

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: 978-88-85745-12-4



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
Víctor 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. Amoroso, 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 Popolonia: 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>	

Un navigatore per monumenti: proposta di applicazione software per valorizzare i monumenti culturalmente e storicamente con soluzioni informatiche, GIS e GPS.....1109
L. Serra

Partimonio costruito e BIM: il palazzo di Francesco de' Medici nella Fortezza Vecchia di Livorno fa un secondo passo nell'epoca digitale.....1117
G. Verdiani, V. Donato, L. Pianigiani, F. Marsugli

Cannons, galleries, ruins and Digital Survey: a first report about the “Molo Cosimo” after seventy years of abandon.....1125
G. Verdiani, A. Frasconi

CULTURE AND MANAGEMENT

Il castello normanno di Ginosa (TA). Progetto di salvaguardia e valorizzazione di una memoria.....1133
A. Albanese, F. Allegretti, C. Castellana, A. Colamonico, F. Fiorio, M. Marasciulo

The fortification system on the Elba Island: analysis of the strategic evolution and the military technologies.....1141
G. Baldi, A. Mancuso, A. Pasquali, M. Pucci

Un percorso virtuale nel Forte di Fenestrelle tra memoria e attualità.....1149
O. Bucolo, D. Miron, R. Netti

La fruizione multimediale del Castello di Lecce.....1157
G. Cacudi

Some aspect of relationships of old and new in moroccan fortification.....1165
M. Cherradi

Tutela, recupero, valorizzazione delle torri costiere come parte integrante di sistemi territoriali complessi. La “nuova vita” della Torre di Cerrano (Abruzzo, Italia).....1171
A. Colecchia

Estudio integral de la Torre Navidad, en Cartagena (España), para su correcta conservación, puesta en valor y musealización.....1179
P. E. Collado Espejo, J. García León, J. F. García Vives

Fortified architecture in Spanish chain Paradores de Turismo. 90 years of heritage management for touristic purposes.....1187
P. Cupeiro López

Difendere la Terra d’Otranto. Le torri di avvistamento della Serie di Nardò.....1195
G. Danesi, A. Gagliardi

Il castello Ursino a Catania: la costa scostata.....1203
G. Di Gregorio, F. Condorelli

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>	

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>	
Impronte del passato, forme del futuro: la valorizzazione dei siti fortificati attraverso l’arte Contemporanea.....	1325
<i>S. Pons</i>	
Programme to capitalize the fortified cultural heritage in Europe Research-Tourism-Marketing-Networking.....	1331
<i>D. Röder</i>	
Memoria dell’antico in alcune fortificazioni microasiatiche.....	1335
<i>E. Romeo</i>	
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>	
Il patrimonio fortificato della Repubblica di Venezia: per un’ipotesi di riformulazione della candidatura UNESCO.....	1349
<i>E. Zanardo</i>	
 MISCELLANY	
Fortificación del siglo XX en la orilla norte del estrecho de Gibraltar.....	1357
<i>A. Atanasio-Guisado, A. Martínez-Medina</i>	
Fortificazioni nel Mediterraneo: disegni di ambito spagnolo nella seconda metà del XVI secolo.....	1365
<i>P. Davico</i>	
Geometria e rappresentazione nell’architettura militare e civile a Malta.....	1373
<i>A. Mollicone</i>	
El 'aura' del 'residuo': aproximación estética y fenomenológica en torno a la ruina militar Moderna.....	1379
<i>R. Nicolau Tejedor, A. Martínez-Medina</i>	
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>	
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>	

Partimonio costruito e BIM: il palazzo di Francesco de' Medici nella Fortezza Vecchia di Livorno fa un secondo passo nell'epoca digitale

Giorgio Verdiani^a, Vincenzo Donato^b, Lorenzo Pianigiani^c, Francesca Marsugli^d

^aUniversità degli Studi di Firenze, Firenze, Italy, giorgio.verdiani, ^bPolitecnico di Torino, Torino, Italy, vincenzo.donato@polito.it, ^cUniversità degli Studi di Firenze, Firenze, Italy, lorenzo.pianigiani, ^dUniversità degli Studi di Firenze, Firenze, Italy, francesca.marsugli@unifi.it

Abstract

H-BIM models are becoming an effective support for the protection and conservation of historical heritage artefacts. The application of these new digital tools arisen several issues regarding the semantic parsing method, often due the topologic relation that exist between architectural and structural elements. Moreover, the growing adoption of survey systems, often based on the achievement of a point clouds, arisen problems of converting this data into simplified BIM model version. The object of this essay is to show preliminary result of a methodology that, starting from consideration that derives from structural analysis, will allow to define the architectural element for the HBIM model. The method was applied for the case study of the Palace of Francesco I de Medici at the “Fortezza Vecchia” in Livorno

Keywords: H-BIM, SCAN-TO-BIM, survey, Livorno, old fortress.

