



# Strategie digitali per conoscere e valorizzare i modelli di fortificazioni di Luigi Ferdinando Marsili

Cristiana Bartolomei  
Caterina Morganti  
Davide Prati

## Abstract

L'articolo affronta il tema della digitalizzazione della collezione dei modelli di fortificazione realizzati da Luigi Ferdinando Marsili (1658-1720). Non si conosce esattamente la ragione per cui il soldato e scienziato Marsili realizzò i modelli, né tanto meno la data esatta di costruzioni di questi modelli, ma quello che è certo è che trasse ispirazione per la loro realizzazione dai modelli presenti nel libro di Leonhard Christoph Sturm "Architectura Militaris Hypothetico-Eclectica, Oder Gründliche Anleitung zu der Kriegs-Baukuns". I 39 modelli, che riproducono le tavole di trattati militari da Galeazzo Alghisi da Carpi a Leonhard Christoph Sturms, sono oggi esposti nella sala di architettura militare del Museo di Palazzo Poggi a Bologna. L'obiettivo della ricerca è quello di catalogare e valorizzare la collezione di queste maquette attraverso la creazione di modelli digitali. Il lavoro di ricerca è stato realizzato attraverso tecniche di rilevamento laser scanner e di fotomodellazione con il fine di arrivare non solo ad un'esplorazione interattiva tridimensionale dei modelli, ma con l'obiettivo di fornire maggiori informazioni scientifiche e diffondere questo patrimonio culturale di inestimabile valore.

## Parole chiave

Documenti Storici, Modello 3D, Arte e scienza militare, Fortificazioni, Rappresentazione



I modelli di fortificazioni di Luigi Ferdinando Marsili. Elaborazione degli autori.

## Introduzione

La figura di Luigi Ferdinando Marsili (1658-1720) [Marsili 1930b] è di notevole interesse per l'approfondimento dell'arte militare dal punto di vista della rappresentazione, soprattutto perché Marsili concentrò il suo interesse sull'aspetto didattico e sperimentale. Fu erede del periodo in cui il progresso delle scienze matematiche e della geometria permise la costruzione delle forme poligonali necessarie alla creazione di fortificazioni moderne e in cui l'influenza dell'architettura civile e le riletture vitruviane diedero un ordine preciso alle rappresentazioni militari (pianta-altezza-profilo) sostituendo via via l'uso della prospettiva [Alonso Rodríguez 2014]. La pratica del disegno che, fino ad allora, non era mai stata considerata da un punto di vista pedagogico ed era stata solo leggermente discussa nei trattati militari prima della metà del XVII secolo, dal 1650 assunse un ruolo molto importante. Marsili, tra gli altri, evidentemente si accorse delle principali carenze nella formazione degli ingegneri militari: l'apprendimento delle tecniche di disegno e l'uso corretto delle convenzioni grafiche. Per questo la Stanza dell'architettura militare dell'Istituto delle Scienze, fondato nel 1711 ed inaugurato nel 1714 per suo volere, a Palazzo Poggi a Bologna divenne il luogo del progresso conoscitivo e trasmissibile dell'arte del combattere e della formazione per la progettazione delle fortificazioni di difesa [Marotta 2012, pp.161-166]. Nel suo libro *Parallelo* [Marsili 1930a, pp. 406-419] infatti afferma che l'insegnamento doveva essere dedicato a "tutte quelle parti della matematica che riguardano alle arti, cioè le meccaniche, l'architettura militare e civile, la prospettiva, la planimetria, l'aritmetica, la geografia e tutto che concerne al militare". Quello che Marsili costruì era, a tutti gli effetti, un laboratorio che tramandava il sapere tecnico attraverso plastici di piazzeforti, modelli di fortificazioni che riproducevano le tavole di trattati militari da Galeazzo Alghisi da Carpi a Leonhard Christoph Sturm, ossia un luogo in cui si anteponeva ai libri l'osservazione e la sperimentazione [Fara 1989]. I modelli di fortificazione militare, oggetto di questo studio, non si sa bene se furono raccolti da Marsili con finalità collezionistiche o se furono realizzati per altro scopo, certo è che divennero uno strumento educativo. L'analisi e lo studio di questi modelli fornivano, infatti, conoscenze sulla pianificazione strategica, nonché sulla geometria applicata e la topografia [Vitali 2020]. I suoi modelli, benché riguardassero una strategia militare non più in uso in quegli anni, erano importanti perché storicizzavano in qualche modo le competenze di tanti architetti militari. Ancora oggi la collezione dei 39 modelli è esposta presso il Museo di Palazzo Poggi di proprietà dell'Alma Mater Studiorum Università di Bologna.

## Le collezioni di plastici

La costruzione di plastici di architettura militare (fig. 01) nasce in un contesto politico, militare e scientifico molto strutturato; infatti, a partire dal XVII secolo esistono diverse e signi-



Fig. 01. Collezione di plastici con fortificazioni risalenti a differenti epoche (XVII-XVIII secolo), in ordine: Castle of Oléron Relief Map, the Trompette Castle in Bordeaux Relief Map, Citadel of Saint-Martin-de-Ré Relief Map, Castle of Oléron Relief Map, Plan-relief de la Ville de Mont-Dauphin, Plan-relief de la ville de Neuf-Brisach - © RMN-Grand Palais - R. G. Ojeda.



