

Dal codice Magliabechiano alla mixed reality: il complesso Rocca-Torrione di F. di Giorgio Martini a Cagli

Paolo Clini, Ramona Quattrini, Romina Nespeca, Mirco D'Alessio
Università Politecnica delle Marche

p.clini@univpm.it, r.quattrini@univpm.it, r.nespeca@univpm.it, m.dalessio@pm.univpm.it

Abstract

La ricerca presenta un workflow volto alla ricostruzione 3D del complesso Rocca-Torrione di F. di Giorgio Martini a Cagli, tra patrimonio materiale e immateriale. Dal rilievo alla mixed reality, è stato riportato alla luce l'intero sistema architettonico, a partire da fonti storiche. Utilizzando stampa 3D e AR si restituisce una dimensione fisica al virtuale e se ne favorisce la divulgazione.

Abstract

The research presents a workflow aimed at the 3D reconstruction of the Rocca-Torrione complex by F. di Giorgio Martini in Cagli, between material and immaterial heritage. From the survey to the mixed reality, the entire architectural system has been brought to light, starting from historical sources. Using 3D printing and AR, a physical dimension is given back to the virtual and encourages its dissemination.

Key words

3D reconstruction, 3D printing, Digital Cultural Landscape, Military architecture, Mixed Reality.

1. Introduzione

La definizione dell'eredità culturale di un territorio si basa non tanto sul singolo monumento ma su tutta la stratificazione del sistema territoriale, in cui vanno evidenziati sia i caratteri materiali, come monumenti, resti archeologici, architetture e luoghi; che quelli immateriali, quali letteratura, miti, poesia, tradizioni ed eventi storici [1]. Ciò rientra pienamente nella definizione ampia e sistemica di Cultural Landscape, ossia di paesaggio culturale, definito da UNESCO ed ICOMOS.

Il tema fondamentale di questo lavoro riguarda lo studio di una architettura ormai quasi immateriale, perché in parte fisicamente perduta da secoli, la cui passata esistenza viene testimoniata da pochi resti architettonici, da disegni e descrizioni storiche. Il caso studio preso in esame è il sistema fortificato cinquecentesco di Cagli (PU), progettato e realizzato da Francesco di Giorgio Martini. Il complesso militare cagliese era caratterizzato da un sistema di mura a valle e da una Rocca a monte di una collina, strategicamente situato a difesa della via Flaminia e delle valli del Bosso e del Burano. I due elementi architettonici erano collegati da un passaggio sotterraneo detto

“soccorso coperto”, attualmente non fruibile. Mentre il Torrione ci è pervenuto in ottimo stato di conservazione, la Rocca è andata completamente distrutta ad esclusione di pochi resti murari.

Il principale intento di questo lavoro consiste nello studio dell'antico sistema fortificato al fine di proporre una ricostruzione virtuale con particolare riguardo alla Rocca. Per lo svolgimento di questo lavoro tassello sostanziale sono le recenti tecniche di rilievo e visualizzazione digitale. Fondamentale risulta lo sviluppo di una metodologia integrata in grado di mettere in relazione rilievo digitale dell'esistente con la modellazione 3D degli elementi architettonici non più esistenti, passando attraverso lo studio critico delle fonti storiche, allo scopo di ottenere in modo scientificamente valido risultati fruibili a diversi livelli, anche divulgativi.

Il lavoro di ricerca si inserisce in un panorama ben più ampio di azioni, a scala comunale e regionale, volti alla rifunzionalizzazione e restauro del complesso attualmente esistente costituito da Torrione, “soccorso coperto” e Convento dei Cappuccini, edificato sui resti della Rocca.

1. Introduction

Nowadays our Cultural heritage is defined not only through the single monument, but also through all the features belonging to its territorial system, for this reason it is mandatory to take into account not only the tangible features (i.e.: monument, archaeological finds, architectures and places) but also, the intangible ones, such as literature, myth, poetry, traditions and historical events [1]. This approach is directly linked to the wide definition of Cultural Landscape by UNESCO and ICOMOS. The main theme of our work concerns the study of an architecture now almost immaterial and partially physically lost, whose past existence is witnessed by a few architectural remains, drawings, and historical descriptions. The case study examined is the sixteenth-century fortified system of Cagli (PU), designed and built by Francesco di Giorgio Martini. The military complex of Cagli was characterized by a system of walls downstream and a fortress upstream of a hill, strategically located to defend the Via Flaminia and the valleys of rivers Bosso and Burano. The two architectural elements were connected by an underground passage called "soccorso coperto", currently not usable. The Torrione survived in excellent condition, finally the Fortress was destroyed except of few walls. The main aim of this work consists in the study of the ancient fortified system in order to carry out a virtual reconstruction of the fortress. For this work great help is provided by recent techniques of surveying and digital representation. Fundamental is the development of an integrated methodology able to link digital survey of the existing with 3D modeling of architectural elements no longer existing, passing through the critical study of historical sources, to obtain scientifically valid results usable at different levels, including

divulgation. The research work is part of a broader set of initiatives, at municipal and regional scale, aimed at the re-functioning and restoration of the existing military complex involving, the "soccorso coverto" and Capuchin Convent, built on the remains of the old fortress.

2. Stato dell'arte

A partire dagli anni '70 le nuove tecnologie e la computer grafica hanno iniziato ad avere un ruolo sempre più determinante nello studio dei beni culturali, risultando come elemento fondamentale per l'interpretazione, la conservazione e la salvaguardia del Patrimonio Naturale e Culturale [2]. Successivamente, il grande sviluppo tecnologico, a cui seguì anche un crollo dei costi delle strumentazioni, favorì una più larga sperimentazione delle tecnologie digitali in molti campi accademici [3],[4]. Ciò portò alla stesura della "Carta di Londra", con lo scopo di fissare principi metodologici generali per le applicazioni di visualizzazione digitale, legate ai beni culturali, mettendo dei punti fermi nella sperimentazione. Si cercò di risolvere uno dei principali problemi già sollevati negli anni 90, ossia la necessità di collegare le tecniche di visualizzazione con l'autorevolezza scientifica. Fondamentale risulta essere il quarto principio della Carta ossia l'organizzazione ed esplicitazione della documentazione necessaria allo sviluppo della visualizzazione digitale. Nel 2009, con lo scopo di rendere esecutivi i principi della "Carta di Londra", venne redatta la "Carta di Siviglia", accolta prevalentemente in ambito archeologico. Esso, infatti, risulta essere uno dei campi più legati a queste tematiche [5], già dagli anni '90, con la pionieristica definizione di Virtual archaeology [6]. A testimonianza di ciò riscontriamo numerosissimi progetti come "Rome Reborn" [7] o "Virtual Archaeology. Re-creating Ancient Worlds" [8]: quest'ultimo è una raccolta descrittiva di 50 siti archeologici, sparsi in tutto il mondo, legati tra loro dall'utilizzo di strumenti digitali e virtuali. Negli ultimi anni l'impiego di modelli 3D, come strumento di ricerca, ha acquisito una valenza imprescindibile nella pratica operativa, come dimostra la crescita del numero di convegni riguardanti il binomio nuove tecnologie-beni culturali [9], cioè risulta determinate in questo panorama il porre attenzione all'attendibilità scientifica tramite una metodologia rigorosa e la collaborazione tra competenze diverse, in modo tale da non ridurre le nuove tecnologie a mero mezzo d'intrattenimento.