1. Background

Le recenti tendenze internazionali in materia di digitalizzazione dei beni storico-architettonici hanno mosso i governi ad elaborare normative per l'introduzione di strumenti ICT (Information and Communication Technologies) per la gestione delle informazioni del ciclo di vita di un edificio. Non solo le informazioni inerenti gli aspetti costruttivi, ma anche quelle riguardanti le fasi diacroniche evolutive, le fonti storiche, lo stato di degrado; cioè tutte le informazioni necessarie al fine di garantire la memoria storica e la conservazione nel tempo. È ormai una prassi consolidata adottare metodologie di tipo H-BIM *Historical Building Information Modelling* (Murphy, McGovern & Pavia, 2009; Apollonio, Gaiani & Sun, 2012; Dore & Murphy, 2012; Quattrini, Pierdicca & Morbidoni, 2017) per gestire le informazioni e per garantire l'automatizzazione di alcuni processi di calcolo. Il vantaggio più importante di questi sistemi non è esclusivamente connesso alle rappresentazioni degli elementi architettonici, ma piuttosto nella capacità di collegare alla geometria 3d informazioni che evidenzino le criticità negli edifici esistenti attraverso analisi di tipo fisico-meccanico. Seppur in letteratura siano presenti numerose ricerche che si

occupano di digitalizzazione attraverso metodologia H-BIM per gli edifici esistenti, in particolare quelle che trattano della conversione da nuvola di punti in modello BIM (Hichri et al, 2013) numerosi sono i problemi ancora irrisolti (Volk, Stengel & Schultmann, 2014). In primo luogo, i software BIM utilizzano un vocabolario di elementi architettonici basati sulla sintassi proveniente dalla nuova progettazione: non tutte le componenti dall'architettura storica sono implementate nei software per sviluppo BIM. Spesso nella fase di creazione di questi elementi architettonici complessi risulta di non immediata esecuzione la risoluzione delle relazioni topologiche e questo in quanto non sono previste delle regole topologiche di unione fra gli oggetti.

In molti dei casi, nella fase di modellazione si deve ricorrere all'uso improprio di comandi che nascono per altri scopi. Inoltre, sin dalle prime fasi di modellazione emerge un problema che riguarda la conversione dei dati di rilievo in oggetti parametrici ed è la scelta di un livello di semplificazione che deve essere calibrato in funzione del tipo di analisi che si andrà successivamente ad effettuare. Le

condizioni di progressiva semplificazione a partire dal dato “nuvola di punti” sono ampiamente note e sono state trattate in maniera articolata, rendendo chiaro come da un modello estremamente dettagliato e rispondente al reale, risultato di una raccolta massiva di misurazioni, ma tuttavia foriero di aspetti lontani dal reale percepito, si possa passare ad un modello discretizzato e gestibile in ambiti di modellazione e restituzione grafica solo a patto di significative semplificazioni, capaci però di restituire l’aspetto percepito e una migliore possibilità di gestione alla rappresentazione digitale (Verdiani, 2007). Sarà necessario quindi stabilire il livello di sviluppo e di dettaglio (più comunemente conosciuti come LOD, LOG e LOI) (BIMforum, 2015) che vincoleranno in parte la fase di modellazione. Inoltre, questi oggetti (Building Object Model) afferiscono a differenti discipline fra cui quelle architettoniche, strutturali ed impiantistiche e devono possedere dettagli geometrici differenti a seconda che si voglia usare il modello per condurre analisi di tipo energetico (O’Donnell et al, 2013) o gestire le informazioni attraverso tecniche per il *facility management* (Codinhoto & Kiviniemi, 2014). Questo processo di semplificazione deve essere calibrato fra modello geometrico per la rappresentazione e modello analitico, quest’ultimo utile al fine di costituire una base appropriata per molteplici soluzioni di analisi di tipo fisico-meccanico.