ficative collezioni di questo genere, alcune tuttora conservate e altre solamente descritte e raccontate in libri, corrispondenza e cronache. Non esistono esempi del tutto analoghi alla collezione di Marsili, ma è possibile riscontrare analogie simili nei Plan-Reliefs, modelli su diversa scala prodotti per uso militare, realizzati per visualizzare progetti di costruzione di fortificazioni o campagne che circondano luoghi fortificati. La principale collezione di queste opere è sita nel museo nazionale dei Plans-Reliefs, che raccoglie un centinaio di plastici di architettura militare costruiti dalla fine del XVII secolo alla fine del XIX secolo, appartenenti ad una collezione che nel 1927 è stata classificata monumento storico. Le ragioni per cui venivano costruiti i plastici sono molteplici e nel caso della collezione di Luigi Ferdinando Marsili non sono note, anche se poi furono utilizzate per fini didattici. Certo è che, per la loro tipologia di costruzione, possono essere catalogati sotto la voce di modelli teorici di sistemi di fortificazione (fig. 02), in analogia a quanto avveniva negli altri paesi [Frommel 2015]. I plastici potevano venire realizzati per istruire le maestranze che non erano capaci, essendo analfabeti, di capire disegni e calcoli, oppure per finalità politiche, ossia informare i consigli militari per la scelta dei luoghi da costruire e concordare così costi e schemi planimetrici, anche per evitare contenziosi tra i tecnici. Altre ragioni le troviamo nel puro gusto di principi e magistrature supreme per il collezionismo, nella curiosità e gusto della società del tempo, oppure per documentare fortificazioni demolite e infine appunto per fini didattici. Nasce infatti, alla fine del '600, in diversi stati, il corpo del Genio e di conseguenza la necessità di istituire scuole e accademie per la formazione degli ingegneri, in cui gli strumenti sono manuali, trattati, strumenti scientifici con cui tracciare la geometria, modelli teorici di artiglieria e di fortificazioni militari. La collezione dei 39 modelli di architettura di Luigi Ferdinando Marsili (fig. 03) fu donata da lui stesso, nel 1711, all'Istituto di Scienze di Bologna. I modelli si ispirano ai sistemi di fortificazione indicati da Leonhard Christoph Sturm nel testo *Architectura Militaris Hypothetico-Eclectica, Oder Gründliche Anleitung zu der Kriegs-Baukunst* (fig. 04). Il testo presenta più edizioni, la prima del 1702 edita a Norimberga e a seguire quelle del 1719, 1720, 1736 e 1755 e rappresenta l'evoluzione dei sistemi di fortificazione dall'anno 1570 all'anno 1702. Va ricordato che Sturm era un puro trattatista, ossia non aveva mai seguito dal vero un cantiere sulle fortificazioni, il che significa, a ragion veduta, che la collezione di Marsi-



Fig. 02. Modelli teorici di sistemi di fortificazione della collezione del Musée Des Plans-Reliefs (Parigi) - © musée des Plans-reliefs - B. Arrigoni.

li può essere considerata un catalogo sulla cultura delle fortificazioni che lui stesso aveva creato e poi donato all'Istituto per dare agli aspiranti ingegneri quella formazione tecnica teorica, basata su regole, che a lui, nella sua formazione, era mancata [Hogg 1982]. Quindi, la collezione, realizzata, come già detto, per ragioni non note, assume una finalità didattica e non una funzione celebrativa per esaltare la potenza di un sovrano, come avvenne invece per la collezione dei *plans reliefs* sotto il regno di Luigi XIV in Francia [Warmoes 1999]. I *plans reliefs* costituiscono una pratica cartografica in voga in quel periodo e hanno molteplici utilizzi e valori, anche se difficilmente distinguibili [Salerno 2019, pp. 221-229]. Sono espressione della tensione tra funzione militare e funzione rappresentativa, tra visione militare e visione pittoresca, tra esattezza topografica e qualità artistica [Fortier 1987, pp. 44-53]. I modelli di Marsili incarnano allo stesso modo queste caratteristiche, anche se dai documenti storici rivenuti non si conosce con esattezza né l'anno di realizzazione, anche se si può stimare tra il 1702 e il 1711, né in quale occasione questi modelli vennero realizzati, si sa solo che i modelli sono monocromatici, realizzati in legno di abete rosso e pioppo, ma si ignora l'artigiano che li realizzò [Lanteri 1557]. Sono di dimensione variabile, in genere si assestano su 60 per 104 cm (fuori cornice) e, considerando che il piede bolognese era di circa 38 cm ed era diviso in 12 once da 3,15 cm, è compatibile con quanto descritto nei documenti storici (fig. 05) "...longa



Fig. 03. Collezione di modelli di Luigi Ferdinando Marsili del Museo di Palazzo Poggi (Bologna).



Fig. 04. Prima pagina del libro "Architectura Militaris Hypothesico-Eclectica, Oder Gründliche Anleitung zu der Kriegs-Baukunst" di Leonhard Christoph Sturm.

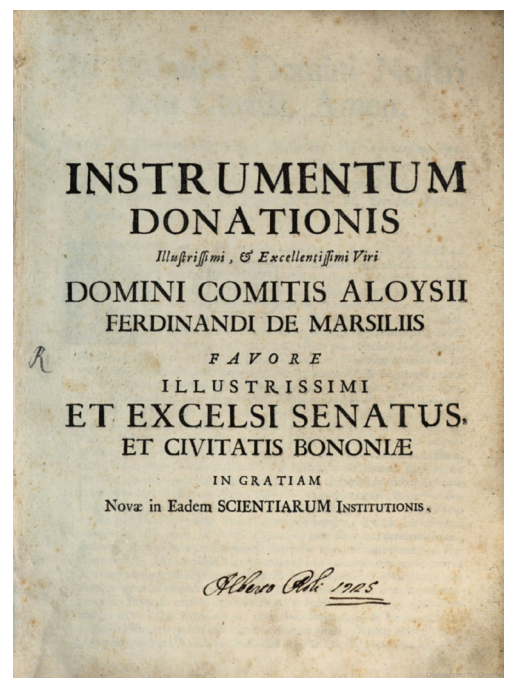


Fig. 05. Copertina del libro "Instrumentum Donationis" di Luigi Ferdinando Marsili.



sunt pedes duos, uncias octo, lata vero pedem unum, et uncias septem..." [Marsili 1711, p. 87]. Le tavole, ispirate alle tavole presenti nel libro di Sturm come già ricordato, sono in realtà rappresentate con evidenti differenze, sia in termini di proporzioni che di angoli di tracciamento, ma mettono in luce la volontà di spiegare lo sviluppo di una linea fortificata, dando enfasi agli alzati che a fatica si potevano desumere dai disegni contenuti nel libro di Sturm [Warmoes 1997]. Le tavole, infatti, sono state adattate, a volte con qualche forzatura, alla forma esagonale di un perimetro teorico, per meglio mostrare le caratteristiche peculiari ed evidenziare le differenze fra i diversi schemi teorici. Quindi, le 39 tavole di Marsili sembrano riflettere più la volontà di documentare le varie fasi della teoria sulle fortificazioni, che dettagliare le tecniche fortificatorie. È come se le tavole di Marsili fossero un momento precedente alla descrizione delle tecniche, un momento in cui la pratica percettiva assume più importanza del metodo teorico stabilito nell'arte della fortificazione. La formazione degli ingegneri militari passa, infatti, in prima battuta nella capacità di osservare in modo molto accurato [Apothéoz 1998, pp. 15-31] e per avere questa qualità è necessaria un'abilità specifica, comunemente chiamata occhio militare. Ciò comprende, allo stesso tempo, la capacità di misurare efficacemente le distanze visive, di percepire rapidamente le caratteristiche del manufatto, di sintetizzarle in un quadro d'insieme, di avere la capacità di misurare efficacemente le distanze e di averne una memoria e per affinare queste caratteristiche riteniamo che le tavole di Marsili possano essere un ottimo supporto [Vérin 1993].