2. Recent solutions

Since the 1970s, new technologies and computer graphics have been playing an increasingly important role in the study of the cultural heritage, becoming fundamental for the interpretation, preservation and restoration of our Natural and Cultural heritage [2]. Subsequently, the great technological development, characterized by lower costs of

devices, enabled by a wider experimentation of digital technologies in many academic fields [3],[4]. This facts led to the creation of the "London Charter", with the aim of establishing general methodological principles for applications of digital visualization, also related to cultural heritage, highlighting relevant points for the experimentation. The main aim of the Charter was to stress the need of linking visualization techniques to scientific methodology, this is one of the main problems already raised in the 1990s. For this reason, fundamental is the fourth principle of the Charter that is the organization of the documentation necessary for the development of digital visualization. In 2009, with the aim of making effective the principles of the "Charter of London", the "Charter of Seville" was drawn up, which was mainly welcomed in the archaeological field, traditionally one of the most engaged by new technologies [5], since the 1990s, with the pioneering definition of Virtual archaeology [6]. As evidence several projects started such as "Rome Reborn" [7] or "Virtual Archaeology. Re-creating Ancient Worlds" [8]: the second is a descriptive collection of 50 archaeological sites all over the world, characterized by the use of digital and virtual tools. In recent years, the use of 3D models as a research tool gained an essential role in the current research scenario, in fact, today we observe the growth in the number of conferences about the combination of new technologies and cultural heritage [9]. In other words, in this scenario it is mandatory to pay attention to scientific reliability through a rigorous methodology and collaboration among different skills, in order to avoid mere entertainment tool.

3. Metodologia

3.1. Storia del sito

Storicamente diverse testimonianze ci tramandano la presenza di edifici precedenti all'edificazione della Rocca di Cagli, in particolare riscontriamo un importante convento benedettino dedicato a San Geronzio, risalente al VII secolo d.C. andato distrutto nel 1287, durante le lotte interne tra Guelfi e Ghibellini.

L'edificazione della Rocca fu voluta dal Duca di Urbino, Federico da Montefeltro, ed è databile tra il 1481 ed il 1487. Infatti, nel 1477 Francesco di Giorgio si trasferì presso la corte del Duca, ingaggiato appositamente per la realizzazione di opere militari e un decreto emanato nel 1481 dal vescovo di Cagli, Giulio Bonclerici, imponeva una tassa per finanziare la costruzione della Rocca, successivamente revocato nel 1487 [10]. La presunta fine dell'opera si fa coincidere con il rientro in patria di Francesco di Giorgio Martini nel 1489.

La Rocca ebbe una storia breve e travagliata, che rispecchia pienamente il clima politico dell'Italia rinascimentale. Nel giugno 1052 le truppe di Cesare Borgia riuscirono ad occupare i poteri del Ducato di

Urbino, tradendo la fiducia del duca regnante Guidobaldo Da Montefeltro, figlio di Federico, il quale fu costretto a rifugiarsi a Venezia. Solo nell'ottobre dello stesso anno Guidobaldo poté tornare nel suo ducato dopo mesi di lotte ed insurrezioni. Fu molto arduo riconquistare le fortezze occupate dalle truppe nemiche, tanto che Guidobaldo ordinò la loro distruzione, non solo di quella di Cagli, ma anche delle altre presenti nel territorio come quella di Pergola, Serra Sant'Abbondio e Fossombrone, inquanto ritenute inutili e dannose : *“La superbissima Rocca fabricata dal prefato Duca per pretesa difesa de suoi Stati, fù da Guido suo figliuolo com'inutile e dannosa smantellata e guasta; poiche era chiarito che quella erali stata d'impedimento grandissimo à ricuperare i suoi stati, usurpati dal Valentini”* [11]. Risulta chiaro da queste parole come queste fortezze, non solo non erano state utili alla difesa del ducato, ma inoltre si rivelarono un difficile ostacolo alla riconquista dello stesso. La Rocca fu parzialmente dismessa, e successivamente i suoi resti vennero utilizzati per l'edificazione dell'attuale Convento dei Cappuccini.

3.2. Analisi delle fonti

Il principale scopo di questa ricerca è riportare alla luce l'intero sistema militare fortificato. Attualmente l'impianto è costituito da elementi ben conservati, parti parzialmente conservate ed infine elementi completamente distrutti (fig.1). Ai fini della scientificità della ricerca si è proceduto ad un'analisi delle fonti in accordo con una gerarchia d'attendibilità, a partire dalle più attendibili, ossia resti in sito, per poi prendere in considerazione testimonianze scritte e confronti architettonici, con un grado di attendibilità decrescente.



fig. 1 Fotografie del sistema fortificato di Cagli: a) Torreone; b) Soccorso coperto; c) Resti della Rocca; d) Convento dei cappuccini.

Pictures of the military system of Cagli: a) Torreone; b) Soccorso coperto; c) Finds of the fortresses of Cagli; d) Capuchin monastery.

3.2.1. Rilievo in sito

Lo studio delle architetture esistenti è stato eseguito mediante l'analisi e l'utilizzo di dati derivanti da rilievi basati su laser scanner.

Il primo rilievo eseguito in questo sito risale al 2014: in questa occasione è stata eseguita un'acquisizione laser scanner del Torreone, utilizzando un Laser Scanner Leica C10 e una macchina fotografica Nikon D5100. La nuvola di punti ottenuta è stata utilizzata per eseguire lo studio geometrico e il rilievo critico sulle murature [12]. Successivamente questo rilievo è servito ad indagare le forme compositive utilizzate da Francesco di Giorgio, ed eseguire un confronto dimensionale tra l'architettura realizzata ed il progetto descritto nel codice Magliabechiano, riscontrando la chiarezza compositiva degli elementi formali ed anche i rapporti armonici utilizzando misure antropometriche [13]. Ciò supporta il presente studio a utilizzare la descrizione della Rocca presente in trattatistica al fine di individuare i macroambienti funzionali, la forma della struttura ed infine anche alcuni dati metrici.

Il rilievo del Convento dei Cappuccini è stato eseguito nel 2020. È stato utilizzato lo scanner ScanStation Leica P40. Il progetto di presa ha previsto una risoluzione di scansione di 6.3mm a 10m, con tempi di circa 1min/scan. Sono state eseguite 47 scansioni, successivamente allineate all'interno del software Leica Cyclone, generando una nuvola

complessiva di 1,4mld punti. Collimato alle scansioni, è stato eseguito un rilievo fotografico per panoramiche esterne, composte da 8 scatti eseguiti con una testa panoramica ed obiettivo fisheye con distanza focale di 8 mm (fig.2).