Un ulteriore limite si manifesta anche in funzione dei formati di file a disposizione. Alcuni, ad esempio, sono nati per la gestione del progetto e le fasi di costruzione, non permettono lo scambio di informazioni di tipo storiche, come l’IFC. Allo stesso modo si può dire dei formati per il calcolo energetico come gbXML. Molti di questi formati, in ottica di recupero e di restauro, non sono predisposti per la gestione delle informazioni riguardanti le patologie e i degradi. Alcuni studi propongono la gestione e l’individuazione dei degradi attraverso elementi tridimensionali sovrapposti all’elemento murario (Lo Turco, Mattone & Rinaudo, 2017), ma lo svantaggio è che il modello risulta “pesante” e poco versatile. È probabile che questo tipo di informazione possa essere coordinata a livello bidimensionale come *texture* sovrapposta sull’elemento parametrico (Donato et al, 2017). Nasce in questo caso il problema della

localizzazione delle informazioni in quanto non appartenenti ad una superficie precisa (*mesh*), ma ad un elemento parametrico che è già affetto da un errore di semplificazione. È per queste ragioni che si rende necessario sviluppare procedure codificate di modellazione e strutturazioni delle informazioni volte ad ottenere modelli che garantiscano lo scambio corretto dei dati e che siano adatti per la gestione delle informazioni in processi di conservazione del manufatto, ma anche in previsione di effettivi interventi di recupero.

2. Metodologia

La traduzione dai dati di rilievo in H-BIM è un processo complesso, in gergo definibile come *time-consuming* e che necessita, per la sua definizione, un appropriato approccio attuato attraverso considerazioni interdisciplinari.

L’idea di poter utilizzare un “modello unico” attraverso il quale condurre analisi è però concettualmente errata e attualmente di fatto irrealizzabile utilizzando le odierne soluzioni software. Per superare questi limiti informatici, ci viene in aiuto la definizione del “BIM uses” (Kreider & Messner, 2013) attraverso cui è possibile associare ad uno scopo un singolo modello BIM. Sebbene questa soluzione possa sembrare efficace, non è però la via più efficiente in quanto si rischia di generare molteplici modelli sovrapposti dei quali nessuno è concretamente coincidente, e quindi pienamente adeguato, rispetto alla rappresentazione dello stato reale.

È per questa ragione che, in base alle problematiche esposte fino a questo momento, si propone un metodo di modellazione che permette di definire le componenti di un H-BIM per gli edifici in muratura portante che possa garantire una certa flessibilità fra alcuni dei “BIM uses”. Nello specifico faremo riferimento alla categoria della modellazione dello stato esistente (*Existing Conditions – 3D Laser Scanning*) e predisposizione per la fase di analisi strutturale per la diagnostica.

Supponendo valida l’idea di poter far coincidere con buona approssimazione il modello architettonico col modello portante strutturale, è possibile scomporre l’edificio secondo criteri di tipo strutturale suddividendo il manufatto per elementi portanti verticali e orizzontali. Se nelle strutture moderne la

fase di individuazione degli elementi è pressoché immediata (in quanto la separazione emerge in modo evidente, infatti, basti pensare alle strutture prefabbricate), nelle strutture storiche questa scomposizione semantica risulta complessa in quanto il materiale, la muratura in questo caso, è da considerarsi come un elemento continuo. Bisogna anche tener presente che il calcolo per le verifiche sismiche o per le verifiche strutturali avviene attraverso solutori agli elementi finiti (che considerano elementi “truss”, “beam”, “wall”, “shell-plate”, “solid”, tutti con molteplici tipi di comportamento) o ai macro-elementi. L’esempio che chiarisce maggiormente questa problematica è la modellazione di una volta a crociera: se questa può apparire come di semplice strutturazione nel modello “teorico”, quando si passa alla sua reale configurazione, questa spesso presenta un andamento delle murature irregolare, con archi non perfettamente allineati e con l’eventualità di presentare dei cedimenti e delle fessurazioni a rischio di comprometterne la stabilità oltre che alterarne la forma geometrica. I software BIM non hanno nei loro comandi diretti questo tipo di elemento, tant’è che non esiste nemmeno una banca dati di volte, ad esempio, che possano essere direttamente richiamate ed usate. La modellazione quindi viene demandata alle capacità del singolo operatore in quanto questo tipo di processo non è ad oggi ancora codificato. Quanto detto fin ora, ci permette di avanzare alcune considerazioni di modellazione tridimensionale in modo tale da garantire la coerenza del modello BIM a livello architettonico con il rilievo metrico, ma allo stesso tempo che possa essere recepito correttamente in un software di modellazione strutturale. Le prime separazioni saranno inserite in corrispondenza del solaio e del livello di calpestio. Si inseriranno interruzioni anche in corrispondenza di tutte le chiavi d’imposta delle volte. Anche in pianta è necessario inserire delle separazioni fra i muri: è buona norma procedere con la separazione di tutti le pareti portanti e interrompere il setto in corrispondenza delle varie intersezioni. Inoltre, per quanto riguarda lo spessore del muro, si considererà spessore costante se il discostamento fra la superficie interna ed esterna non supera i 2/4 centimetri di tolleranza. In questo caso il muro viene assimilato ad un muro parametrico dello spessore misurato in