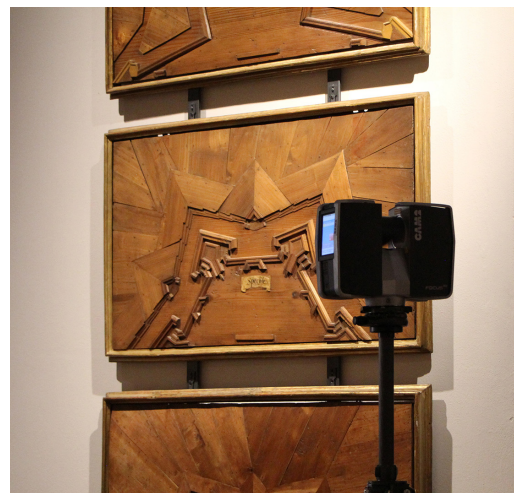
### La ricerca e il modello 3D

La ricerca vuole sviluppare soluzioni digitali per permettere una visita arricchita alla collezione Marsili, sia dal punto di vista storico, sia attraverso il confronto tra le mappe rappresentate da Sturm e i modelli realizzati da Marsili (fig.06). Ognuna delle 39 tavole che compongono la collezione è stata fotografata 20 volte con la stessa camera Canon EOS 600D reflex con uno standard zoom lens EF-S 18-55 IS II. Ottenendo un totale di 20 foto per tavola per 39 tavole, cioè un totale di 780 foto. Ogni serie di foto è stata poi elaborata per produrre 39 ortofotopiani, 39 nuvole di punti, 39 modelli, che devono poi essere uniti in un unico set uniforme e testurizzato. La fotogrammetria, in particolare l'implementazione di software *Structure From Motion*, ha subito un notevole incremento di applicazioni nell'ultimo decennio. I motivi sono legati alla presenza di sensori, sempre più economici e leggeri, che ha portato quasi a poter usare semplici smartphone per ottenere output fotogrammetrici di livello professionale. Nel caso in esame, trattandosi di oggetti di piccola scala, si è proceduto all'utilizzo di tecniche fotogrammetriche di tipo classico, anche per poter lavorare con risoluzioni adatte al dettaglio degli oggetti di studio. La fotogrammetria sfrutta diverse immagini scattate usando vari punti di vista per costruire



Fig. 06. Comparazione tra i modelli tratti dal libro di Leonhard Christoph Sturm e i modelli prodotti da Luigi Ferdinando Marsili. Elaborazione degli autori.

Fig. 07. Rilievo svolto attraverso il laser scanner FARO CAM2 FOCUS 3D®. Fotografia degli autori.



un modello digitale 3D dell'oggetto: rileva un certo numero di punti caratteristici in ogni immagine 2D sulla base delle discontinuità di forma e colore e poi associa punti omologhi tra le differenti immagini per ricostruire la posizione, l'orientamento e la forma dell'oggetto nello spazio 3D. Per l'acquisizione del dato, trattandosi di pannelli non rimovibili dalla parete a cui sono ancorati, si è proceduto ad effettuare una acquisizione di tipo parallelo e una acquisizione di tipo semisferico, ripetuta con metodo per ognuno dei 39 pannelli esposti. Le immagini collezionate sono state poi processate nel software Agisoft Metashape, ottenendo come risultato finale una prima nuvola di punti. La criticità riscontrata in fase di acquisizione del dato è legata all'impossibilità di rimuovere i pannelli dalle pareti verticali e di dovere lavorare ad un livello di quota variabile fino a 3 m di altezza. Parallelamente all'acquisizione fotogrammetrica si è proceduto all'acquisizione laser scanner, utilizzando uno strumento FARO CAM2 FOCUS 3D® (fig. 07). Anche l'acquisizione delle scansioni TLS non è stata agevolata dalla impossibilità di rimuovere i pannelli. Per una procedura controllata e ripetibile sarebbe stato opportuno creare una sorta di "macchina di acquisizione" con lo strumento fisso e l'oggetto rilevato mobile, dotato di target, così da garantire la distanza dello strumento fissa e la risoluzione maggiore possibile. In assenza di questi requisiti, si è cercato di ovviare realizzando la campagna di rilievo con almeno quattro scansioni per ciascuna delle 39 tavole da una distanza non superiore ai 2 m. Le scansioni sono state effettuate con una risoluzione di 3 mm/10m utilizzando un filtro di qualità 3x, sufficiente per scansioni al chiuso in assenza di disturbi. L'allineamento delle scansioni è stato eseguito con il software FARO SCENE 2019® utilizzando una registrazione interattiva *Cloud to Cloud*, adottando 0,001 mm di distanza media di sottocampionamento e un raggio di tolleranza di 0,01 m. Operando con questi parametri, avendo garantito con un'opportuna scelta dell'area di rilievo una sovrapposizione delle scansioni prossima al 100% dell'area della singola tavola, è stato possibile ottenere un allineamento estremamente accurato con una deviazione standard media tra i punti corrispondenti dell'ordine di 1 mm e una deviazione massima mai superiore a 1,5 mm. A questo punto si è proceduto nell'importazione della nuvola di punti creata da una scansione laser all'interno del progetto realizzato con il software Agisoft Metashape dove esiste già la nuvola di punti realizzata con la fotogrammetria e sono stati disposti dei target nei punti notevoli della maquette (spigoli, profili, ecc.) al fine di creare un match tra la nuvola di punti da fotogrammetria e la nuvola di punti prodotta da elaborazione laser scanner. Una volta completata questa fase si è proceduto a realizzare la e a seguire la fase di texturizzazione (fig. 08). In conclusione, il confronto tra i disegni tratti dal libro di Leonhard Christoph Sturm e gli ortofotopiani texturizzati dei modelli prodotti da Luigi Ferdinando Marsili conferma l'assoluta similitudine tra i differenti modelli, prodotti per mano di artisti differenti, ma basati sulle medesime regole compositive.