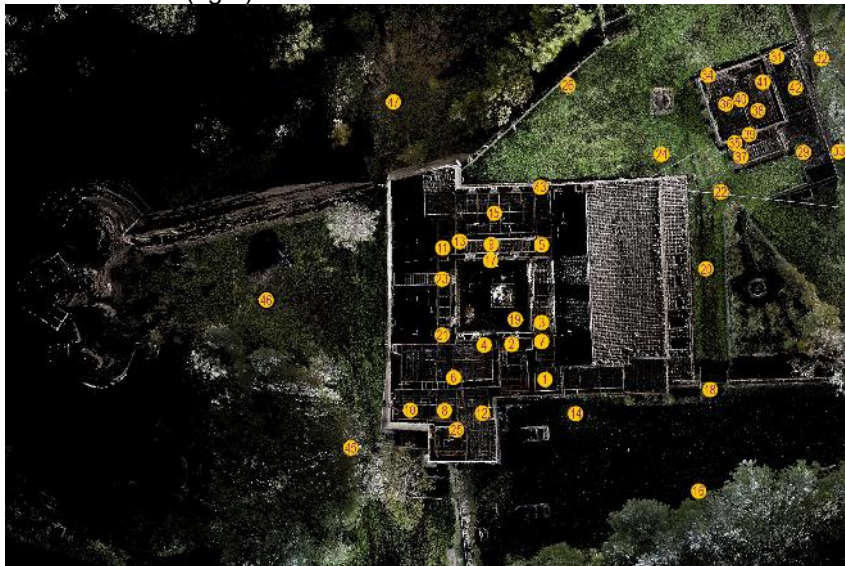


fig. 2 Progetto di acquisizione laser scanner, evidenziate le posizioni delle 47 stazioni di presa.

Laser scanner survey project highlighted 47 acquisition point.

3.2.2. Testimonianze scritte

Passo fondamentale per comprendere le forme architettoniche non più esistenti di questo complesso militare è lo studio della trattatistica storica, sia per descrizioni di progetto che per disegni. Nello specifico la più importante testimonianza ci giunge proprio dallo stesso progettista Francesco di Giorgio Martini. La trattatistica martiniana si caratterizza per tre scritti principali: Trattato I, Architettura ingegneria e arte militare tramandato attraverso il manoscritto Torinese Saluzziano 148 ed il codice Laurenziano Ashburnhamiano 361; la traduzione del De Architectura, tramandata dal Codice Magliabechiano II.I.141; ed il Trattato II – Architettura civile e militare la cui testimonianza è sopravvissuta in due manoscritti: Senese S.IV.4 e il Codice Magliabechiano II.I.141. L'importanza e l'influenza storica e architettonica di questi testi sono ben note.

All'interno di questi trattati, in particolare del codice Magliabechiano, si trova una dettagliata descrizione progettuale, sia del Torrione che della Rocca di Cagli, corredata da disegno (fig.3).

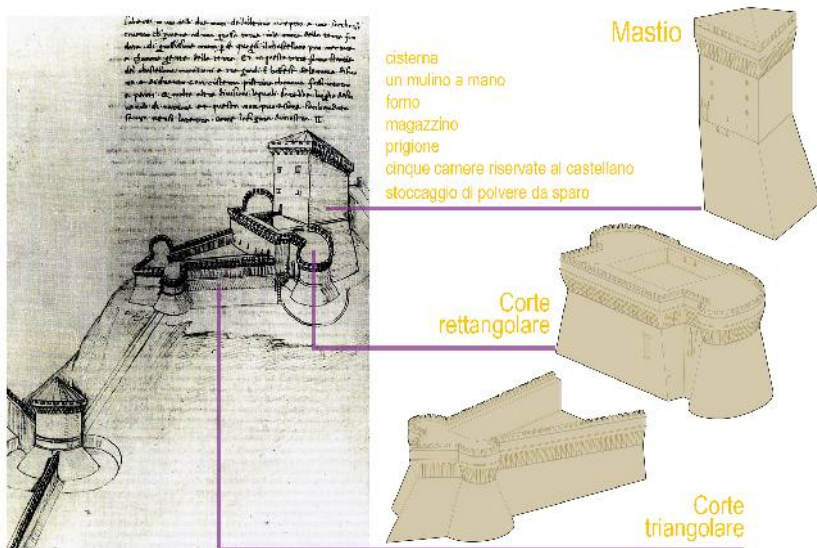


fig. 3 Disegno originale del sistema fortificato, Codice Magliabechiano, foglio 68v; e divisione della rocca in macro-elementi con specifica delle funzioni.

Original Drawing of the military system of Cagliari, Magliabechiano code, page 68v; and a description of the tree macro-element of the fortresses, highlighting the different functions.

La Rocca, edificata su di un colle alto 300 piedi sulla città di Cagliari, era costituita da una torre principale a pianta triangolare, il mastio, e due cortili fortificati. Sul fondo del mastio riscontriamo una cisterna, un mulino a mano, un forno, un magazzino ed una prigione; superiormente a questo livello vennero progettate cinque camere riservate al castellano, accessibili mediante ponte levatoio. Salendo ulteriormente in elevazione troviamo stanze dedicate allo stoccaggio di polvere da sparo ed in sommità un ambiente difensivo con merli e beccatelli. In adiacenza a due angoli del mastio vennero inseriti altri due torrioni, i quali collegati da un muro fortificato creavano un cortile rettangolare lungo 45 piedi e largo 42 piedi e profondo 50 piedi, riservato agli uomini di fiducia del castellano, annesso a questo cortile si riscontrano il portone d'ingresso abilmente protetto e difeso da uno dei due torrioni. Oltre a questo cortile venne progettato un secondo cortile, a pianta triangolare e dedicato ai fanti, delimitato da muri collimanti ad angolo acuto in direzione della città, difeso da due torricini. Nel trattato viene descritto anche il soccorso coperto, come collegamento sotterraneo, volto a far arrivare rapidamente rifornimenti ed aiuti dalla città alla Rocca. In accordo con l'illustrazione presente nel codice Magliabechiano, il soccorso coperto terminava in uno dei torricini laterali, mentre scavi risalenti agli anni '70 hanno dimostrato l'arrivo del passaggio sotterraneo in prossimità della punta di questo cortile.

Questa descrizione trova un'ulteriore interpretazione grafica, eseguita da Leandro Picchi (fig.4).