pianta e il modello analitico coinciderà con l’asse del muro. In caso questo discostamento fosse superiore, si procederà a modellare l’oggetto attraverso i comandi integrati nel software BIM, ovvero attraverso i classici della geometria booleana. Sarà necessario però sovrapporre a questi oggetti 3d, non più parametrici, elementi che permettano di generare il modello analitico, in quanto in molti dei software BIM non è prevista la possibilità di operare la conversione delle geometrie complesse in modelli analitici.

3. La Palazzina di Francesco I

La Palazzina di Francesco I de’ Medici fa parte degli edifici che sorgono all’interno della Fortezza Vecchia di Livorno. Si sviluppa su due livelli, al di sopra del bastione “della Canaviglia” collegati da una scala esterna.

Il piano superiore, a causa delle distruzioni subite nel corso della Seconda Guerra Mondiale, è stato ricostruito nella seconda metà del XX secolo e presenta murature lineari ad andamento regolare. Anche infissi e porte sono di epoca recente come il resto del piano. La copertura è realizzata con struttura in travetti di legno con manto in coppi e tegole. Tutti gli ambienti presentano una controsoffittatura. Il piano inferiore, meno interessato dalle distruzioni belliche, presenta murature spesse, presumibilmente del tipo “a sacco”, gli ambienti sono collegati da varchi nelle solide pareti e da volte di vario tipo.



Fig. 1- Il Palazzo di Francesco I de’ Medici - Morfologia e contesto urbano

3.1. La campagna di rilievo

La campagna di rilevamento è stata condotta a partire dalla realizzazione di una rete topografica eseguita attraverso la stazione totale composta da 355 punti target rilevati da 39 punti di stazione diversi. Una volta completata la misurazione della rete di appoggio è stato realizzato il rilievo attraverso scansioni laser-scanner 3D. È stato previsto che da ogni stazione lo strumento dovesse essere in grado di “vedere” almeno tre target che lo ricollegassero alla rete di appoggio o ad un'altra stazione. Le scansioni, per un totale di circa 750, sono state realizzate utilizzando simultaneamente due unità Cam/2 Faro Focus 3D (MS120 e X330), entrambi gli apparecchi con precisione di ± 2 mm a 10 metri di distanza e una portata di presa rispettivamente di 120 e 330 metri, ed elaborate successivamente mediante software Cam/2 Faro Scene e Autodesk Recap Pro (a supporto di tale processo è stata realizzata anche una copertura fotografica terrestre che aerea tramite drone). In merito alla dettagliata descrizione delle operazioni di rilievo della Fortezza Vecchia si rimanda allo specifico articolo pubblicato nel volume 6 degli atti del convegno FORTMED 2017 (Verdiani, 2017).

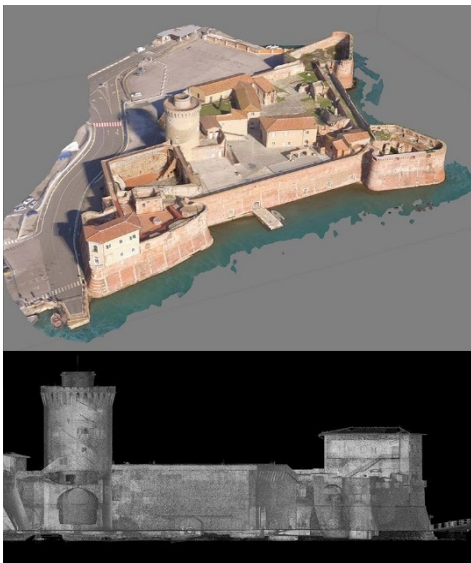


Fig. 2- In alto: Modello mesh testurizzato della Fortezza Vecchia di Livorno. In basso: nuvola di punti della Fortezza completa (esterni ed interni – campagna di rilievo 2017, G. Verdiani)

