

9 DEFENSIVE ARCHITECTURE OF THE MEDITERRANEAN

Anna MAROTTA, Roberta SPALLONE (Eds.)



PROCEEDINGS of the International Conference on Modern Age Fortification of the Mediterranean Coast
FORTMED 2018

DEFENSIVE ARCHITECTURE OF THE MEDITERRANEAN
Vol. IX

Editors
Anna Marotta, Roberta Spallone
Politecnico di Torino. Italy

POLITECNICO DI TORINO

Series Defensive Architectures of the Mediterranean

General editor
Pablo Rodríguez-Navarro

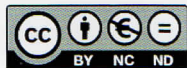
The papers published in this volume have been peer-reviewed by the Scientific Committee of FORTMED2018_Torino

© editors
Anna Marotta, Roberta Spallone

© papers: the authors

© 2018 edition: Politecnico di Torino

ISBN: 978-88-85745-10-0



FORTMED - Modern Age Fortification of the Mediterranean Coast, Torino, 18th, 19th, 20th October 2018

Organization and Committees

Organizing Committee

Anna Marotta. (Chair). Politecnico di Torino. Italy
Roberta Spallone. (Chair). Politecnico di Torino. Italy
Marco Vitali. (Program Co-Chair and Secretary). Politecnico di Torino. Italy
Michele Calvano. (Member). Politecnico di Torino. Italy
Massimiliano Lo Turco. (Member). Politecnico di Torino. Italy
Rossana Netti. (Member). Politecnico di Torino. Italy
Martino Pavignano. (Member). Politecnico di Torino. Italy

Scientific Committee

Alessandro Camiz. Girne American University. Cyprus
Alicia Cámara Muñoz. UNED. Spain
Andrea Pirinu. Università di Cagliari. Italy
Andreas Georgopoulos. Nat. Tec. University of Athens. Greece
Andrés Martínez Medina. Universidad de Alicante. Spain
Angel Benigno González. Universidad de Alicante. Spain
Anna Guarducci. Università di Siena. Italy
Anna Marotta. Politecnico di Torino. Italy
Annalisa Dameri. Politecnico di Torino. Italy
Antonio Almagro Gorbea. CSIC. Spain
Arturo Zaragoza Catalán. Generalitat Valenciana. Castellón. Spain
Boutheina Bouzid. Ecole Nationale d'Architecture. Tunisia
Concepción López González. UPV. 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
Marco Bevilacqua. Università di Pisa. Italy
Marco Vitali. Politecnico di Torino. Italy
Nicolas Faucherre. Aix-Marseille Université – CNRS. France
Ornella Zerlenga. Università degli Studi della Campania 'Luigi Vanvitelli'. Italy
Pablo Rodríguez-Navarro. Universitat Politècnica de València. Spain
Per Cornell. University of Gothenburg. Sweden
Philippe Bragard. Université catholique de Louvain. Belgium
Rand Eppich. Universidad Politècnica de Madrid. Spain
Roberta Spallone. Politecnico di Torino. Italy
Sandro Parrinello. Università di Pavia. Italy
Stefano Bertocci. Università degli Studi di Firenze. Italy
Stefano Columbu. Università di Cagliari. Italy
Teresa Gil Piqueras. Universitat Politècnica de València. Spain
Victor Echarri Iribarren. Universitat d'Alacant. Spain

Note

The 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 National Program for Fostering Excellence in Scientific and Technical Research, national Sub-Program for Knowledge Generation, Ministry of Economy and Competitiveness (Government of Spain).

Organized by



**POLITECNICO
DI TORINO**

Dipartimento di
Architettura e Design

Partnerships



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Patronages



CITTA' DI TORINO



unione
italiana
disegno



FONDAZIONE
DELL'ORDINE DEGLI
INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI
TORINO

Table of contents

Preface	XV
Contributions	
DIGITAL HERITAGE	
<i>Quivi surgeva nel lido estremo un sasso: la torre dell'Arma</i>	925
<i>M. Abbo, F. L. Buccafurri</i>	
Il Castello di Gorizia, analisi geometrica e rilievo con tecnologie avanzate.....	933
<i>G. Amoruso, P. Cochelli, V. Riavis</i>	
“Turris ad nocturnum navigantibus lumen”.....	941
<i>M. Arena, F. Fatta</i>	
Dalla dismissione alla valorizzazione: progetti e interventi per il Forte di Exilles (To) negli anni 1978-2018.....	949
<i>C. Bartolozzi, F. Novelli</i>	
Rilievo digitale dell'area archeologica costiera della Rocca di San Silvestro.....	957
<i>S. Bertocci, A. Lumini</i>	
New tools for the valorization and dissemination of the results of TOVIVA project.....	965
<i>S. Bertocci, P. Rodriguez-Navarro, M. Bercigli</i>	
Sperimentazioni cinquecentesche dei Sangallo verso le fortificazioni toscane. Il caso del Forte Sangallo a Nettuno.....	973
<i>D. Calisi, M. G. Cianci</i>	
Dalla nuvola di punti al progetto di restauro. L'estrazione di dati per la valorizzazione dell'antica fortificazione di Casertavecchia.....	981
<i>V. Cera, L. A. Garcia</i>	
Da castello a castello, il problema della difesa della costa ionica: i casi delle fortificazioni di Catania e Aci Castello.....	989
<i>G. Di Gregorio</i>	
Las torres vigías artilladas de Felipe II en la Región del Murcia. Representación tridimensional virtual de la Torre Navidad.....	997
<i>J. García León, P. E. Collado Espejo, M. Ramos Martínez, L. Cipriani, F. Fantini</i>	