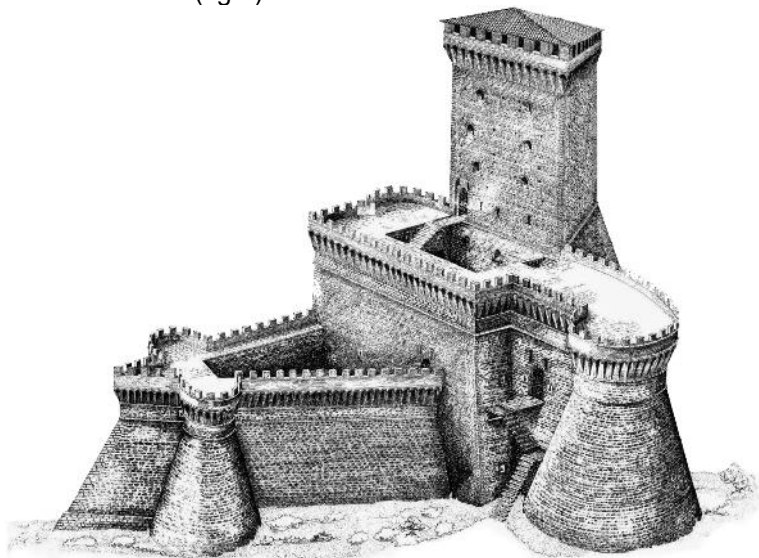


fig. 4 Ricostruzione grafica della rocca di Cagli, Leandro Picchi.
Graphic reconstruction of the Fortresses of Cagli, Leandro Picchi.

3.3. Ricostruzione virtuale del sistema fortificato

Riguardo il lavoro di ricostruzione virtuale del sistema fortificato, va indicata una differenza peculiare tra il modello del Torrione ed il modello della Rocca, poiché la prima deriva da rilievi dell'esistente, mentre la seconda risulta da un'operazione critica e conoscitiva al tempo stesso, basata su fonti di diversa natura.

Il primo passo per la ricostruzione della Rocca consiste nell'individuazione di uno schema planimetrico generale dell'intero edificio. Esso è stato dedotto dalle testimonianze scritte presenti nel codice Magliabechiano. Nello specifico sono stati individuati tre macroelementi, il mastio, il cortile a pianta triangolare ed il cortile rettangolare. Per validare la loro disposizione spaziale e la loro dimensione è stato utilizzato il rilievo del convento dei Cappuccini. Riguardo la corte rettangolare, ora non chiaramente riconoscibile, ci si è riferiti alle dimensioni fornite dal trattato Martiniano. Lo spessore del corpo di fabbrica, invece, è stato dedotto dallo studio della pianta e del prospetto: dal rilievo fotografico, nella muratura esterna del prospetto nord-est, si intravede la presenza di alcuni elementi lapidei, già interpretati come marcapiano della corte rettangolare della Rocca. Ciò valida l'ipotesi che il muro esterno del convento sia derivante da un riuso murario. Osservando lo sviluppo dei corpi di fabbrica, in

particolare analizzando le diverse altezze e le coperture, è stato possibile ipotizzare una distinzione tra gli elementi appartenenti al muro storico e le aggiunte successive, definendo così la larghezza della corte. Nota questa dimensione, la corte è stata ricostruita come da trattatistica, mentre le torri adiacenti, si dispongono lungo il filo esterno del muro del convento (fig.5).

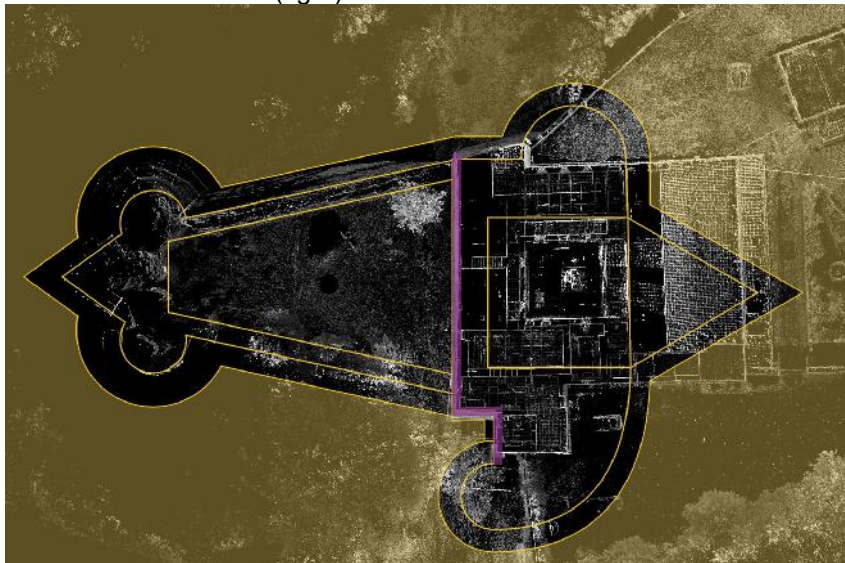


fig. 5 Sovrapposizione in pianta della Rocca di Cagli con il rilievo laser scanner del Convento dei Cappuccini. Evidenziato in viola il filo esterno del convento interpretato come filo esterno della rocca.

Overlap of the Fortresses of Cagli plan with the laser scanner survey of the Convento dei Cappuccini. Highlighted in violet the external thread of the convent interpreted as the outer thread of the fortress.

Definito il secondo cortile, si è passati alla caratterizzazione planimetrica del mastio: osservando l'illustrazione del codice Magliabechiano e la ricostruzione grafica del Picchi, si è ipotizzata una pianta a forma di triangolo isoscele, con lato di dimensione pari al lato maggiore del cortile adiacente. Secondo questo schema il mastio è situato in corrispondenza dell'attuale Chiesa. A conferma di questa ipotesi, negli anni '70, durante alcuni lavori di manutenzione, al di sotto della pavimentazione sono stati rinvenuti resti di un collegamento, successivamente murato.

Definita la planimetria si è proceduto con la ricostruzione degli elementi di dettaglio, ossia merlatura, archetti e beccatelli, i cui dati metrici non sono deducibili da rilievi in quanto non più presenti e non specificati in trattatistica. In questo caso, ci si è serviti di confronti con l'architettura militare limitrofa con particolare riferimento allo schema adottato per il Torrione, riportandone le medesime dimensioni. Il risultato ottenuto è

stato raffrontato con altre rocche martiniane, come ad esempio la Rocca di Mondavio, valutando nello specifico le soluzioni d'angolo (fig.6).