3.2. La discretizzazione degli elementi e la realizzazione del modello H-BIM

L'uso del BIM amplia gli scenari di studio in quanto richiede la definizione della composizione stratigrafica degli elementi estendendo l'indagine conoscitiva oltre la rappresentazione dell'involucro esterno. Per la definizione degli elementi è quindi necessario procedere ad un'analisi delle fonti storiche e manualistiche dell'epoca per individuare attraverso associazioni tipologiche le reali caratteristiche costruttive di tutte le componenti edilizie. Prima di avviare la fase operativa per la realizzazione del modello H-BIM (attraverso il software Autodesk Revit) è stato quindi necessario attivare una fase preliminare di “discretizzazione” del dato di partenza.

L'edificio è stato concettualmente destrutturato in elementi edilizi adottando un criterio di scomposizione che avesse come principi cardine la scomposizione per livelli (piano di calpestio) e attaccatura degli elementi portanti (come ad esempio imposta delle volte e livelli dei pianerottoli delle scale).



Fig. 3- Individuazione dei livelli e piani aggiuntivi di riferimento per la costruzione delle volte

Gli elementi successivamente sono stati suddivisi anche per funzione strutturale fra: maschi murari principali, muratura portante secondaria, tamponature, solai lignei, volte a crociera, ecc... L'uso di sezioni lungo i tre assi principali (X, Y e Z) e in corrispondenza della normale rispetto alla superficie di riferimento ha permesso di generare delle sezioni accurate in ogni punto dell'edificio. Durante lo sviluppo del modello della palazzina sono state create più di 50 diverse sezioni in diversi punti e a diverse scale di dettaglio, in questo modo la restituzione delle parti murarie è risultata completa e ben aderente al modello della nuvola di punti.

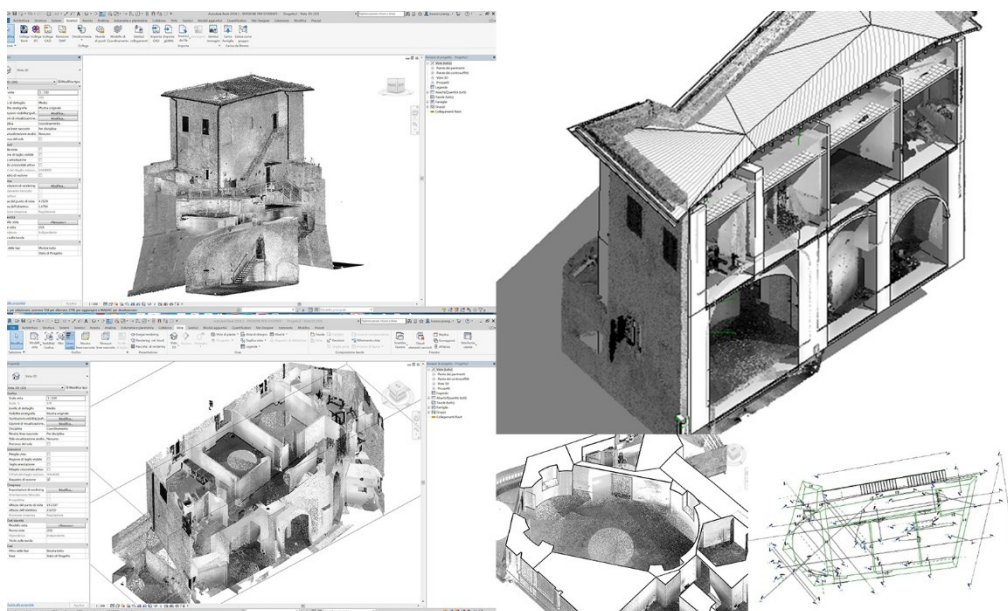


Fig. 4- Nuvola di Punti inserita in Autodesk Revit, tracciamento della muratura perimetrale e sovrapposizione del modello parametrico sulla nuvola.

Muratura

L'analisi delle murature prevede lo studio di ogni singola porzione con interventi sia in planimetria che secondo le viste verticali per il rilevamento di disallineamenti e di elementi "fuori piombo".