Rappresentando il Forte di Gavi: ieri, oggi, domani.....	1005
<i>A. Marotta, V. Cirillo, O. Zerlenga</i>	
Rappresentazione sincronica e ricostruzioni diacroniche della Rocca di Senigallia. Un approccio di conoscenza integrato.....	1013
<i>A. Meschini, E. Petrucci</i>	
I sotterranei dei castelli di Otranto e di Gallipoli: dal rilievo laser scanner 3D all'analisi Strutturale.....	1021
<i>G. Muscatello, A. Quarta, C. Mitello</i>	
Rilievo tridimensionale del palazzo fortificato di Entella.....	1029
<i>R. Netti</i>	
Torri costiere nella Sicilia sud-orientale: il rilievo per la conoscenza e la messa in valore delle emergenze architettoniche.....	1037
<i>G. Nicastro</i>	
Sistemi fortificati dell'Adriatico centrale: indagini storiche, rappresentazioni contemporanee e ricostruzioni digitali.....	1045
<i>C. Palestini, A. Basso</i>	
Augmented Iconography. AR applications to the fortified Turin in the <i>Theatrum Sabaudiae</i>	1053
<i>V. Palma, M. Lo Turco, R. Spallone, M. Vitali</i>	
Il rilievo della torre degli Appiani a Marciana Marina.....	1061
<i>G. Pancani</i>	
Nuvole di punti per l'accessibilità universale del patrimonio storico: il caso studio del castello di Francolise.....	1067
<i>L. M. Papa, S. D'Auria</i>	
La Documentazione delle mura di Verona Rilievo, analisi e schedatura delle fortificazioni veronesi.....	1075
<i>S. Parrinello, P. Becherini</i>	
Sul limitare del Mediterraneo: Antonelli e la fortificazione di Gibilterra.....	1083
<i>S. Parrinello, F. Picchio, R. De Marco, A. Dell'Amico</i>	
Rappresentare l'architettura militare. Il bastione di Santa Croce a Cagliari in epoca sabauda.....	1091
<i>A. Pirinu, N. Contini, M. Utzeri</i>	
Il castello di Populonia: dal rilievo alla documentazione visuale.....	1097
<i>P. Puma, A. Guidi</i>	
Método para el levantamiento del patrimonio construido mediante técnicas digitales: Puerta de la Colada de la muralla de Ciudad Rodrigo (Salamanca).....	1101
<i>A. Sánchez Corrochano, A. Greco, D. Besana, E. Martínez Sierra</i>	

005	Un navigatore per monumenti: proposta di applicazione software per valorizzare i monumenti culturalmente e storicamente con soluzioni informatiche, GIS e GPS.....	1109
	<i>L. Serra</i>	
013	Partimonio costruito e BIM: il palazzo di Francesco de' Medici nella Fortezza Vecchia di Livorno fa un secondo passo nell'epoca digitale.....	1117
	<i>G. Verdiani, V. Donato, L. Pianigiani, F. Marsugli</i>	
021	Cannons, galleries, ruins and Digital Survey: a first report about the “Molo Cosimo” after seventy years of abandon.....	1125
029	<i>G. Verdiani, A. Frasconi</i>	
	CULTURE AND MANAGEMENT	
037	Il castello normanno di Ginosa (TA). Progetto di salvaguardia e valorizzazione di una memoria.....	1133
	<i>A. Albanese, F. Allegretti, C. Castellana, A. Colamonicò, F. Fiorio, M. Marasciulo</i>	
045	The fortification system on the Elba Island: analysis of the strategic evolution and the military technologies.....	1141
	<i>G. Baldi, A. Mancuso, A. Pasquali, M. Pucci</i>	
053	Un percorso virtuale nel Forte di Fenestrelle tra memoria e attualità.....	1149
	<i>O. Bucolo, D. Miron, R. Netti</i>	
061	La fruizione multimediale del Castello di Lecce.....	1157
	<i>G. Cacudi</i>	
067	Some aspect of relationships of old and new in moroccan fortification.....	1165
	<i>M. Cherradi</i>	
075	Tutela, recupero, valorizzazione delle torri costiere come parte integrante di sistemi territoriali complessi. La “nuova vita” della Torre di Cerrano (Abruzzo, Italia).....	1171
	<i>A. Colecchia</i>	
083	Estudio integral de la Torre Navidad, en Cartagena (España), para su correcta conservación, puesta en valor y musealización.....	1179
	<i>P. E. Collado Espejo, J. García León, J. F. García Vives</i>	
091	Fortified architecture in Spanish chain Paradores de Turismo. 90 years of heritage management for touristic purposes.....	1187
097	<i>P. Cupeiro López</i>	
	Difendere la Terra d'Otranto. Le torri di avvistamento della Serie di Nardò.....	1195
	<i>G. Danesi, A. Gagliardi</i>	
101	Il castello Ursino a Catania: la costa scostata.....	1203
	<i>G. Di Gregorio, F. Condorelli</i>	