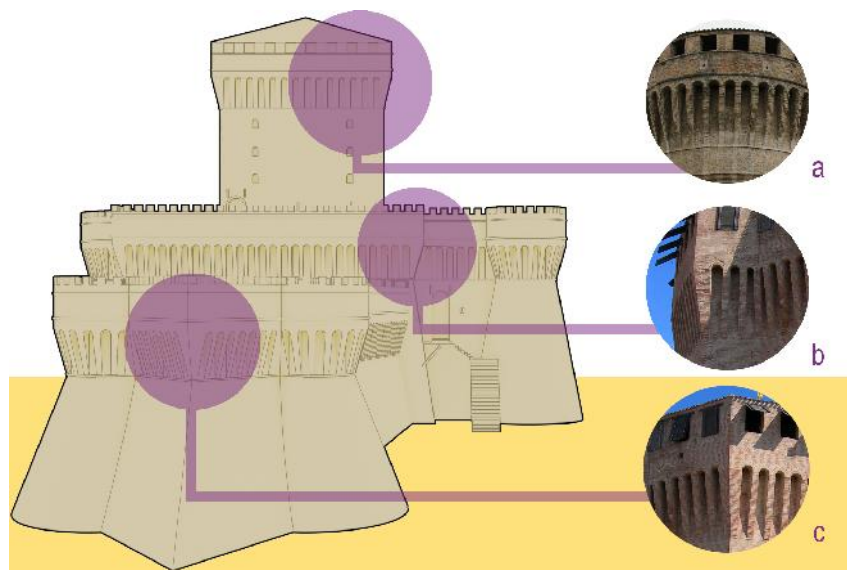


fig. 6 Riferimenti specifici alle comparazioni con l'architettura martiniana limitrofa alla rocca, utile alla ricostruzione della stratigrafia muraria superiore composta da beccatelli, archetti, cordoni e merli; ed utili per la risoluzione degli angoli; nello specifico, vengono mostrati dettagli del torrione di Cagli e della Rocca di Mondavio.

Specific references to the comparisons with the Martinian architecture adjacent to the fortress, useful for the reconstruction of the upper wall stratigraphy composed of corbels, arches, cords and merlons; and useful for the resolution of the angles of the fortress; Specifically, are shown details of the tower of Cagli and the Rocca di Mondavio.

Solo la merlatura ha richiesto delle modifiche, secondo la descrizione metrica del codice Magliabechiano, imponendo un muro continuo su cui impostare la merlatura. I dettagli più minuti come bucare o feritoie rispettano la ricostruzione grafica di Picchi (fig.7).



fig. 7 Specifica dei gradi d'attendibilità studiati per eseguire la ricostruzione della rocca.
Specific description of degrees of reliability.

Dal punto di vista operativo, realizzati gli elaborati 2D in ambiente CAD, tutta la modellazione 3D è stata eseguita nel software Blender v.2.83.0. Anche in questa fase, il lavoro è stato suddiviso nei tre macroambienti, già descritti precedentemente. Importata la pianta, essa è stata utilizzata come percorso d'estrusione dei profili individuati in sezione. Gli elementi in serie sono stati generati da array direzionati su curve NURBS e, infine, i dettagli, come bucatore e feritoie, realizzati con operazioni booleane di unione e sottrazione.

3. Proposed solution

3.1. History of the site

Historically several evidences tell us the presence of buildings located in the site of construction of the fortress, in particular, we find an important Benedictine convent dedicated to San Geronzio, dating back to the seventh century A.D. It was destroyed in 1287, during the internal struggles between Guelphs and Ghibellines. The construction of the fortress, dated from 1481 to 1487, was commissioned by the Duke of Urbino, Federico da Montefeltro, in fact, in 1477 Francesco di Giorgio moved to the court of the Duke, hired specifically for the realization of military works; and a decree issued in 1481 by the bishop of Cagli, Giulio Bonclerici, imposed a tax to finance the construction of the fortress, subsequently revoked in 1487 [10]. The presumed end of the

work coincides with the return of Francesco di Giorgio Martini in 1489. The fortress had a short and troubled history, which fully reflects the political panorama of Renaissance Italy. In June 1052 the troops of Cesare Borgia managed to occupy the estates of the Duchy of Urbino, betraying the trust of the reigning duke Guidobaldo Da Montefeltro, son of Federico, who was forced to take refuge in Venice. Only in October of the same year Guidobaldo could return to his duchy after months of struggles and insurrections. It was very difficult to reconquer the fortresses occupied by enemy troops, for these reasons Guidobaldo ordered the destruction of all the fortress of his territory such as the fortress of Cagli, Pergola, Serra Sant'Abbondio and Fossombrone, considered unnecessary and harmful : *“La superbissima Rocca fabricata dal prefato Duca per pretesa difesa de suoi Stati, fù da Guido suo figliuolo com'inutile e dannosa smantellata e guasta; poiche era chiarito che quella erali stata d'impedimento grandissimo à ricuperare i suoi stati, usurpati dal Valentini”* [11]. It is clear from these words how these fortresses, not only were considered not useful for the defense of the duchy, but also proved a difficult obstacle to the reconquest of the same. The fortress was partially abandoned, and subsequently its remains were used for the construction of the present Convent of the Capuchins.

3.2. Analysis of the sources

The main purpose of this research is to study the entire fortified military system. Currently this system is constituted by well-preserved elements, partially preserved parts and elements completely destroyed (fig.1). According to our scientific purposes, an analysis of the sources was carried out in following a hierarchy of reliability, starting from the most reliable, such as on-site remains, written evidence and architectural comparisons.

3.2.1. In site survey

The study of the existing architectures was carried out through the analysis and the use of data surveys by laser scanners. The first survey of this site was carried in 2014, on this occasion a laser scanner acquisition of Torrione was produced, using a Leica C10 Laser Scanner and a Nikon D5100 camera. Point cloud obtained was used to study the geometry of the architecture and for a critical survey of masonry [12]. Subsequently this data was used to investigate the compositional forms designed by Francesco di Giorgio and make a dimensional comparison between the architecture and the project described in the Magliabechiano code, finding the perfect coincidence in the sequence of formal elements and different metric concordances [13].

The survey of the Capuchin Convent was carried out in 2020. The Leica P40 Scanstation scanner was used. The survey project was

characterized by a scanning resolution of 6.3mm at 10m, with acquisition times of about 1min/scan. 47 scans were carried out, then aligned within the Leica Cyclone software, generating a total point cloud of 1.4mld points. After scanning, a photographic survey was carried out for external panoramas, consisting of 8 shots made with a panoramic head and fisheye lens with a focal length of 8 mm (fig.2).