Per semplificare le operazioni di traduzione da nuvola di punti a modello BIM, queste condizioni sono state semplificate rappresentando l'elemento come alterato solo nel caso in cui la differenza tra livello inferiore e sezione orizzontale consecutiva fosse maggiore di 4 centimetri. Anche a livello planimetrico, si è adottata una tolleranza di 4 centimetri al fine di determinare muri perfettamente ortogonali oppure muri con svasatura planimetrica. Considerata la natura dell'edificio e dei suoi paramenti murari irregolari, ereditati dal sottostante bastione e composti da spesse murature del tipo "a sacco", composte da due strati esterni di mattoni e uno strato di calce mista a inerti nell'intercapedine interna, non è stato sempre possibile impiegare il muro di tipo parametrico (famiglia di sistema muro), ma utilizzando comandi per la modellazione locale. Per ovviare al problema della creazione del modello analitico sono stati sovrapposti dei muri

fittizi sovrapposti al modello 3d. Questo ha permesso di garantire interoperabilità verso i software per l'analisi strutturale che necessitano di informazioni per l'analisi ad elementi finiti attraverso "shell". La muratura quindi è stata modellata scomponendo ciascun muro in corrispondenza delle varie intersezioni in pianta.

Volte e controsoffitti, studio degli elementi architettonici orizzontali

Per quanto riguarda la suddivisione verticale, la palazzina presenta una certa dicotomia tra il piano terra ed il piano primo e questo è indubbiamente imputabile alle ricostruzioni post-belliche che hanno mantenuto le strutture di fondazione sostituendo quasi completamente quelle in elevato. Se nei piani alti gli ambienti presentano controsoffitti semplici, privi di cornici o motivi decorativi, il piano terra invece presenta una situazione decisamente più complessa. La maggior parte dei suoi ambienti sono sormontati da volte a botte o simil-botte, a padiglione e da volte composte. Lo studio di tali elementi ha richiesto un'attenzione particolare. Innanzi tutto è stato riscontrato come tutte le volte fossero caratterizzate da un perimetro irregolare e da sezioni perimetrali non continue.

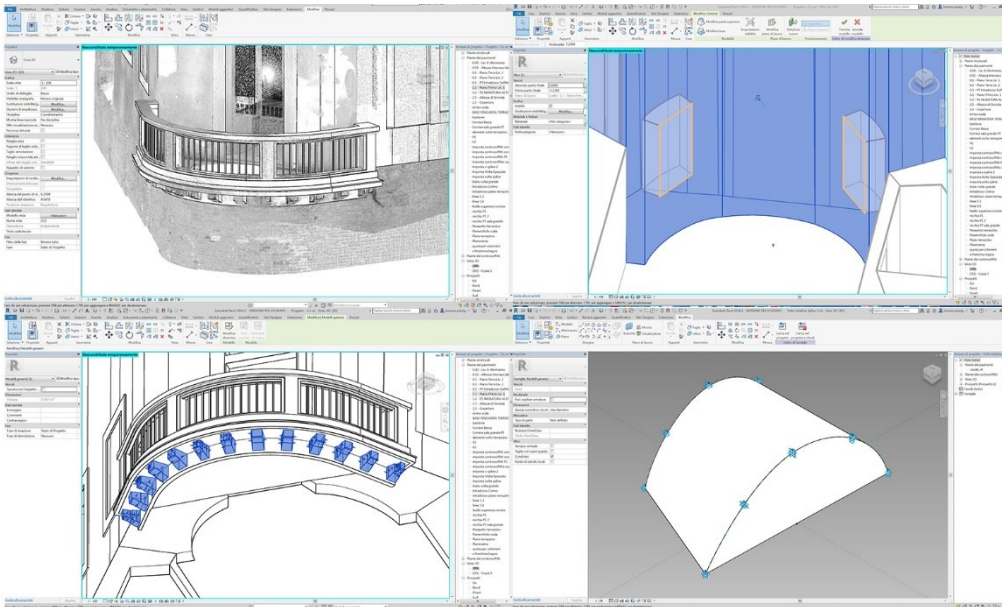


Fig. 5- Processi di modellazione per la palazzina di Francesco de' Medici in Autodesk Revit

Di conseguenza è stato necessario creare delle famiglie di elementi *ad hoc* che permettessero l'adattamento dei modelli a queste caratteristiche di irregolarità. Questo è stato possibile grazie all'utilizzo di famiglie metriche adattive, nelle quali oltre ai parametri di controllo consueti è possibile impostare dei punti "adattivi", ovvero punti che possono essere disposti manualmente all'interno del modello e che permettono di alterare una geometria in origine regolare alle singole conformazioni in cui deve essere collocata (Bonazza, Pozzoli & Villa, 2016). È stato poi deciso di adottare per la superficie esterna il comando "muro su superficie" costruito riaspetto all'intradosso di questo elemento. Tutte le operazioni di raccordo fra superfici complesse hanno richiesto una particolare attenzione e procedure di modellazione attenta, come ad esempio il raccordo fra la volta a botte centrale con le due volte emisferiche laterali, una costruzione geometricamente non di particolare difficoltà, ma che ha richiesto una opportuna attenzione per garantire il rispetto dei valori metrici puntuali dei singoli elementi componenti.