Conservation of Martinengo Bastion, Famagusta, Cyprus.....	1209
<i>R. Eppich, M. Pittas, M. Zubiaga de la Cal</i>	
Paesaggi sublimi: un parco ecomuseale per valorizzare il patrimonio paesaggistico militare delle colline del Golfo della Spezia.....	1217
<i>E. Falqui, D. Reitano, L. Marinaro</i>	
Il parco multimediale delle mura di Padova: valorizzazione di paesaggi e percorsi culturali in un'ottica creativa e innovativa.....	1223
<i>A. Ferrighi</i>	
Paesaggi militari della Sardegna tra XVIII e XX secolo. Scenari di riconversione e di riuso integrato.....	1229
<i>D. R. Fiorino, S. M. Grillo, E. Pilia, M. Porcu, M. Vargiu</i>	
Conoscenza e approccio architettonico per la conservazione del Castello di Mirto Crosia in Calabria (Italy).....	1237
<i>C. Gattuso</i>	
Le fortezze della famiglia Ruffo in Calabria (Italia).....	1245
<i>C. Gattuso, P. Gattuso</i>	
Accessibilità integrata per architetture inaccessibili. I castelli della Sardegna (XIV-XV sec.).....	1253
<i>C. Giannattasio, A. Pinna, V. Pintus, M. S. Pirisino</i>	
Lungo le Mura del Cassaro di Palermo. Studi e rilievi architettonici e proposte per il turismo culturale.....	1261
<i>G. Girgenti</i>	
Atlante delle Opere Fortificate: un progetto ambizioso applicato alle opere fortificate alpine della Val Pellice.....	1269
<i>L. Grande, S. Pons</i>	
"Rodi antica, medievale e cavalleresca": exemplary restoration of a Walled City during the Italian Colonialism.....	1277
<i>M. M. Grisoni</i>	
Esclusione – Inclusion. Eptapyrgio, la fortezza di Salonicco.....	1285
<i>S. Gron, E. Gkrimpa</i>	
Attraversare paesaggi, collegare il patrimonio: trasformazioni militari in Liguria secondo il pensiero e i progetti di Napoleone.....	1293
<i>L. Marinaro, P. Granara, S. Di Grazia</i>	
Por un plan autonómico para la gestión de los castillos en la Comunidad Valenciana (España).....	1301
<i>J. A. Mira Rico</i>	
La musealización del patio y el almacén del Palau del Castell de Castalla (Alicante, España): nuevas aportaciones para el contexto de la provincia de Alicante.....	1309
<i>J. A. Mira Rico, M. Bevià i Garcia, J. R. Ortega Pérez</i>	

1209	Archeologia della distruzione: i seicenteschi "Castelli del Mare" presso Castelfranco, a Finale Ligure (SV). Individuazione del tracciato e dei resti di una delle più imponenti fortezze del Ponente, contributo per la salvaguardia e la valorizzazione di un sito fragile e dimenticato.....	1317
	<i>G. Pertot</i>	
1217	Impronte del passato, forme del futuro: la valorizzazione dei siti fortificati attraverso l'arte Contemporanea.....	1325
	<i>S. Pons</i>	
1223	Programme to capitalize the fortified cultural heritage in Europe Research-Tourism-Marketing-Networking.....	1331
	<i>D. Röder</i>	
1229	Memoria dell'antico in alcune fortificazioni microasiatiche.....	1335
	<i>E. Romeo</i>	
1237	Una verifica nella gestione della conservazione programmata dei castelli recetto della Valtenesi a dieci anni dalle prime azioni: valutazioni, esiti e nuovi indirizzi.....	1341
	<i>B. Scala</i>	
1245	Il patrimonio fortificato della Repubblica di Venezia: per un'ipotesi di riformulazione della candidatura UNESCO.....	1349
	<i>E. Zanardo</i>	
1253		
1261	MISCELLANY	
	Fortificación del siglo XX en la orilla norte del estrecho de Gibraltar.....	1357
	<i>A. Atanasio-Guisado, A. Martínez-Medina</i>	
1269	Fortificazioni nel Mediterraneo: disegni di ambito spagnolo nella seconda metà del XVI secolo.....	1365
	<i>P. Davico</i>	
1277	Geometria e rappresentazione nell'architettura militare e civile a Malta.....	1373
	<i>A. Mollicone</i>	
1285	El 'aura' del 'residuo': aproximación estética y fenomenológica en torno a la ruina militar Moderna.....	1379
	<i>R. Nicolau Tejedor, A. Martínez-Medina</i>	
1293	L'opera di Punta Rossa, Caprera. Strategie di conoscenza e di progetto per un patrimonio costruito militare e il suo paesaggio.....	1387
	<i>S. Pieri</i>	
1301	Protection of a UNESCO transnational site: three different legislations for the "Venetian Works of Defence between the 16th and 17th Centuries: Stato da Terra – Western Stato da Mar".....	1395
	<i>S. Rocco</i>	
1309		

Dalla nuvola di punti al progetto di restauro. L'estrazione di dati per la valorizzazione dell'antica fortificazione di Casertavecchia

Valeria Cera^a, Luis Antonio Garcia^b

^aDipartimento di Architettura, Università degli Studi di Napoli "Federico II", Napoli, Italy, valeria.cera@unina.it,

^bLaboratorio di Fotogrammetria Architettonica, Università di Valladolid, Valladolid, Spain, Lantonio@arq.uva.es

Abstract

This research aims to highlight how the direct manipulation of complex point clouds and/or of polygonal models, acquired through image-based and range-based techniques, enables the immediate analysis of cognitive aspects which are extremely useful for the diagnostic investigation that is preliminary to the restoration project.

The experimentation was carried out on the castle and the annexed fortifications of the village of Casertavecchia.

