

# 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



## **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.

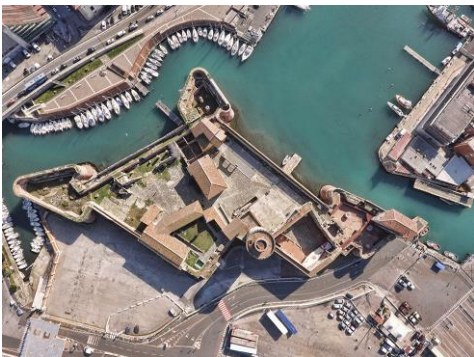


Fig. 1- Vista aerea da unità UAV del complesso della Fortezza Vecchia (L. Scaletti, 2017)

## 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 "fluid" 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 trarre 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.

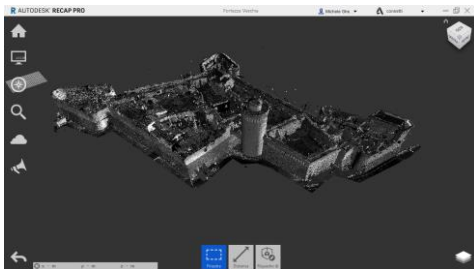


Fig. 6- Modello complessivo della Fortezza Vecchia in Autodesk Recap (M. Gherardi, 2017)

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.