## Conclusioni

È fuori di dubbio che questi modelli di Marsili continuano ancora oggi ad esercitare un certo fascino, soprattutto perché ancora intrisi nel mistero sul perché e sul come vennero costruiti. Ed è certo che poterli fruire in modo più dinamico possa essere di interesse. La creazione di modelli digitali, frutto di rilievi laser scanner e di fotomodellazione, può infatti permettere un'esplorazione interattiva. Questi modelli potrebbero diventare la base per una serie di applicazioni che permettono al visitatore di sperimentare la realtà virtuale e la realtà aumentata direttamente all'interno del museo. A partire da questo studio, soprattutto se potenziato con rilievi ancora più metodici e accurati, sarà possibile realizzare modelli di realtà virtuale o aumentata, in grado di sviluppare la struttura difensiva in tutta la sua elevazione. In questo modo l'utente avrà la possibilità di interagire con una costruzione militare vera e propria, godendo di una visione di tutti i dettagli non apprezzabili dal solo basso rilievo. L'attività di rilievo svolta sui modelli non solo consente la possibilità di catalogare oggetti di importante valore, ma consente una analisi approfondita della morfologia di queste tavole al fine di poter portare alla luce aspetti ancora inesplorati rispetto all'utilizzo nella storia di queste maquette. Le possibilità dei risultati ottenuti non sono limitate solo alla visualizzazione 3D, ma rappresentano un valido strumento in termini di analisi scientifica, di diffusione culturale e di

gestione museale. I modelli stessi possono diventare un supporto per associare informazioni documentali, risultati di prove sui materiali e qualsiasi altro tipo di dato, diventando un vero sistema informativo digitale, fruibile dall'utente, ma anche utile per i ricercatori. In definitiva l'ausilio e l'integrazione di strumenti laser scanner e di rilievi fotogrammetrici consente la costruzione di modelli geometricamente affidabili utilizzabili nel presente e nel futuro come strumenti di conservazione, studio e divulgazione.

### Ringraziamenti

Si ringrazia ©Università di Bologna | Sistema Museale di Ateneo| Museo di Palazzo Poggi, per aver permesso i rilievi dei 39 modelli di Luigi Ferdinando Marsili.



Fig. 08. Processo di creazione del modello digitale. Elaborazione degli autori.

### Riferimenti Bibliografici

- Alonso Rodríguez, M.A., Calvo López, J. (2014). Prospettiva Soldatesca: An Empirical Approach to the Representation of Military Architecture in the Early Modern Period. In *Nexus Network Journal*, 16-3, pp. 543-567.
- Apothéloz, D. (1998). Eléments pour une logique de la description et du raisonnement spatial. In Reuter Y. *La description. Théories, recherches, formation, enseignement*. Villeneuve d'Ascq: Presses universitaires du Septentrion, pp. 15-31.
- Fara, A. (1989). *Il sistema e la città - Architettura fortificata dell'Europa moderna, dai trattati alle realizzazioni, 1464-1794*. Genova: Ed. Sagep.
- Fortier, B., Prost P. (1987). Il museo dei Plans-Reliefs a Parigi. In *Casabella*, vol. 2, n. 533, pp. 44-53.
- Frommel, S. (2015). *Les maquettes d'architecture. Function et évolution d'un instrument de conception et de réalisation*. Roma: Campisano Ed.
- Hogg, J. (1982). *Storia delle fortificazioni*, Novara: De Agostini.
- Lanteri, G. (1557). *Due dialoghi del modo di disegnare piante delle fortezze secondo Euclide, et del modo di comporre i modelli e porre in disegno le piante delle città*, Venezia: Cofantini.
- Marotta, A. (2012). Geometria e costruzione: modelli mentali e tipi realizzati nel territorio della difesa. In *DisegnareCon*, vol. 9, pp. 161-166.
- Marsili, L.F. (1711). *Instrumentum Donationis Illustrissimi, & Excellentissimi Viri Domini Comitis Aloysii Ferdinandi De Marsiliis Favore Illustrissimi Et Excelsi Senatus, Et Civitatis Bononiae: in gratiam novae in eadem scientiarum institutionis*, p. 87. Bologna: s.n.
- Marsili, L. F. (1930a). Parallelo dello stato moderno dell'Università di Bologna con l'altre di là de' monti. In E. Bortolotti. *La fondazione dell'Istituto e la Riforma dello Studio di Bologna*, pp. 406-419. Bologna: Zanichelli.
- Marsili, L. F. (1930b). *Autobiografia*. In Lovarini E. (a cura di). Bologna: Zanichelli.
- Salerno, R. (2019). Drawing, Map, Maquette. Plan-relief Landscape Depiction. In *DisegnareCon*, vol. 12, n. 22, pp. 221-229.
- Vérin, H. (1993). *La gloire des ingénieurs. L'intelligence technique du XVI<sup>e</sup> au XVIII<sup>e</sup> siècle*. Paris: Albin Michel.
- Vitali, M., "et al." (2020). Modelli plastici di architettura militare: valore di un patrimonio culturale da preservare e valorizzare nell'era digitale. In Palazón, N., *Defensive Architecture of the Mediterranean. Atti dell'International Conference on Fortifications of the Mediterranean Coast. FORTMED 2020*. Granada, 26-28 March 2020, vol. 10, Editorial Universidad de Granada.
- Warmoes, I. (1997). *Le Musée des Plans-Reliefs. Maquettes historiques de villes fortifiées*. Paris: Éditions Du Patrimoine.
- Warmoes, I. (1999). *Musee Des Plans-Reliefs: Historic Models of Fortified Towns*. Guides Thematiques. Paris: Patrimoine.