3.2.2. Written Sources

The study of the feature of the no longer existing architecture was carried on through the analysis of the historical treatises, project descriptions and drawings. Specifically, the most important testimony came from the artist and architect Francesco di Giorgio Martini. The Martinian treatise is composed by three writings, famous for their historical and artistical relevance: Treatise I, Architecture engineering and military art handed down through the manuscript Torinese Saluzziano 148 and the code Laurenziano Ashburnhamiano 361; the translation of De Architectura, handed down by the Codex Magliabechiano II.I.141; and Treatise II - Civil and military architecture whose testimony survived in two manuscripts: Senese S.IV.4 and the Codex Magliabechiano II.I.141. Within these treatises, in particular the code Magliabechiano, there is a specific design description, of the Torrione and of the Rocca di Cagli, accompanied by a drawing (fig.3). The fortress, built on a hill 300 feet high on the city of Cagli, was constituted by a main tower, characterized by a triangular plan, the keep, and two fortified courtyards. At the bottom of the keep we find a cistern, a hand mill, an oven, a warehouse, and a prison; above this level were designed five rooms reserved for the castle, accessible by a drawbridge. Going up further in elevation we find rooms dedicated to the storage of gunpowder and on top a defensive environment with battlements and brackets. Adjacent to the two corners of the keep were inserted two other towers, which connected by a fortified wall created a rectangular courtyard 45 feet long, 42 feet wide and 50 feet deep, reserved to the men of trust of the castellan, annexed to this courtyard there was the entrance door cleverly protected and defended by one of the two towers. Annexed to this courtyard was designed a second courtyard, this characterized by triangular plan, defended by two small towers, dedicated to the foot soldiers. The treaty also describes the “soccorso coverto”, an underground link, projected to carry supplies and aid from the city to the Fortress. In accordance with the illustration of the codex Magliabechiano, the “soccorso coverto” ended in one of the side towers, while excavations dating back to the '70s have shown the arrival of the underground passage near the tip of this courtyard. This description finds a further graphic interpretation, performed by Leandro Picchi (fig.4).

3.3. Virtual reconstruction of the military system.

About the virtual reconstruction of the fortified system, a peculiar difference must be indicated between the model of the Tower and the model of the Fortress, the first is made from survey of the existing, while the second one results from a critical and cognitive study, based on sources of different nature. The first step for the reconstruction of the fortress consists in the identification of a general plan of the entire building. It has been deduced from the written testimonies present in the Magliabechiano codex. Specifically, three macro-elements were identified: the keep, the triangular courtyard and the rectangular one. We used the digital survey of the Capuchin convent to validate their spatial layout and dimensions. About the rectangular court, now not clearly recognizable, we used the dimension described in the Magliabechiano code. The thickness of the body of the factory, instead, has been deduced from the study of the plan and the prospect of the actual architecture: from the photographic relief, in the external masonry of the north-east facade, there are some stone elements, already interpreted as the string track of the rectangular court of the Rocca. This evidence verifies the hypothesis that the outer wall of the convent had been made from a reused military wall. Observing the development of the buildings, analysing the different heights and roofs, it was possible to hypothesize a distinction between the elements belonging to the historic wall and the subsequent additions, allowing us to define the thickness of the courtyard. Note this dimension, the court was reconstructed as by treatises, while the adjacent towers were virtually reconstructed along the outer wire of the convent wall (fig.5). Defined the second courtyard, we studied the planimetric characterization of the keep: observing the illustration of the Magliabechiano code and the graphic reconstruction made by Picchi, we hypothesized a plant characterized by an isosceles triangle shape, with the side equal to the largest side of the adjacent courtyard. According to this scheme the keep was located in the same position of the current Church. To confirm this hypothesis, in the '70s, during some maintenance works, under the pavement were found remains of a link, later walled. Once the plan has been defined, we reconstructed details, such as battlements, bows and corbels, whose metric data cannot be deduced from surveys, because no longer present, and not specified in treatise. In this case, we used comparisons with the adjacent military architecture and the compositional scheme of the Torrione currently present, using the same dimensions. The result has been compared with other Martinian fortresses, such as the Fortresses of Mondavio, specifically evaluating the corner solutions (fig.6). Only the battlements required modifications, according to the metric description of the code Magliabechiano, imposing a continuous wall characterized by

battlements (fig.7). According to the operational point of view, we realized the 2D elaborations in CAD environment, all the 3D modelling works was performed on the software Blender v.2.83.0. Also, at this stage, the work was subdivided into the three macro elements, described above. Once the plant was imported, it was used as an extrusion path of the profiles identified in the section. The elements in series were generated by arrays directed on NURBS curves and, finally, the details, such as holes and slits were made with Boolean merge and subtraction operations.

4. Risultati conseguiti

Il modello 3D così realizzato costituisce la base per lo sviluppo di applicazioni di visualizzazione. Come primo risultato, presentiamo il lavoro di creazione dei modelli fisici attraverso la stampa 3D. Il primo passo è stato quello di ottimizzare i modelli digitali: nello specifico, sono state ottenute superfici perfettamente chiuse e prive di compenetrazioni geometriche, tramite procedimenti automatizzati di remeshing nel sw Blender. Ai fini di questo studio è stata scelta la tecnologia di stampa a filamento PLA, poco onerosa dal punto di vista del costo e dalla gestione. Dato l'alto livello di dettaglio derivante dalla ricostruzione reality-based, è stato possibile stampare il modello del Torrione in scala 1:350, garantendo un'ottima visualizzazione dei conci lapidei. Si è utilizzata una stampante Lab65 H3, con un ugello del diametro di 0,4mm, stampando senza supporti e post-producendo tramite una stuccatura della parte basamentale, al fine di migliorare la resa visiva delle parti non perfettamente piane. Il modello della Rocca è stato stampato in scala 1:500, per mantenerne la qualità percettiva nonostante la mancanza di informazioni sull'orditura muraria. In questo caso, è stata utilizzata una stampante Wasp 2040 turbo2, con ugello da 0,4mm, senza supporti, ma dividendo il modello in due a causa delle dimensioni ridotte del piatto (fig.8).

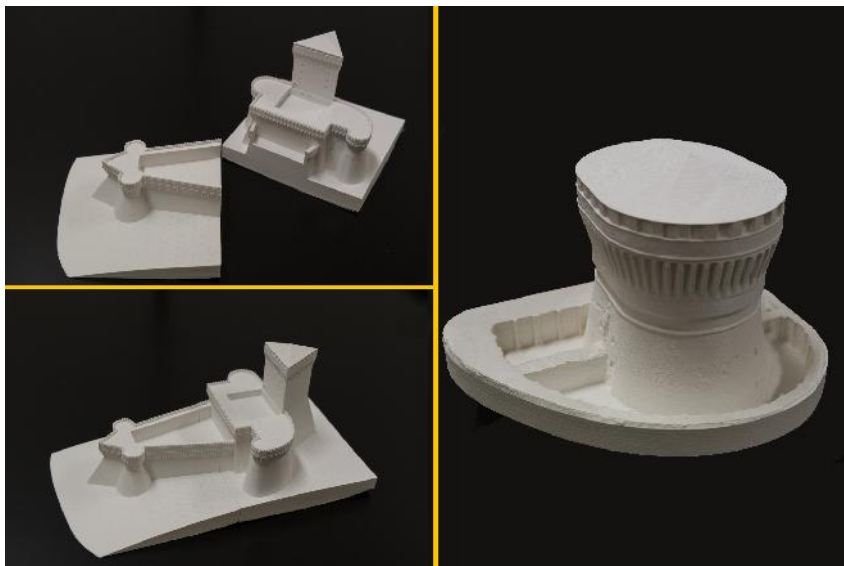


fig. 8 Fotografie dei modelli stampati in 3d.
Pictures of the 3d printed models.