The urban fabric, dated Norman era, is overlooked by the palatium erected between the end of the eleventh and the second half of the thirteenth century. The fort was connected by a drawbridge to a circular keep, known as "Torre dei Falchi", in a fortified hexagonal fence system, littered by 6 quadrangular towers. The keep, the second in Europe in terms of size, is a rare example of Federician military architecture. Despite temporary restoration works have been carried out in the last century, degradation and neglect continue to threaten the fortified system.

The research aims to acquire useful data for the enhancement and recovery of the monument.

A survey campaign was carried out with the aid of the aerial photogrammetry technique which allowed the collection of information in areas difficult to access due to environmental conditions (vegetation). The data have been refined with a terrestrial topographic survey.

The integration and manipulation of metric and chromatic data allowed to analyze the architectural degenerative evolution, showing the phenomena and pathologies of degradation in progress, from which it is possible to obtain - in an automatic, indirect and objective way - information not only of qualitative but also quantitative nature. In this way, the data collected through modern surveying technologies has made possible to extract, thanks to an appropriate investigation of the data itself, information belonging not only to the dimension of visible, of perceivable but especially to invisible.

Keywords: digital analysis, data processing and modeling, fortification, UAV photogrammetry.

1. Introduzione e stato dell'arte

Gli avanzamenti tecnologici registrati, negli ultimi trent'anni, nel campo della sensoristica applicata al rilievo architettonico, hanno aperto campi di indagine significativamente ampi e diversificati. In particolare, un discreto numero di ricerche (Kotte, 2009; Vitelli, 2013; Messaoudi et al, 2018) ha dimostrato come il prodotto delle moderne tecniche di rilevamento, sia esso un modello discretizzato in milioni di

punti o formalizzato in superfici poliedriche, sia un sistema informativo estremamente prezioso per la progettazione di un restauro. Le informazioni morfometriche estraibili, tramite le nuove tecnologie, dal rilievo geometrico e fotografico, costituiscono un supporto fondamentale alle fasi di analisi e di indagine diagnostica, propedeutiche ad un intervento di restaurazione (Nespeca & De Luca, 2016).

Ad oggi, la diagnostica nel restauro si avvale di indagini meccaniche di tipo invasivo, eseguite su campioni prelevati dalla struttura, e prove non distruttive, meno impattanti per la fabbrica architettonica. Le indagini sono orientate dallo studio di elaborati tematici opportunamente predisposti, come il rilievo del quadro fessurativo, il rilievo del degrado, il rilievo del colore, fondati su rappresentazioni grafiche bidimensionali. La redazione di queste mappe, che enucleano lo stato di conservazione di un manufatto, sono quasi sempre opera di un lavoro manuale di operatori esperti che appuntano le proprie annotazioni durante le perlustrazioni sul posto e affinano l'indagine su supporti bidimensionali, estrapolati con un minuzioso lavoro di rilucidatura da modelli tridimensionali digitali di rilievo. Essendo originati da osservazioni dal vero personali, tali carte tematiche sono, con evidenza, studi di tipo qualitativo e spesso soggettivo.

Al contrario, senza necessariamente ricorrere, in via preliminare, a prove meccaniche di tipo distruttivo o alla esecuzione di studi dettagliati non invasivi, una corretta e mirata manipolazione diretta delle nuvole di punti consente di estrarre dati capaci di orientare le successive analisi diagnostiche tradizionali. Questa possibilità permette di trattare le nuvole di punti direttamente come fonte di documentazione conoscitiva, posticipando nel tempo e, al verificarsi di una necessità, l'elaborazione di grafici bidimensionali o di modelli. Opportune procedure matematiche, ripetibili e controllabili, permettono infatti di arricchire la nuvola di descrittori ovvero informazioni che descrivono caratteristiche appartenenti non soltanto al campo del visibile, del percepibile ma anche a quello dell'invisibile. Inoltre, questi descrittori di superficie sono estratti con operazioni matematiche attraverso una adeguata interrogazione del dato geometrico stesso, pertanto rispondono sia alla istanza della oggettività autentica che all'esigenza di quantificazione della informazione qualitativa.

Il saggio qui presentato si inserisce all'interno di quel filone di ricerca che considera il modello discreto a nuvola di punti come un sistema informativo da cui poter estrapolare

immediatamente aspetti cognitivi estremamente utili per l'indagine diagnostica, preliminare al progetto di restauro.

La sperimentazione è stata condotta sul castello e sulle fortificazioni annesse al borgo di origine normanna di Casertavecchia, proponendosi di acquisire, tramite l'integrazione e la manipolazione dei dati metrici e cromatici, informazioni utili sull'evoluzione degenerativa del monumento, orientandone la valorizzazione e il recupero. La selezione del caso studio è strettamente connessa alla volontà di dimostrare come l'uso dei prodotti del rilievo geometrico come documenti portatori di informazioni eterogenee, sia particolarmente utile in contesti in cui l'indagine diretta è resa difficoltosa per le condizioni ambientali e per le caratteristiche intrinseche dei monumenti.