### Autori

Cristiana Bartolomei, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, cristiana.bartolomei@unibo.it  
Caterina Morganti, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, caterina.morganti4@unibo.it  
Davide Prati, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, davide.prati5@unibo.it

Per citare questo capitolo: Cristiana Bartolomei, Caterina Morganti, Davide Prati (2022). Strategie digitali per conoscere e valorizzare i modelli di fortificazioni di Luigi Ferdinando Marsili. / Digital strategies for learning and valorising the models of fortifications by Luigi Ferdinando Marsili. In Battini C., Bistagnino E. (a cura di). *Dialoghi. Visioni e visualità. Testimoniare Comunicare Sperimentare. Atti del 43° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Dialogues. Visions and visuality. Witnessing Communicating Experimenting. Proceedings of the 43rd International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 107-122.





# Digital strategies for learning and valorising the models of fortifications by Luigi Ferdinando Marsili

Cristiana Bartolomei  
Caterina Morganti  
Davide Prati

## Abstract

The article deals with the digitisation of the collection of fortification models made by Luigi Ferdinando Marsili (1658-1720). It is not known exactly why the soldier and scientist Marsili made the models, nor the exact date of construction of these models, but what is certain is that he drew inspiration for their construction from the models in Leonhard Christoph Sturm's book '*Architectura Militaris Hypothetico-Eclectica, Oder Gründliche Anleitung zu der Kriegs-Baukuns*'. The 39 models, reproducing military treatise tables from Galeazzo Alghisi da Carpi to Leonhard Christoph Sturms, are now on display in the military architecture room of the Palazzo Poggi Museum in Bologna. The aim of the research is to catalogue and enhance the collection of these maquettes through the creation of digital models. The research work was carried out using laser scanning and photo modelling techniques to achieve an interactive three-dimensional exploration of the models and provide more scientific information and disseminate this priceless cultural heritage.

## Keywords

Historical documents, 3D models, Military art and science, Fortifications, Representation



The models of fortifications by Luigi Ferdinando Marsili. Elaboration of the authors.

## Introduction

The figure of Luigi Ferdinando Marsili (1658-1720) [Marsili 1930b] is of considerable interest for the study of military art from the point of view of representation, above all because Marsili concentrated his interest on the didactic and experimental aspects. He was heir to the period in which the progress of mathematical sciences and geometry allowed the construction of the polygonal forms necessary for the creation of modern fortifications and in which the influence of civil architecture and Vitruvian reinterpretations gave a precise order to military representations (plan-height-profile) gradually replacing the use of perspective [Alonso Rodríguez 2014]. The drawing practice, which until then had never been considered from a pedagogical point of view and had only been lightly discussed in military treaties before the middle of the 17th century, took on a very important role from 1650. Marsili, among others, evidently realised the main shortcomings in the training of military engineers: learning drawing techniques and the correct use of graphic conventions. This is why the Room of Military Architecture at the Institute of Sciences, founded in 1711 and inaugurated in 1714 at his behest, in Palazzo Poggi in Bologna became the place of cognitive and transmissible progress in the art of fighting and training for the design of defence fortifications [Marotta 2012, pp.161-166]. In his book *Parallelo* [Marsili 1930a, pp. 406-419], he states that teaching was to be devoted to “all those parts of mathematics which pertain to the arts, that is, mechanics, military and civil architecture, perspective, planimetry, arithmetic, geography and all that pertains to the military”. What Marsili built was, to all intents and purposes, a laboratory that passed on technical knowledge through models of strongholds, models of fortifications that reproduced the tables of military treatises from Galeazzo Alghisi da Carpi to Leonhard Christoph Sturms, in other words, a place where observation and experimentation came before books [Fara 1989]. The models of military fortifications, the subject of this study, it is not known whether they were gathered by Marsili for collecting purposes or whether they were made for another purpose. What is certain is that they became an educational tool. The analysis and study of these models provided knowledge on strategic planning, as well as on applied geometry and topography [Vitali 2020]. Although related to a military strategy no longer in use in those years, his models were important because they historicised in some way the skills of many military architects. Today, the collection of 39 models is still on display at the Palazzo Poggi Museum, owned by the Alma Mater Studiorum University of Bologna.

## Collections of models

The construction of models of military architecture (fig. 01) originated in a very structured political, military and scientific context; in fact, from the 17th century onwards, there were several significant collections of this kind, some of which are still preserved and others merely described and recounted in books, correspondence and chronicles. There are no examples entirely analogous to Marsili's collection, but similarities can be found in the *Plan-Reliefs*, models on various scales produced for military use, made to visualise plans for the construction of fortifications or campaigns surrounding fortified places. The main collection of these works is housed in the National Museum of Plans-Reliefs, which contains about one hundred models of military architecture built from the end of the 17th century to the end of the 19th century. This collection was classified as a historical monument in 1927.

The reasons why the models were built are many, and in the case of Luigi Ferdinando Marsili's collection, they are not known, although they were later used for educational purposes. What is certain is that, due to their type of construction, they can be classified under the heading of theoretical models of fortification systems (fig. 02), similar to what was done in other countries [Frommel 2015]. The models could have been made to instruct the unskilled workers, unable to understand drawings and calculations, or for political purposes, i.e. to inform the military councils on the choice of sites to be built and thus agree on costs and plans to avoid disputes between technicians.



Fig. 01. Collection of models with fortifications from different periods (17th-18th centuries), in order: Castle of Oléron Relief Map, the Trompette Castle in Bordeaux Relief Map, Citadel of Saint-Martin-de-Ré Relief Map, Castle of Oléron Relief Map, Plan-relief de la Ville de Mont-Dauphin, Plan-relief de la ville de Neuf-Brisach - © RMN-Grand Palais - R. G. Ojeda.



Fig. 02. Theoretical models of fortification systems in the collection of the Musée Des Plans-Reliefs (Paris) - © musée des Plans-reliefs - B. Arrigoni. Luigi Ferdinando Marsili's collection of 39 architectural models (fig. 3) was donated by him in 1711 to the Institute of Science in Bologna.