Il secondo output è stata una app di realtà aumentata (AR) model-based, in grado di conferire informazioni digitali sulla realtà fisica di oggetti tridimensionali. A differenza delle AR image-based, in cui le features di riconoscimento sono ricercate su di una immagine 2D, in questo caso i contenuti virtuali sono richiamati da un oggetto 3D ed ancorati ad esso. L'app sviluppata consente di visualizzare informazioni sia di carattere storico sia filologico, direttamente sul modello stampato della Rocca, mappando la superficie 3D secondo i gradi d'attendibilità e secondo le funzioni descritte nel codice Magliabechiano. L'app è stata sviluppata all'interno della Game Engine Unity, mentre per la realtà aumentata è stato utilizzato il Model Target della piattaforma Vuforia (fig.9).

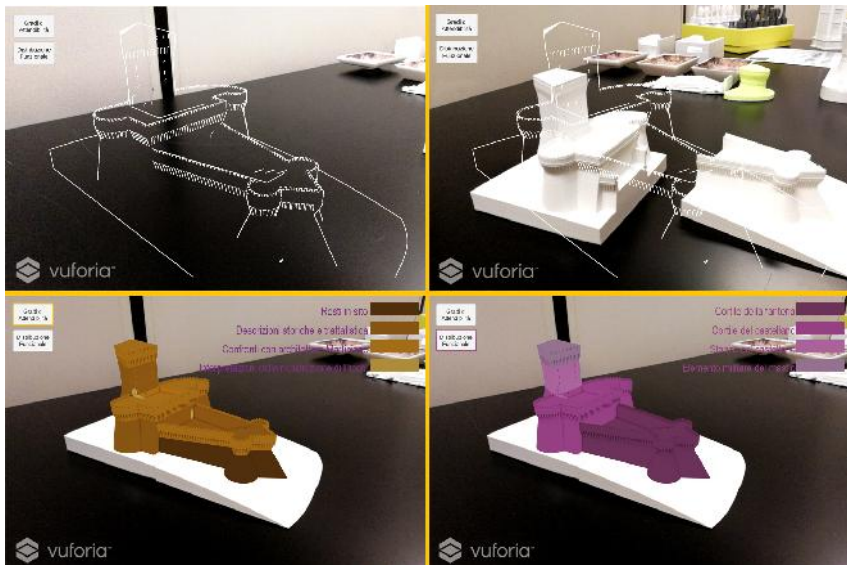


fig. 9 Questa immagine mostra il funzionamento dell'App di realtà aumentata; il sistema di guida per il riconoscimento geometrico, la sovrapposizione parziale tra sistema di guida e modello, la scelta dell'interazione per la visualizzazione dei gradi d'affidabilità, la scelta dell'interazione per la descrizione dei macro-elementi e delle funzioni.

This image shows how Augmented Reality App works: the guidance system for geometric recognition, the partial overlap between the guidance system and the model, the choice of interaction for the display of degrees of reliability, the choice of interaction for the description of macro-elements and functions.

4. Experimental results

The 3D model is the basis for the development of visual applications. As a first result, we present the creation of physical models through 3D printing. The first step was the optimization of the digital models: in particular, perfectly closed surfaces were obtained without geometric interpenetration, realized using automated remeshing processes in the Blender SW. For the purposes of this study, the PLA filament printing technology was chosen, which is not expensive in cost and management. Given the high level of detail resulting from the reality-based reconstruction, it was possible to print the model of the Tower in scale 1:350, ensuring an excellent visualization of the stone ashlars. We used a Lab65 H3 printer, with a nozzle diameter of 0.4mm, printing without supports and post-producing through a grouting of the base part, in order to improve the visual shape of parts not perfectly flat. The model of the Rocca has been printed in 1:500 scale, to maintain its perceptive quality despite the lack of information on the building structure. In this case, a turbo2 Wasp 2040 printer was used, with 0.4mm nozzle, without supports, but dividing the model in two due to the small size of the printing plate (fig.8). The second output was a

model-based augmented reality (AR) app, able to give digital information about the physical reality of three-dimensional objects. Unlike image-based AR app, in which the recognition features are sought on a 2D image, in this case the virtual contents are recalled by a 3D object and anchored to it. The app allows you to view information both historical and philological, directly on the printed model of the Fortresses, mapping the 3D surface according to the degrees of reliability and according to the functions described in the code Magliabechiano. The app was developed within the Game Engine Unity, while the Vuforia platform's Model Target was used for augmented reality (fig.9).

5. Conclusioni

Questa ricerca mostra chiaramente una pipeline di lavoro, consolidata ma foriera di approfondimenti e nuova conoscenza, volta allo studio e ricostruzione di edifici non più esistenti. Partendo dal rilievo laser scanner dei resti fisici è stato possibile riportare alla luce l'intero sistema architettonico, validato scientificamente dallo studio ed utilizzo di fonti storiche e confronti architettonici. La stampa 3D consente di restituire una dimensione fisica al virtuale, rendendo la fruizione più facile ed immediata. Inoltre, lo sviluppo dell'app AR genera esperienze di Mixed Reality per divulgare informazioni di carattere storico e rendere più accessibile il lavoro scientifico di ricostruzione. Il lavoro qui descritto mostra come sia possibile dare concretezza allo studio e valorizzazione del patrimonio, sottolineando uno stretto collegamento tra materiale e immateriale: il materiale dell'architettura esistente con l'immateriale dell'architettura distrutta; il materiale del rilievo architettonico con l'immateriale delle fonti storiche; l'immateriale della fruizione digitale con il materiale della stampa 3D. Queste operazioni rientrano pienamente nello spirito del Cultural Landscape, poiché il riportare alla luce questo patrimonio necessita di un lavoro in grado di relazionare avvenimenti storici, letteratura, tradizione e di ancorarla alla tangibilità fisica dell'esistente.

Come sviluppo futuro del lavoro di stampa 3D, si sta già progettando la realizzazione dell'intero complesso (fig.10), ipotizzando conformazioni spaziali e materiche in grado di valorizzarne il sistema. Tale stampa potrà essere affiancata da un'ulteriore implementazione AR in grado di dare maggiori informazioni ed interattività, aggiungendo anche altre tipologie di contenuti, come immagini, video, panoramiche, confronti storici ed audio esplicativi. Infine, lavoreremo allo sviluppo completo del sistema fortificato ricostruito procedendo ad una texturizzazione realistica con conseguente sviluppo di applicazioni di realtà virtuale, al fine di conferire maggiore immersività e coinvolgimento emotivo.