2. Caso studio. Le fortificazioni di Casertavecchia: il Castello e il Mastio circolare

Datato all'epoca normanna, l'abitato di Casertavecchia sorge su un poggio tifatino, affacciato in posizione centrale sul lembo che abbraccia a nord-est la piana di Caserta. Il tessuto urbano, che nella configurazione attuale non si discosta molto dalla sua topografia altomedievale, fu insediato con funzioni di caposaldo territoriale e di presidio militare con la manifesta volontà di controllare il valico che, attraverso il rilievo montuoso del Tifata, metteva in connessione la piana campana con Benevento e con il medio Volturno. L'aggregato, impostato su due direttrici varie tra esse parallele, è dominato dal *palatium* eretto tra la fine dell'XI e la seconda metà del XIII secolo (Pistilli, 2003). La fabbrica palaziale, allestita in età sveva ad inglobare i resti di una precedente murazione, presenta un impianto a rettangolo allungato a gomito, strutturato su due livelli. Quello inferiore, caratterizzato da sei campate voltate a crociera e illuminato da piccole monofore, è accessibile tramite tre ingressi di diversa grandezza e ripristinato nella sua spazialità interna tra la fine degli anni '80 e l'inizio degli anni '90. Del livello superiore resta oggi molto poco: una delle tre bifore ad archi intrecciati che illuminavano gli ambienti interni, oltre ad una porta-finestra arcuata che consentiva l'accesso da una sala

interna a una originaria balconata, di cui sono visibili oggi solo le buche rettangolari per l'alloggiamento delle travi di sostegno (Busino, 2015). Il forte era, poi, collegato da un ponte levatoio a un grosso torrione cilindrico, noto come "Torre dei Falchi", in un sistema difensivo fortificato di forma esagonale, disseminato da 6 torri quadrangolari, di cui restano oggi solo alcuni lacerti. Il mastio, il secondo in Europa in termini di dimensioni, venne edificato a ridosso della metà del XIII secolo, in posizione indipendente rispetto all'anello castrale, a cui era comunque collegato mediante ponti mobili disposti a quote differenti. La costruzione è un raro esempio di architettura militare federiciana: il basamento di forma poligonale con muratura in travertino reca connessioni con l'analogo soluzione adottata per lo anacolo della porta federiciana a Capua. L'imponente impianto della torre si sviluppa, poi, al di sopra del basamento poligonale con un registro a pianta circolare messo in opera con conci di tufo paglierino e orditura pseudoisodoma. Come accennato, il torrione circolare presenta dimensioni notevoli se paragonate al tipo di struttura e all'epoca di costruzione. L'interno si articolava in tre livelli, con destinazioni funzionali diversificate: una cisterna al piano basamentale, ambienti residenziali al piano superiore connessi al *palatium* e una terrazza superiore, con scopi di difesa e di controllo dei meccanismi di azionamento dei ponti levatoi. Purtroppo, in ossequio ad una prassi abbastanza frequente nella metà del secolo scorso, le strutture di sommità della torre hanno subito gravi manomissioni in relazione all'allestimento di vasche e infrastrutture per la costruzione di un acquedotto.

Sebbene a tutto il complesso, e in particolare alla Torre dei Falchi, sia riconosciuta una valenza storico-artistica, resa ancor più evidente dal significato semantico che il bastione riveste nell'araldica e quindi nella identità civica di Caserta (Vultaggio, 1993), va sottolineato che il monumento non è mai stato oggetto nè di scavi archeologici puntuali e sistematici nè di interventi di restauro orchestrati all'interno di uno specifico programma di intervento e recupero generale del complesso. Ad oggi, lo stesso si presenta ridotto in alcune parti allo stato di rovina, altre sono state

oggetto di alcune operazioni di restauro negli anni '90 (che hanno comportato rilevanti integrazioni delle facciate mediante tufo peperino grigio di tonalità diversa da quella originaria) ma ad oggi nuovamente abbandonate. Una discreta quantità di vegetazione ricopre i resti dei paramenti murari, alcuni dei quali, mostrano in alzato l'avanzamento di patologie di degrado strettamente connesse a problemi di umidità, ventilazione e scarsa manutenzione.



Fig. 1- Immagine aerea del complesso fortificato

3. Il rilievo digitale

Il castello di Casertavecchia, sebbene formalmente non abbandonato dalle Istituzioni preposte alla sua tutela e salvaguardia, si presenta oggi in gran parte ricoperto da vegetazione. Pertanto, un rilievo geometrico dei suoi resti in modalità diretta è stato completamente escluso per l'impossibilità di accedere fisicamente alle rovine. Da qui, è derivata la decisione di condurre la campagna di rilevamento secondo la metodologia fotogrammetrica.

Alla presenza di vegetazione si aggiunge, nel caso studio specifico, l'estensione dei paramenti murari e l'altezza degli stessi, in particolare della "Torre dei Falchi" per cui, nella pianificazione del rilievo fotogrammetrico, si è scelto di acquisire gran parte dei fotogrammi con l'ausilio di un sistema aereo a piloggio remoto (SAPR). In questo modo è stato possibile coprire ogni porzione del castello, ottenendo anche grande precisione, poiché la raccolta dei dati è stata effettuata da una distanza molto ravvicinata, resa possibile dalle dimensioni e tipologia di strumento impiegato.

3.1. Analisi e valutazione del contesto

Per l'esecuzione di un rilievo con la tecnica della fotogrammetria aerea, una delle fasi più importanti è lo studio preliminare dell'oggetto del lavoro al fine di organizzare perfettamente la raccolta dei dati, nonché l'analisi del contesto ambientale, per controllare i pericoli che possono esistere durante il volo del SAPR.

La fortificazione sorge su una collinetta, un po' appartata dal resto del tessuto urbano, rendendo la presenza di abitazioni o persone nell'area di indagine, improbabile e facilmente controllabile. La struttura si caratterizza per una forma allungata nella direzione sudovest-nordost, di cui una metà ha una altezza modesta e quasi totalmente coperta da vegetazione, mentre la metà opposta presenta una costruzione con spiccati murari di elevazione differente e il grande mastio circolare, posto all'estremità meridionale del castello.

