro e primo trattamento del dato sono state condotte utilizzando Cam/2 Faro Scene 6.2 e Gexcel JRC 3D Reconstructor. Le operazioni finali di allineamento sono state portate a termine utilizzando JRC 3D Reconstructor. Durante la messa a registro, il modello via via prodotto è stato verificato anche manualmente, controllandone eventuali disallineamenti e imprecisioni. Effettuando sezioni e estrazioni di parti della nuvola complessiva è stato possibile controllare in maniera certa e avviare le eventuali correzioni in maniera da produrre un modello finale pienamente affidabile. Ad operazioni di allineamento completate, è stata prodotta una versione ottimizzata della nuvola di punti complessiva, esportata in formato Autodesk Recap per le successive operazioni di restituzione. Uno dei punti chiave delle operazioni di documentazione della Fortezza Vecchia è infatti la restituzione di elaborati bidimensionali classici (piante, prospetti, sezioni) atti a favorire le successive fasi della sua gestione e manutenzione.



Fig. 6- Modello complessivo della Fortezza Vecchia in Autodesk Recap (M. Gherardi, 2017)

In questo senso l'impiego dell'abbinamento Autodesk Recap con Autodesk Autocad è

risultato quanto mai efficace, permettendo rapide operazioni di restituzione e valida gestione del dato 3D senza la necessità di produrre volumi di dati intermedi basati su immagini e mantenendo la possibilità di beneficiare sempre della natura vettoriale del dato raccolto. Una volta individuati i piani di sezione per l'estrazione delle singole visualizzazioni, si sono avviate le operazioni cosiddette di "ribattitura" (di ridisegno vettoriale) della nuvola di punti in maniera da produrre tutti i disegni necessari.



Fig. 7- Operazioni di disegno tramite tavoletta grafica Wacom Cintiq (M. Mariotti, 2017)

Al fine di agevolare tutte le operazioni di ridisegno, ma specialmente per il tracciamento di pavimentazioni, dettagli complessi e segni articolati, si è particolarmente beneficiato dell'impiego di tavolette grafiche Wacom Cintiq (modello 13HD) che permettendo il disegno diretto su display tramite penna grafica con controllo estremamente accurato, hanno influenzato positivamente la qualità del risultato finale e ridotto notevolmente i tempi complessivi di restituzione. Tutte le operazioni di restituzione da campagna fotogrammetrica sono state invece condotte utilizzando Agisoft Photoscan, producendo dapprima elaborati di massima, ottimizzati per la visualizzazione e successivamente elaborati abbinati al dato della nuvola di punti 3D (tramite impiego di *markers* in punti comuni tra i due rilievi e referenziazione ad unico sistema di coordinate) e ottimizzati per la restituzione di prospetti e sezioni con qualità materica della rappresentazione.

#### 4. Conclusioni

La Fortezza Vecchia, grazie ad una accurata pianificazione e ad alcune soluzioni pensate in maniera specifica, si è rivelata un soggetto complesso, ma non avverso alle operazioni di rilievo, la presenza di passaggi facilmente accessibili, la grande dimensione di molti vani, gli spazi aperti e la presenza della torre del mastio centrale a dominare tutto il sistema delle coperture, hanno reso particolarmente agevole raggiungere un ottimo rapporto di copertura, pressoché totale per tutte le superfici architettoniche raggiungibili. L'esperienza maturata in quasi due decenni di attività nel settore del rilievo digitale e la presenza di un significativo avanzamento tecnologico specie nella gamma degli strumenti software hanno permesso di gestire ed affrontare tutto il sistema di rilievo in maniera complessa, ma agevole. Con pochi rallentamenti e senza che questi potessero incidere sulla qualità complessiva ottenuta nel dato finale. Al momento in cui si scrive (maggio 2017) il processo di restituzione si trova in corso d'opera ed

efficacemente orientato al completamento di tutta la prima serie di elaborati "tecnici" a comporre la prima e dettagliata restituzione dello stato della Fortezza Vecchia di Livorno.

#### Riferimenti

I rilievi per l'Autorità Portuale Livorno sono stati condotti da Area3D s.r.l. Livorno in collaborazione con il Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze. Responsabile delle operazioni per l'Autorità Portuale: M.G. Lodde – Coordinamento per Area3D: M. Gualandi e A. Peruzzi. Coordinatore Scientifico per il Dipartimento di Architettura: G. Verdiani. Rilievi topografici a cura di M. Dattile e F. Tioli. Rilievi fotogrammetrici UAV a cura dello Studio Scaletti Leandro, Signa. Gruppo operativo rilievo digitale: A. Peruzzi, M. Gualandi, G. Verdiani, L. Scaletti, C. Gira, I. Morganti, M. Gherardi, M. Mariotti. Operazioni di restituzione ed elaborazione grafica: M. Gherardi, M. Mariotti, A. Peruzzi, A. Raffoni.

#### Bibliografia essenziale

- Cagianelli F., Matteoni D. (2003), *Livorno, la costruzione di un'immagine: tradizione e modernità nel Novecento*, Silvana editore.
- Ceccarini S. (2009), La Fortezza Vecchia, in *Il Pentagono*, nn. 4-5, aprile-maggio.
- Nudi G. (1959), *Storia urbanistica di Livorno dalle origini al secolo XVI*, Volume 1 N. Pozza editore.
- Piancastelli Politi Nencini G. (a cura di) (1995), *La Fortezza Vecchia, difesa e simbolo della città di Livorno*, Cassa di Risparmio di Livorno, Amilcare Pizzi Arti Grafiche Editore, Cinisello Balsamo (Milano).
- Piombanti G. (1903), *Guida storica ed artistica della città e dei dintorni di Livorno*, Livorno.
- Vivoli G. (1974), *Annali di Livorno*, Livorno, 1976 (ristampa anastatica).
- Guarducci A., Piccardi M., Rombai L. (2012), *Atlante della Toscana tirrenica. Cartografia, Storia, Paesaggi, Architetture*, Livorno, Debate Editore.
- Guarducci A., Piccardi M., Rombai L. (2014), *Torri e fortezze della Toscana tirrenica. Storia e beni culturali*, Livorno, Debate Editore.
- Rodriguez-Navarro P., Gil-Piquera T., Verdiani G. (2015). Comprehensive Methodology for Documenting the Defense Towers of the Valencian Coast (Spain), in *Defensive Architecture of the Mediterranean XV to XVIII centuries*, Editorial Universitat Politècnica de València, vol I, pp. 321-328.
- Rodriguez-Navarro P., Gil-Piquera T., Verdiani G. (2016), TOVIVA PROJECT: Documenting the Spanish defense towers along the Valencian coast with a comprehensive digital methodology, in: *Electronic Imaging & the Visual Arts. EVA, Florence, 11-12 May 2016*, Firenze University Press, vol I, pp. 102-107.
- Verdiani G. (a cura di) (2016), *Defensive Architecture of the Mediterranean XV to XVIII centuries*, volume 3, Firenze, DiDAPress.
- Verdiani G. (a cura di) (2016), *Defensive Architecture of the Mediterranean XV to XVIII centuries*, volume 4, Firenze, DiDAPress.