Completamento del modello

Dopo la realizzazione delle murature, si è proceduto alla realizzazione di tutti gli elementi

correlati, nello specifico le molteplici nicchie presenti sia internamente che esternamente. Per la loro realizzazione, in base alla complessità, si è proceduto con due modalità distinte:

Per quanto riguarda gli infissi esterni, per prima cosa è stato effettuato uno studio tipologico dimensionale sia dei fregi che degli elementi decorativi. Per quanto riguarda le finestre sono state individuate due tipologie principali (il primo: infisso in legno a doppia anta, con sguincio interno, cornice esterna e persiane; il secondo: infisso presente sia al piano terra che al piano primo, rappresenta la tipologia principale di finestra ad eccezione del bagno al piano terra).

4.2. Verifiche di accuratezza e interoperabilità

Per la definizione del livello di accuratezza per la realizzazione del modello H-BIM si può far riferimento alle direttive finlandesi COBIM2012 "Common BIM Requirements 2012". Nella Sezione 2 "Modeling of the starting situation", al paragrafo 5.2 "Modeling requirements - Accuracy levels of Inventory model", in quanto al momento non vi sono norme italiane che definiscono i livelli di accuratezza per la realizzazione di un modello BIM "as-it-is".

Per verificare il discostamento tra nuvola di punti e modello BIM è stato utilizzato un software specifico: 3D System Geomagic Qualify, che permette di effettuare un confronto accurato fra modelli di diverse caratteristiche geometriche, come quelli composti da superfici/*mesh* e nuvole di punti. Una volta importati la nuvola di punti ed il modello di superfici, in parte semplificato per favorire le operazioni di verifica, il software procede ad allineare automaticamente i due componenti, rendendo successivamente possibile effettuare un confronto tra le geometrie, riportando un dettagliato report sia 3D che in 2D secondo piani di taglio specifici. Dalla verifica del modello nelle sue parti principali risulta che l'errore medio riscontrato è intorno ai 3-4 cm, un valore ritenuto accettabile in relazione al tipo di edificio preso in analisi e rispetto alle finalità di impiego del modello H-BIM.

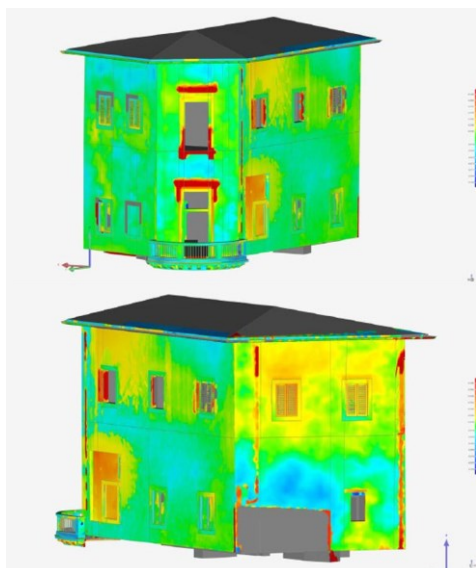


Fig. 6- Verifica di scostamento tra i modelli della palazzina in versione semplificata e nuvola di punti.

5. Conclusioni

L'approccio BIM al patrimonio costruito mostra interessanti prospettive di utilizzo e di analisi di complessi storici esistenti anche se risultano ancora da essere risolti i problemi di ottimizzazione delle procedure ed è auspicabile un perfezionamento della gestione informatica del progetto, specie per quanto riguarda le dimensioni dei file e la capacità di rappresentare la complessità del reale con soluzioni efficaci di approssimazione. Inoltre, sarà necessario capire come perfezionare l'intero workflow legato all'acquisizione tramite laser scanner 3D in quanto modo da evitare che questa possa risultare una soluzione di pregio, molto accurata, ma che alla fine del processo venga posta a rischio di essere pressoché eliminata a favore di un modello estremamente semplificato. Infatti, sebbene il metodo mostri un interessante approccio nei confronti della modellazione geometrica e nell'interoperabilità, numerose sono le problematiche ancora non risolte in relazione alle strategie di traduzione tra modello analitico e modello geometrico BIM. L'esperienza di modellazione e gestione dei dati condotta per la digitalizzazione della palazzina di Francesco I ha mostrato alcuni limiti soprattutto inerenti la possibilità di inviare i dati verso software strutturali, infatti molti elementi modellati localmente (componenti locali) non permettono la generazione del modello analitico utile al fine di condurre analisi, il necessario limite di semplificazione imposto da questi software tende a ridurre enormemente l'accuratezza dei modelli stessi, estremizzando la variazione tra dato raccolto in fase di rilievo e sua concreta utilizzabilità. I futuri sviluppi dell'ambiente H-BIM dovrà sempre di più cercare di fornire sia automatizzazione delle procedure che possibilità di personalizzazione, una sfida di elevata complessità e impegnativa per le discipline della rappresentazione.