Per quanto riguarda il contesto ambientale, mentre l'intera metà occidentale della costruzione non presenta ostacoli più alti rispetto alla costruzione stessa, nella parte orientale sono piantati grandi alberi che impediscono di volare a una quota abbastanza bassa per fotografare una porzione della corrispondente facciata. Una visita in loco si è resa necessaria, infine, per verificare l'assenza di linee elettriche o telefoniche in zona che avrebbero potuto ostacolare la navigazione del drone, elementi che sono difficilmente visibili quando si pianifica la traiettoria di volo con una fotografia aerea.



Fig. 2- Fotografia aerea dell'area di volo (Google Maps)

3.2. Pianificazione del volo

Generalmente, quando si realizzano rilievi fotogrammetrici aerei con droni, il lavoro viene preventivamente pianificato e organizzato in maniera razionale, in ossequio ad alcuni parametri fondamentali per la qualità del prodotto finale. Nello specifico, la missione che il SAPR deve compiere per l'acquisizione dei dati, viene sistematizzata al fine di svolgere un lavoro più sicuro, per le persone e per i luoghi, dando al contempo una discreta certezza sulla accuratezza e precisione dei risultati.

Nel caso studio, la singolarità dei resti, così come la loro eterogeneità sia nella forma che nelle altezze, non ha consentito questa sistematizzazione, per cui si è ricorso a una modalità di volo semi-automatica.

In prima istanza, si è deciso di realizzare voli circolari attorno agli spiccati più significativi, con un'inclinazione della telecamera sufficiente a coprire il più possibile la costruzione inquadrata. I voli circolari sono stati pianificati attorno al *palatium* completo, e intorno ai resti più alti, ottenendo così una buona documentazione generale, oltre a una documentazione di maggiore qualità relativamente agli elementi più importanti.

Inoltre, queste informazioni sono state integrate con un volo condotto in modalità manuale in cui sono state acquisite sia fotografie zenitali del castello, sia immagini degli alzati dello stesso. L'unione dei fotogrammi registrati nelle varie traiettorie, fornisce una raccolta di dati sufficiente per la realizzazione del rilievo fotogrammetrico.

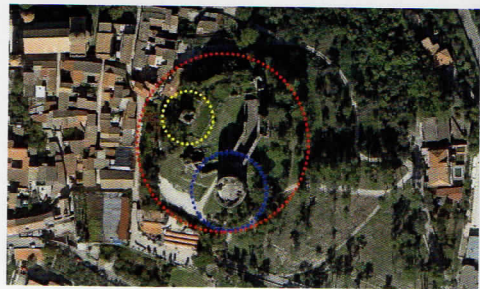


Fig. 3- Traiettorie dei voli pianificati

3.3. Esecuzione della missione e acquisizione dei fotogrammi

Per la realizzazione del volo, è stato impiegato un SAPR DJI Phantom 3 Advanced. Si tratta di un aeromobile di piccole dimensioni ma con caratteristiche e prestazioni adeguate per un lavoro di rilievo fotogrammetrico relativo ad un sito di dimensioni contenute, come quello in esame. La sua caratteristica principale è il costo contenuto rispetto ad altre opzioni presenti sul mercato, e il buon rapporto qualità - prestazioni.

Le missioni sono state eseguite in conformità con quanto pianificato, con l'eccezione che una batteria è stata utilizzata più del previsto poiché non è stato possibile completare uno dei voli programmati con una sola batteria. In ogni caso, sono stati eseguiti sia i voli circolari che il volo manuale destinato a fotografare le facciate del complesso per un totale di 4 missioni, condotte con un tempo di volo approssimativo di 47 minuti. Al termine della campagna di rilievo, sono state acquisite 388 fotografie, elaborate per generare la documentazione tridimensionale e planimetrica del castello.

3.4. Elaborazione dei dati. Dai fotogrammi al modello discreto

Il processo di elaborazione dei fotogrammi finalizzato alla costruzione di un modello discreto tridimensionale, è stato eseguito nell'ambiente operativo di un software di modellazione fotogrammetrica. In generale, questi software utilizzano i principi della fotogrammetria per costruire una maglia tridimensionale ovvero il principio di collinearità (oggetto / obiettivo / fotografia) che consente di identificare e calibrare gli obiettivi della fotocamera, attraverso un processo automatico interno. Inoltre, usando lo stesso principio, è possibile posizionare le telecamere nello spazio in base ai pixel omologhi caratteristici delle immagini.

Una volta completato l'orientamento interno (calibrazione della telecamera) e l'orientamento esterno (posizione delle fotografie) il sistema fotogrammetrico risulta costruito. Questo processo consente di generare una nuvola di punti densa mediante la

corrispondenza di ognuno dei pixel delle immagini che possiamo identificare in più di una fotografia, per ottenere la posizione spaziale del punto. Questa nuvola di punti permette, a sua volta, la generazione di un modello poligonale tridimensionale che può essere texturizzato con le fotografie stesse.

Esistono molti software fotogrammetrici sul mercato, alcuni gratuiti e altri a pagamento. Nel presente lavoro, il processo è stato realizzato con il software Agisoft Photoscan, che ha consentito una elaborazione completa delle informazioni, dall'inserimento di fotografie all'esportazione del modello texturizzato finale.

Ai fini dell'analisi che il saggio intende testare, sono stati processati modelli discreti a nuvole di punti molto dense, sfruttando sia le caratteristiche radiometriche (colore) che le caratteristiche geometriche (dimensioni) acquisite con i fotogrammi.