5. Conclusion

This research clearly shows a pipeline of work, consolidated but harbinger of deepening and new knowledge, aimed at the study and reconstruction of buildings no longer existing. Starting from the laser scanner survey of the physical remains it was possible to bring to light the entire architectural system, scientifically validated by the study and use of historical sources and architectural comparisons. 3D printing allows as to return a physical dimension to the virtual, making the use easier and more immediate. In addition, the development of the AR app generates mixed reality experiences to disseminate historical information and concerning the scientific work of reconstruction. The work described here shows how it is possible to give substance to the study and enhancement of the heritage, emphasizing a close link between material and immaterial: the material of existing architecture with the immaterial of destroyed ones; the material of the architectural relief with the immaterial of the historical sources; the immaterial of the digital fruition with the material of the 3D printing. These operations are directly linked to the spirit of the Cultural Landscape, because to bring to light this heritage needs a job able to relate historical events, literature, tradition and anchor it to the physical tangibility of the existing.

As a future development of 3D printing work, it is already planning the realization of the entire complex (fig.10), assuming spatial and material conformations able to highlight the main features of the military system.

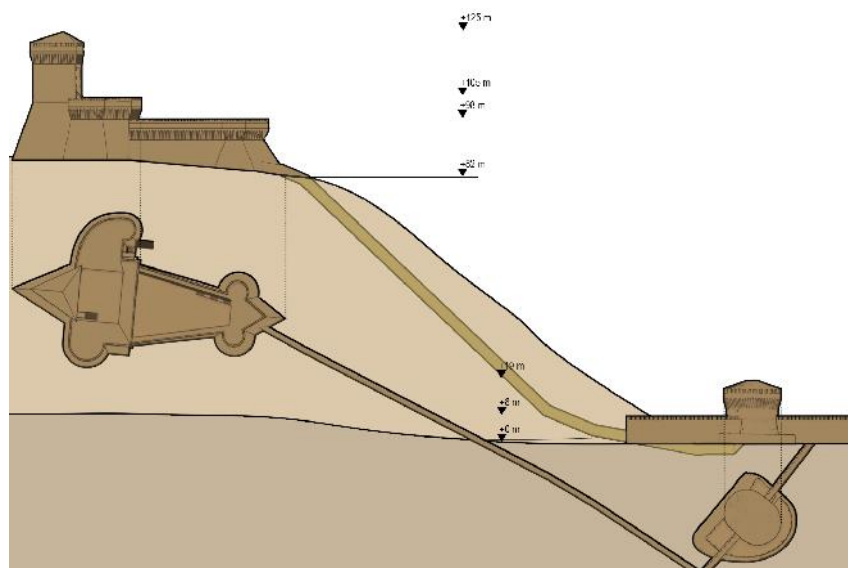


fig. 10 Interpretazione grafica generale del sistema Fortificato Torriano-Soccorso coperto-Rocca.

General graphic interpretation of the Torrione-Soccorso covert-fortresses fortified system.

This print can be accompanied by a further AR implementation that can give more information and interactivity, also adding other types of content, such as images, videos, panoramas, historical comparisons and audio explanatory. Finally, we will work on the complete development of the reconstructed fortified system by proceeding to a realistic texturization resulting in the development of virtual reality applications, in order to confer greater immersive and emotional involvement.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano il Comune di Cagli, la Confcommercio di Pesaro e l'ordine dei Cappuccini per la loro disponibilità e l'interesse dimostrato per questo lavoro. Si ringraziano, inoltre, Renato Angeloni e Luigi Sagone per le recenti acquisizioni del Convento dei Cappuccini.

Acknowledgements

The authors thank the Municipality of Cagli, the Confcommercio of Pesaro and the Capuchin order for their availability and interest in this work. We also thank Renato Angeloni and Luigi Sagone for the last survey campaign of the Capuchin Convent.

Bibliografia

- [1] DEMETRESCU, Emanuel, D'ANNIBALE, Enzo, FERDANI, Daniele, FANINI, Bruno, (2019), *Digital replica of cultural landscapes: An experimental reality-based workflow to create realistic, interactive open world experiences*, in *Journal of Cultural Heritage*, Vol. 41, 125–141.
doi:10.1016/j.culher.2019.07.018
- [2] STONE, Robert J., (1999), *Virtual heritage*, in *UNESCO's World Heritage Magazine*, 18–20
- [3] CARD, Mackinlay, (1999), *Readings in Information Visualization: Using Vision to Think* (Morgan Kau.), San Francisco
- [4] COLIN WARE, (2012), *Information Visualization, Third Edition: Perception for Design*, in *Morgan Kaufmann*
- [5] FRISCHER, Bernard, NICCOLUCCI, Franco, RYAN, Nick, BARCELÓ, Juan, (2000), *From CVR to CVRO: The Past, Present, and Future of Cultural Virtual Reality*, in *VAST Conference on Virtual Reality, Archeology, and Cultural Heritage, Arezzo, Italy*.
- [6] REILLY, Paul, (1989), *Data visualization in archaeology*, in *IBM*

Systems Journal, Vol. 28, No. 4, 569–579.

doi:10.1147/sj.284.0569

- [7] GUIDI, Gabriele, FRISCHER, Bernard, LUCENTI, Ignazio, (2007), *Rome Reborn - Virtualizing The Ancient Imperial Rome*, in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*
- [8] BROUCKE, Pieter, FORTE, Maurizio, SILIOTTI, Alberto, BOMMELAER, Jean-Francois, (1999), *Virtual Archaeology: Re-Creating Ancient Worlds*, in *American Journal of Archaeology*. doi:10.2307/506978
- [9] BRUSAPORCI, Stefano, TRIZIO, Ilaria, (2013), *La ‘Carta di Londra’ e il Patrimonio Architettonico: riflessioni circa una possibile implementazione*, in *SCIRES-IT - SCientific RESearch and Information Technology*, Vol. 3, No. 2, 55–68. doi:10.2423/i22394303v3n2p55
- [10] VOLPE, Gianni, (1994), *La rocca di Cagli tra storia e restauro*, in *L'architettura Di Francesco Di Giorgio Martini Tra Ricerche e Restauri*, Pesaro
- [11] BRICCHI, Francesco, (1639), *Vita e Miracoli Del Glorioso Martire S. Gerontio Vescovo Avvocato Della Città Di Cagli Con Gl'annali Di Questa*, Urbino
- [12] CLINI, Paolo., NESPECA, Romina, (2014), *Tecniche laser scanning per il rilievo delle fortificazioni: il Torrione di Francesco di Giorgio Martini a Cagli*, in *CASTELLA MARCHIAE*, 210–222
- [13] CLINI, Paolo, QUATTRINI, Ramona, AMADEI, Daniela, NESPECA, Romina, (2015), *Geometrie ideali nell'architettura militare di Francesco di Giorgio Martini. Il caso del sistema difensivo Rocca-Torrione di Cagli.*, in *DISEGNARE CON...*, Vol. 8, 1–12