Other reasons can be found in the pure taste of princes and supreme magistrates for collecting, the curiosity and taste of the society of the time, for documenting demolished fortifications and, finally, for educational purposes. In fact, at the end of the 17th century, in several States, the Corps of Engineers was born, and consequently, the need to establish schools and academies for the training of engineers, in which the tools were manuals, treatises, scientific instruments with which to trace geometry, theoretical models of artillery and military fortifications. Luigi Ferdinando Marsili's collection of 39 architectural models (fig. 03) was donated by him in 1711 to the Institute of Science in Bologna. The models are inspired by the fortification systems indicated by Leonhard Christoph Sturm in the text *Architectura Militaris Hypothetico-Eclectica, Oder Gründliche Anleitung zu der Kriegs-Baukunst* (fig. 04). The text has several editions, the first in 1702 published in Nuremberg, followed by editions in 1719, 1720, 1736 and 1755, and represents the evolution of fortification systems from 1570 to 1702. It should be remembered that Sturm was a pure treatise writer, i.e. he had



never actually followed a construction site on fortifications, which means, with good reason, that Marsili's collection can be considered a catalogue on the culture of fortifications that he himself had created and then donated to the Institute to give aspiring engineers the theoretical, rules-based technical training that he had lacked in his own training [Hogg 1982]. Thus, the collection, built, as already mentioned, for unknown reasons, has a didactic purpose and not a celebratory function to exalt the power of a sovereign, as was the case for the collection of plans reliefs under the reign of Louis XIV in France [Warmoes 1999]. *Plans reliefs* constitute a cartographic practice in vogue at the time and have multiple uses and values, even if they are difficult to distinguish [Salerno 2019, pp. 221-229]. They are an expression of the tension between military and representative function, between military and picturesque vision, and between topographical accuracy and artistic quality [Fortier 1987, pp. 44-53]. Marsili's models embody these characteristics in the same way, although the historical documents that have come to light do not know exactly when they were made. However, it can be estimated that they were made between 1702 and 1711, but not on what occasion. All that is known is that the models are monochromatic, made of spruce and poplar, but the craftsman who made them is unknown [Lanteri 1557].

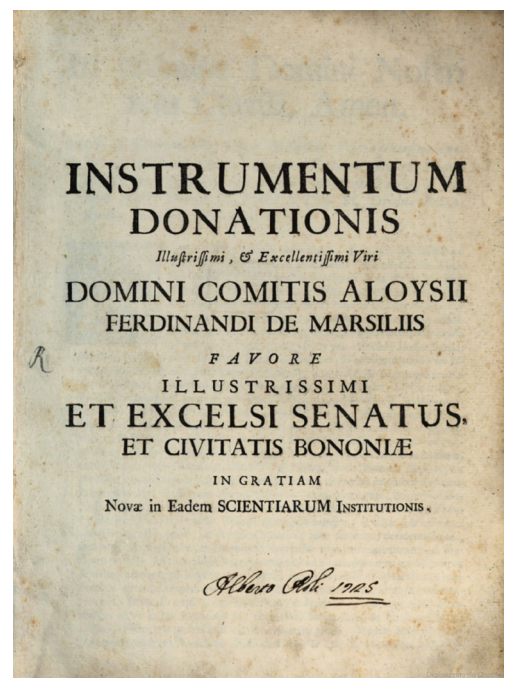


Fig. 03. Collection of models by Luigi Ferdinando Marsili in Palazzo Poggi Museum (Bologna).



Fig. 04. Front page of the book "Architectura Militaris Hypoethico-Eclectica, Oder Gründliche Anleitung zu der Kriegs-Baukunst" of Leonhard Christoph Sturm.

Fig. 05. Cover of the book "Instrumentum Donationis" of Luigi Ferdinando Marsili.



They vary in size, generally measuring 60 by 104 cm (outside the frame), and considering that the Bolognese foot was about 38 cm, divided into 12 ounces of 3.15 cm, it is compatible with what is described in historical documents (fig. 05) "...longa sunt pedes duos, uncias octo, lata vero pedem unum, et uncias septem...". [Marsili 1711, p. 87]. The models, inspired by the drawings in Sturm's book as already mentioned, are actually represented with obvious differences, both in terms of proportions and angles of tracing, but they highlight the desire to explain the development of a fortified line, giving emphasis to the elevations that could hardly be inferred from the drawings in Sturm's book [Warmoes 1997]. The models, in fact, were adapted, sometimes even forced, to the hexagonal shape of a theoretical perimeter, in order to better show the peculiar characteristics and highlight the differences between the different theoretical schemes. Thus, Marsili's 39 models seem to reflect more the desire to document the various phases of the theory of fortifications than to detail fortification techniques. It is as if Marsili's plates were a moment prior to the description of techniques, a moment in which perceptive practice assumed more importance than the theoretical method established in the art of fortification. In the first instance, military engineers' training passes in the ability to observe very accurately [Apothéloz 1998, pp. 15-31] and to have this quality, a specific skill is required, commonly called the military eye. This skill includes, at the same time, the ability to effectively measure visual distances, quickly perceive the characteristics of the artefact, synthesise them into an overall picture, be able to measure distances effectively and have a memory of them. We believe that Marsili's models can be an excellent support to refine these characteristics [Vérin 1993].

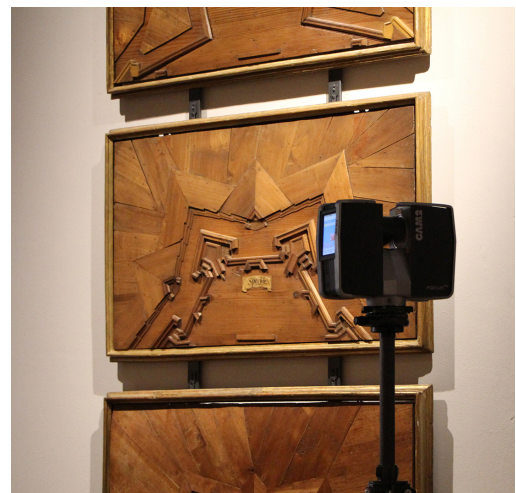
### Research and the 3D model

The research aims to develop digital solutions to allow an enriched visit to the Marsili collection, both from a historical point of view and through a comparison between the maps represented by Sturm and the models made by Marsili (fig. 06). Each of the 39 models that make up the collection was photographed 20 times with the same Canon EOS 600D reflex camera with a standard zoom lens EF-S 18-55 IS II. This resulted in a total of 20 photos per plate for 39 plates, i.e. a total of 780 photos. Each set of photos was then processed to produce 39 orthophotoplans, 39 point clouds, 39 models, which then had to be merged into one uniform, textured set. Photogrammetry, in particular the implementation of Structure From Motion software, has undergone a significant increase in applications over the last decade. This is linked to the increasingly cheap and lightweight sensors, which have almost led to the possibility of using simple smartphones to obtain professional-level photogrammetric output. In this case of study, since we are dealing with small-scale objects, classical photogrammetric techniques have also been used in order to be able to work with resolutions suited to the detail of the study objects.