3.5. Raffinamento delle informazioni metriche

I dati acquisiti con la tecnica di fotogrammetria aerea digitale sono stati perfezionati con un'indagine topografica terrestre. Con una stazione totale Trimble S7 sono stati battuti in totale 45 punti, distribuiti lungo gli alzati degli edifici del complesso fortificato. Tali punti sono stati utilizzati come punti di controllo (GCP *Ground Control Points*) per scalare e validare il modello fotogrammetrico.

Sebbene il SAPR utilizzato sia fornito di un proprio GPS, lo stesso ha un errore di misura che a volte può aggirarsi anche intorno ai 70-80 cm. L'integrazione con misurazioni topografiche permette di raffinare la precisione metrica del rilievo, fornendo risultati decisamente più attendibili e rispondenti al vero, portando il grado di accuratezza al di sotto del centimetro.

Pertanto, si è proceduto al riconoscimento dei punti GCP estratti sulle immagini fotografiche e all'inserimento delle rilevative coordinate, consentendo la scala e la rototraslazione del modello fotogrammetrico coerentemente al sistema di inquadramento territoriale topografico.

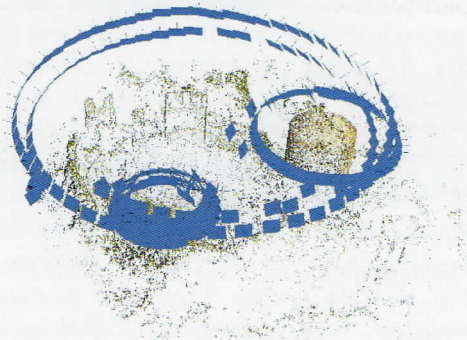


Fig. 4- Allineamento e modello discreto (Agisoft PhotoScan)

4. Analisi diagnostica preliminare. Estrazione di dati dalla nuvola di punti

Il modello discreto a nuvola di punti, ottenuto con le elaborazioni precedenti, rappresenta il sistema informativo da cui estrarre la documentazione su aspetti conoscitivi utili al progetto di manutenzione e restauro del complesso.

Per diminuire l'onere computazionale e, al contempo, avere risultati accurati, si è scelto di segmentare la nuvola e lavorare per stralci significativi. Ciascuna porzione, filtrata dai dati spuri non coerenti con l'analisi, è stata importata nel software open source CloudCompare. Sfruttando gli algoritmi di calcolo implementati nel programma, è stato generato un piano tramite algoritmo Ransac (*Random Sample Consensus*), interpolato impostando come vincoli geometrici di posizionamento, i punti centrali dello stralcio di modello. Lo scopo è quello di estrapolare una mappa di scostamento tra piano e nuvola.

L'algoritmo Ransac consente di ottenere un buon *fitting* sulla nube con un processo iterativo, permettendo il controllo del posizionamento del piano di riferimento attraverso la scelta di alcuni parametri di calcolo come: la massima distanza dalla primitiva, la risoluzione di campionamento, la massima deviazione angolare della normale e un valore di probabilità di sovrapposizione. L'esito della geometria di *fitting* ottenuta con il Ransac è stata confrontata con lo strumento, più semplice, di *fitting* di un piano implementato sempre nel medesimo programma. Quest'ultimo posiziona un unico piano tangente alla nuvola considerando tutti i punti della stessa. Entrambe le procedure si sono dimostrate valide per la generazione del piano di riferimento.

Di seguito, è stata creata una mappa di deviazione che indica per ciascun punto della nuvola il valore di divergenza dal piano. La carta non è altro che una colorazione della nuvola in falsi colori ove a ogni singola tonalità cromatica corrisponde il valore matematico di scostamento. Le informazioni estraibili da questo elaborato sono evidentemente del tutto comparabili alle carte tematiche relative alla perdita di materiale. La manipolazione dei range cromatici e la selezione dei parametri di calcolo della deviazione rendono possibile la selezione dei dati più utili all'analisi, fornendo informazioni visivamente esplicite e immediatamente comunicative.

Iterando il processo per le porzioni più significative di tutto il manufatto oggetto di studio, è stato possibile, quindi, qualificare e, contestualmente, quantificare le aree in cui è registrata perdita di materiale (nello specifico, la corrosione dei conci di tufo paglierino) nonché evidenziare le zone in cui si è verificato deposito di materiale strettamente connesso alle condizioni di umidità e vento. I risultati più interessanti hanno mostrato, nello specifico, una perdita di materiale per i conci di tufo del mastio circolare corrispondente a depressioni massime di circa 1,5 cm e depositi di materiale vegetative con sporgenze di circa 0,8 cm. Per gli alzati del *palatium* sono state registrate erosioni puntuali e localizzate di materiale tufaceo con rientranze rispetto al piano medio del paramento murario prossime a 1 cm.