References

- Apollonio, F. I., Gaiani, M. & Sun, Z. (2012) BIM-based Modeling and Data Enrichment of Classical Architectural Buildings. *SCIRES-IT - SCientific RESearch and Information Technology*, 2 (2), 41–62.
- BIMforum (2015) *Level of Development Specification*, *BIM Forum*. [Online] Available from: <http://bimforum.org/lod/>.
- Bonazza M., Pozzoli S. & Villa S.W. (2016) *Autodesk Revit Architecture 2017. Guida alla progettazione Bim*. Milano, Tecniche Nuove.
- Codinhoto, R. & Kiviniemi, A. (2014) BIM for FM: A case support for business life cycle. In: *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, pp. 63–74. Available from: link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-662-45937-9.pdf
- Donato, V., Biagini, C., Bertini, G. & Marsugli, F. (2017) Challenges and opportunities for the implementation of h-bim with regards to historical infrastructures: A case study of the ponte giorgini in castiglione della pescaia (grosseto - Italy). *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, XLII-5/W1, 253–260.
- Dore, C. & Murphy, M. (2012) Integration of HBIM and 3D GIS for Digital Heritage Modelling. In: *Digital Documentation, 22-23 October 2012, Edinburgh, Scotland*, pp. 369–376. [Online] Available from: <http://arrow.dit.ie/beschrecon/71/>.
- Hichri, N., Stefani, C., De Luca, L., Veron, P. & Hamon, G. (2013) From Point Cloud To Bim: a Survey of Existing Approaches. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5/W2, 343–348.
- Kreider, R. G. & Messner, J. I. (2013) *The Uses of BIM: Classifying and Selecting BIM Uses*, *The Pennsylvania State University*. University Park, PA, USA. Available from: http://bim.psu.edu/Uses/the_uses_of_BIM.pdf.
- Lo Turco, M., Mattone, M. & Rinaudo, F. (2017) Metric survey and bim technologies to record decay conditions. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, XLII-5/W1, 261–268.
- Murphy, M., McGovern, E. & Pavia, S. (2009) Historic building information modelling (HBIM). *Structural Survey*, 27 (4), 311–327.
- O'Donnell, J. T., Maile, T., Rose, C., Mrazović, N., Morrissey, E., Regnier, C., Parrish, K. & Bazjanac, V. (2013) *Transforming BIM to BEM: Generation of Building Geometry for the NASA Ames Sustainability Base BIM*, *Bim*. Available from: <http://buildings.lbl.gov/sites/all/files/LBNL-6033E.pdf>.
- Quattrini, R., Pierdicca, R. & Morbidoni, C. (2017) Knowledge-based data enrichment for HBIM: Exploring high-quality models using the semantic-web. *Journal of Cultural Heritage*. Elsevier Masson SAS.
- Verdiani, G. (2007) Il rilievo tridimensionale digitale e le immagini del reale. In: Mandelli, E. *Dati, informazione, Conoscenza, Metodi e tecniche integrate di rilevamento. I modelli tridimensionali, la costruzione e la trasmissione dei dati*. Firenze, Alinea, pp. 157-167.
- Verdiani, G. (2017) Fortifications and documentation: the case of Fortezza Vecchia in Livorno. State of the digital survey 2017. In: González Avilés, A. (ed.) *Defensive Architecture of the Mediterranean XV to XVIII Centuries. Vol. 6: Proceedings of FORTMED – Modern Age Fortification of the Mediterranean Coast, 26-28 October, Alicante*. Alicante, Universitat d'Alacant, pp. 311-318.
- Volk, R., Stengel, J. & Schultmann, F. (2014) Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 109–127.