Fig. 06. Comparison between models from Leonhard Christoph Sturm's book and models produced by Luigi Ferdinando Marsili. Elaboration of the authors.

Fig. 07. Surveying by FARO CAM2 FOCUS 3D® laser scanner. Photo of the authors.





Photogrammetry exploits several images taken using various viewpoints to construct a 3D digital model of the object: it detects a certain number of characteristic points in each 2D image on the basis of shape and colour discontinuities and then associates homologous points between the different images to reconstruct the position, orientation and shape of the object in 3D space. For the data acquisition, since the panels are not removable from the wall to which they are anchored, a parallel acquisition and a hemispherical acquisition were carried out, repeated methodically for each of the 39 exposed panels. The collected images were then processed in the Agisoft Metashape software, obtaining a point cloud as the final result. The critical point encountered during the data acquisition phase is linked to the impossibility of removing the panels from the vertical walls and having to work at a variable height of up to 3 m. Parallel to the photogrammetric acquisition, laser scanning was carried out using a FARO CAM2 FOCUS 3D® instrument (fig.07).

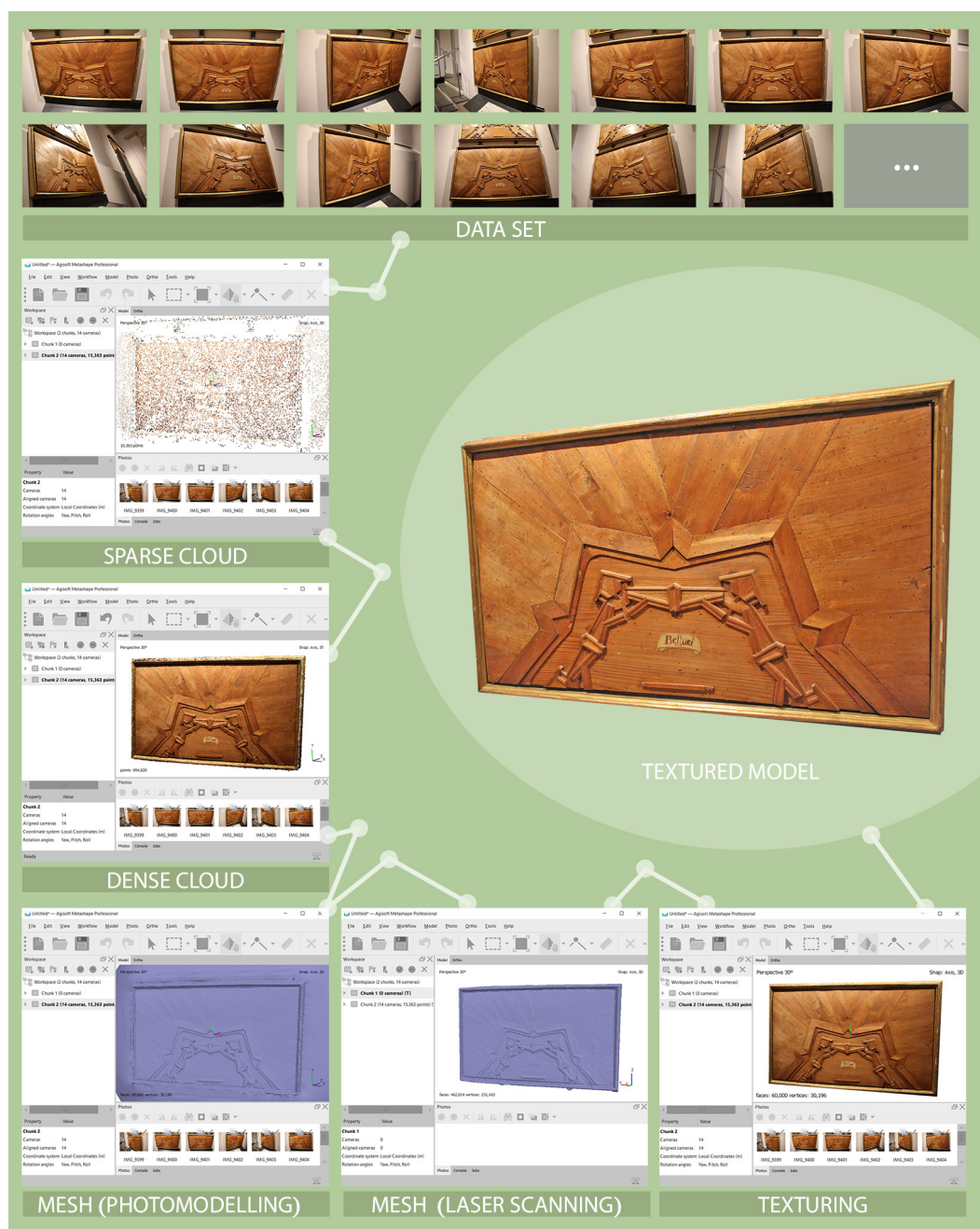


Fig. 08. Process of creating the digital model. Elaboration of the authors.



Even the acquisition of the TLS scans was not facilitated by the impossibility of removing the panels. For a controlled and repeatable procedure, it would have been advisable to create a sort of “acquisition machine”: the instrument in a fixed position and the surveyed object mobile, equipped with the appropriate targets, so as to guarantee a fixed distance of the instrument and the highest possible resolution. In the absence of these requisites, we tried to remedy the situation by carrying out the survey campaign with at least 4 scans for each of the 39 models from a distance of no more than 2 m. The scans were made with a resolution of 3 mm/10m using a 3x quality filter, which has been assumed enough for indoor scanning in the absence of disturbance. The alignment of the scans was performed with the FARO SCENE 2019® software using an interactive Cloud to Cloud algorithm, adopting a 0.001 mm average subsampling distance and a tolerance radius of 0.01 m. Working with these parameters and having ensured a suitable survey overlap area of the scans, close to 100% of the area of the single table, it was possible to obtain an extremely accurate alignment. The average standard deviation between the corresponding points of the 4 scans per table is less than 1 mm, with a maximum deviation never exceeding 1.5 mm. At this point, we proceeded to import the point cloud created by laser scanning into the project created with the Agisoft Metashape software. The point cloud created by photogrammetry already existed, and the targets placed in the significant points of the maquette (edges, profiles, etc.), were used to create a match between the photogrammetry point cloud and the one coming from the laser scanner processing. Once this phase was completed, the texturing phase was carried out (fig. 08). In conclusion, the comparison between the drawings taken from the book by Leonhard Christoph Sturm and the textured orthophotoplans of the models produced by Luigi Ferdinando Marsili confirms the absolute similarity between the different models, produced by different artists but based on the same compositional rules.