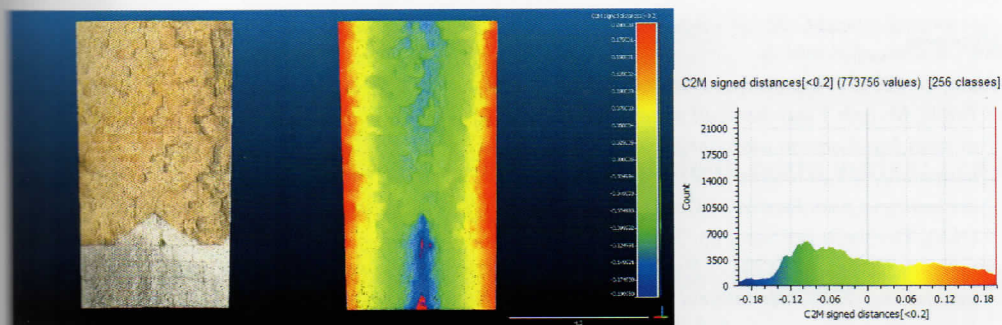


Fig. 5- Mappa di discostamento di una porzione del torrione circolare rispetto al piano Ransac (CloudCompare)

corrosione dei conci di tufo paglierino) nonchè evidenziare le zone in cui si è verificato deposito di materiale strettamente connesso alle condizioni di umidità e vento. I risultati più interessanti hanno mostrato, nello specifico, una perdita di materiale per i conci di tufo del mastio circolare corrispondente a depressioni massime di circa 1,5 cm e depositi di materiale vegetative con sporgenze di circa 0,8 cm. Per gli alzati del *palatium* sono state registrate erosioni puntuali e localizzate di materiale tufaceo con rientranze rispetto al piano medio del paramento murario prossime a 1 cm.

I dati estratti attraverso la manipolazione della nuvola di punti del rilievo forniscono, con tutta evidenza, una documentazione estremamente utile per la progettazione di interventi di pulizia e recupero del monumento. I vantaggi di questa procedura risiedono: nella automazione dell'estrazione delle informazioni; nel loro recupero a partire direttamente dalla nuvola di punti senza necessità di eseguire nè fasi di modellazione, nè elaborazioni grafiche bidimensionali nè tantomeno prove distruttive; nella oggettività e quantificabilità dei valori estrapolati. La documentazione ottenuta, infine, presenta un grado di accuratezza geometrica notevolmente elevato, in funzione dei parametri che le moderne tecnologie e strumenti di rilievo consentono di registrare.

5. Conclusioni

La sperimentazione mostrata nel saggio sottolinea come la possibilità di acquisire, a

partire dalle misure metriche tridimensionali, nuove informazioni attraverso manipolazioni matematiche, risponda ad una serie di istanze di conoscenza per il restauro. In particolare, l'impiego di procedure automatiche applicate su modelli discreti a nuvola di punti permette l'estrazione di descrittori geometrici capaci di evidenziare fenomeni di degrado di cui è fornita non solo una qualificazione ma anche una quantificazione del processo in atto. I dati estratti, inoltre, essendo stati acquisiti con tecnologie di rilevamento sempre più accurate e precise, producono spesso conoscenza correlata non solo alla dimensione del visibile, ma soprattutto all'invisibile e impercettibile. La documentazione che ne deriva risulta estremamente vantaggiosa per orientare il progetto di restauro, in generale, e per indicare quali indagini diagnostiche sia più opportuno condurre e in quali aree di un manufatto. L'esemplificazione del processo è stata condotta su un caso studio, la fortificazione palaziale del borgo di Casertavecchia, in cui l'impiego di una analisi diagnostica preliminare a partire da nuvole di punti, risulta proficua e utile in contesti in cui l'accessibilità e le condizioni ambientali rappresentano dei vincoli operativi per la progettazione di un intervento di recupero e restauro.

Notes

I paragrafi 1-2-3-5-4-5 sono a cura dell'autore Valeria Cera. I paragrafi 3-3.1-3.2-3.3-3.4 sono a cura dell'autore Luis Antonio Gracia.

References

- Busino, N. (2015) Appunti per ricerche archeologiche nel castello di Casertavecchia. In: Busino, N. & Rotili, M. (eds.) *Insedimenti e cultura materiale fra tarda antichità e medioevo: Atti del Convegno di studi Insediamenti tardoantichi e medievali lungo l'Appia e la Traiana. Nuovi dati sulle produzioni ceramiche, 23-24 marzo 2011, Santa Maria Capua Vetere, e Atti del I Seminario Esperienze di archeologia postclassica in Campania 18 maggio 2011, Santa Maria Capua Vetere*. San Vitaliano (NA), Tavolario Edizioni, pp. 341-353.
- Cera, V. & Campi, M. (2017) Evaluating the potential of imaging rover for automatic point cloud generation. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W3, 147-154.
- Kotte, J. (2009) An investigation of quantifying and monitoring stone surface deterioration using three dimensional laser scanning. *Theses (Historic Preservation)*. 128. University of Pennsylvania. Available from: https://repository.upenn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1126&context=hp_theses
- Messaoudi, T., Veron, P., Halin, G., & De Luca, L. (2018) An ontological model for the reality-based 3D annotation of heritage building conservation state. *Journal of Cultural Heritage*, 29, 100-112.
- Nespeca, R. & De Luca, L. (2016) Analysis, thematic maps and data mining from point cloud to ontology for software development. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B5, 347-354.
- Pistilli, P. F. (2003) *Castelli normanni e svevi in Terra di Lavoro. Insediamenti fortificati in un territorio di confine*. San Casciano Val Di Pesa, Libro Co.
- Vitelli, G. P. (2013) Il restauro del Salone dei Busti di Castel Capuano e l'uso della tecnologia laser scanner 3D. In: Genovese, R. A. (ed.) *Conoscere, Conservare, Valorizzare*. Napoli, Arte Tipografica Editrice, pp. 371-381.
- Vultaggio, C. (1993) Caserta nel medioevo. In: Corvese, F. & Tescione, G. (eds.) *Per una storia di Caserta dal Medioevo all'età contemporanea*. Napoli, Athena, pp. 25-114.