## Conclusion

Undoubtedly, these Marsili models still exert a certain fascination today, especially since they are still steeped in mystery as to why and how they were crafted. Moreover, it is evident that being able to use them in a more dynamic way could be of interest. The creation of digital models, the result of laser scanning and photomodelling, can enable interactive exploration. These models could become the basis for a series of applications allowing visitors to experience virtual and augmented reality directly inside the museum. Starting from this study, especially if enhanced with even more methodical and accurate surveys, it will be possible to create virtual or augmented reality models capable of developing the defensive structure in all its elevation. In this way, the user will have the possibility of interacting with a real-scale military construction, enjoying a vision of all the details that cannot be appreciated from the low relief alone. The surveying activity carried out on the models not only allows the possibility of cataloguing objects of significant value but also enables an in-depth analysis of the morphology of these panels in order to bring to light as yet unexplored aspects regarding the use of these maquettes in history. The exploitability of the results obtained is not only limited to 3D visualisation but represents a useful tool in terms of scientific analysis, cultural dissemination and museum management. The models themselves can become database support for associating documentary information, results of material tests and any other type of data, becoming a proper digital information system usable by the user and valuable for researchers. In conclusion, the use and integration of laser scanner tools and photogrammetric surveys allow the construction of geometrically reliable models that can be used in the present and the future as tools for conservation, study and dissemination.

## Acknowledgements

We would like to thank ©Università di Bologna | Sistema Museale di Ateneo | Museo di Palazzo Poggi, for allowing the survey of the 39 models by Luigi Ferdinando Marsili.

## References

- Alonso Rodríguez, M.A., Calvo López, J. (2014). Prospettiva Soldatesca: An Empirical Approach to the Representation of Military Architecture in the Early Modern Period. In *Nexus Network Journal*, 16-3, pp. 543-567.
- Apothéloz, D. (1998). Eléments pour une logique de la description et du raisonnement spatial. In Reuter Y. *La description. Théories, recherches, formation, enseignement*. Villeneuve d'Ascq: Presses universitaires du Septentrion, pp. 15-31.
- Fara, A. (1989). *Il sistema e la città - Architettura fortificata dell'Europa moderna, dai trattati alle realizzazioni, 1464-1794*. Genova: Ed. Sagep.
- Fortier, B., Prost P. (1987). Il museo dei Plans-Reliefs a Parigi. In *Casabella*, vol. 2, n. 533, pp. 44-53.
- Frommel, S. (2015). *Les maquettes d'architecture. Function et évolution d'un instrument de conception et de réalisation*. Roma: Campisano Ed.
- Hogg, J. (1982). *Storia delle fortificazioni*, Novara: De Agostini.
- Lanteri, G. (1557). *Due dialoghi del modo di disegnare piante delle fortezze secondo Euclide, et del modo di comporre i modelli e porre in disegno le piante delle città*, Venezia: Cofantini.
- Marotta, A. (2012). Geometria e costruzione: modelli mentali e tipi realizzati nel territorio della difesa. In *DisegnareCon*, vol. 9, pp. 161-166.
- Marsili, L.F. (1711). *Instrumentum Donationis Illustrissimi, & Excellentissimi Viri Domini Comitis Aloysii Ferdinandi De Marsiliis Favore Illustrissimi Et Excelsi Senatus, Et Civitatis Bononiae: in gratiam novae in eadem scientiarum institutionis*, p. 87. Bologna: s.n.
- Marsili, L. F. (1930a). Parallelo dello stato moderno dell'Università di Bologna con l'altre di là de' monti. In E. Bortolotti. *La fondazione dell'Istituto e la Riforma dello Studio di Bologna*, pp. 406-419. Bologna: Zanichelli.
- Marsili, L. F. (1930b). *Autobiografia*. In Lovarini E. (a cura di). Bologna: Zanichelli.
- Salerno, R. (2019). Drawing, Map, Maquette. Plan-relief Landscape Depiction. In *DisegnareCon*, vol. 12, n. 22, pp. 221-229.
- Vérin, H. (1993). *La gloire des ingénieurs. L'intelligence technique du XVI<sup>e</sup> au XVIII<sup>e</sup> siècle*. Paris: Albin Michel.
- Vitali, M., "et al." (2020). Modelli plastici di architettura militare: valore di un patrimonio culturale da preservare e valorizzare nell'era digitale. In Palazón, N., *Defensive Architecture of the Mediterranean. Atti dell'International Conference on Fortifications of the Mediterranean Coast. FORTMED 2020*. Granada, 26-28 March 2020, vol. 10, Editorial Universidad de Granada.
- Warmoes, I. (1997). *Le Musée des Plans-Reliefs. Maquettes historiques de villes fortifiées*. Paris: Éditions Du Patrimoine.
- Warmoes, I. (1999). *Musee Des Plans-Reliefs: Historic Models of Fortified Towns*. Guides Thematiques. Paris: Patrimoine.

## Authors

Cristiana Bartolomei, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, cristiana.bartolomei@unibo.it  
Caterina Morganti, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, caterina.morganti4@unibo.it  
Davide Prati, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, davide.prati5@unibo.it

To cite this chapter: Cristiana Bartolomei, Caterina Morganti, Davide Prati (2022). Strategie digitali per conoscere e valorizzare i modelli di fortificazioni di Luigi Ferdinando Marsili / Digital strategies for learning and valorising the models of fortifications by Luigi Ferdinando Marsili. In Battini C., Bistagnino E. (a cura di). *Dialoghi. Visioni e visualità. Testimoniare Comunicare Sperimentare. Atti del 43<sup>o</sup> Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Dialogues. Visions and visuality. Witnessing Communicating Experimenting. Proceedings of the 43rd International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 107-122.