

## Geometrie ideali nell'architettura militare di F. di Giorgio Martini. Il caso del sistema difensivo Rocca-Torrione di Cagli

### *Ideal geometries in the military architecture of F. di Giorgio Martini. The defence system fortress-tower of Cagli*

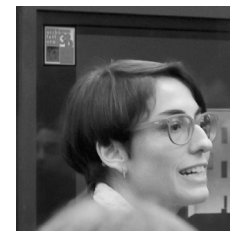
Il tema dell'architettura militare fu ampiamente studiato e approfondito dall'architetto Francesco di Giorgio Martini (1439-1501) che realizzò importanti opere difensive nel ducato dei Montefeltro. Tra le fortificazioni martiniane, Cagli presenta tuttora un Torrione perfettamente conservato e alcune tracce della Rocca. L'analisi condotta su di essi ha incrociato le informazioni desumibili dal trattato, dai rilievi storici e dal recente rilievo laser scanner. L'obiettivo della ricerca è stato quello di individuare la geometria generatrice dell'architettura stessa: geometria che nel periodo rinascimentale, riprendendo la precettistica vitruviana, era sinonimo di proporzione, ordine e simmetria. Due i temi trattati: da un lato la conoscenza approfondita del Torrione attraverso i dati digitali ottenuti dalla nuvola di punti, dall'altro la ricostruzione di una immagine globale ormai perduta del complesso Torrione-Rocca.

The subject of the military architecture was widely studied and analyzed by the architect Francesco di Giorgio Martini (1439-1501), who created important defensive works in the duchy of Montefeltro. A defensive line connects a series of medieval villages of the Marches: b Between the Martini's fortifications, Cagli has still a fortified tower perfectly preserved and some traces of the fortress. The analysis conducted on them involves the information inferable by the essay, by historical surveys and the recent laser scanner survey. The aim of the research was to identify the generating geometry of the architecture: taking the precepts of Vitruvius, in the Renaissance period geometry was synonymous with proportion, order and symmetry. Two are subjects: the first one is the in-depth knowledge of the tower through the digital data obtained from the point cloud, the other one is the reconstruction of a global image of the complex tower-fortress.



#### Paolo Clini

Professore Associato ICAR/17 al Dicea, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura all'UNIVPM (di cui è vice Direttore) dove insegna Rilievo e Storia dell'Architettura al corso di Laurea in Ingegneria Edile Architettura. È Coordinatore Scientifico del Centro Internazionale di Studi Vitruviani sullo studio, analisi e comunicazione dell'architettura classica e antica.



#### Ramona Quattrini

Ricercatrice a tempo determinato ICAR/17 presso il DICEA dell'Università Politecnica delle Marche, dal dicembre 2012. Dottore di ricerca, si occupa di rilievo e tecnologie multimediali di comunicazione del patrimonio culturale e architettonico. Autrice di più di 40 pubblicazioni tra cui una monografia, revisore e co-autore diversi articoli su rivista internazionale.



#### Daniela Amadei

Laureata in ingegneria edile architettura presso l'UNIVPM, ha conseguito nel 2015 un dottorato di ricerca nel curriculum "Architettura Classica e Studi Vitruviani. Analisi, Rappresentazione, Comunicazione, Tutela" con la tesi "L'ordine e la geometria nel teatro antico. Diffusione e fortuna del De Architectura di Vitruvio. Caso studio: il teatro romano di Fanum Fortunae".



#### Romina Nespeca

Dottoranda dell'Università Politecnica delle Marche, nel curriculum Ingegneria Civile, Edile e Architettura. Lavora sui temi dell'indagine e del rilevamento con particolare attenzione al trattamento della nuvola di punti per un rilievo integrato, finalizzato al restauro, alla conservazione e alla visualizzazione del Cultural Heritage.

parole chiave: rilievo laser, geometrie ideali, architettura militare; principi generatori, modello 3D  
key words: laser scanning, ideal geometries, military architecture, 3D model

## INTRODUZIONE

Il caso del Torrione di Cagli è un interessante esempio di fortificazione militare dalla forma particolare e strettamente legata alla Rocca che si trovava in posizione strategica sulla sommità di un colle a ridosso della città che controlla la via Flaminia e le valli del Burano e del Bosso. Il Torrione dalla forma "ellissoidale" [1], grazie ad un recente restauro, si conserva in ottimo stato esternamente ed internamente. La muratura esterna è costituita nella parte inferiore da una pietra rosa del Furlo e nella parte superiore da laterizi. L'edificio è composto da cinque livelli, raggiungibili da una scala semicircolare, e da una cisterna interrata. Al piano terra, ovvero alla quota del fossato, il torrione presenta due stanze semicircolari divise da un muro medioevale dalle quali è possibile accedere a quattro postazioni per armi da fuoco e al "soccorso coverto" che conduce direttamente alla Rocca (Figura 1).

Lo studio del torrione, qui proposto, si basa sul modello 3D discreto ottenuto da rilievo laser scanner. La geometria si è svelata nelle sue misure nascoste e primarie, grazie alla estrazione di dati che non erano direttamente prelevabili e quindi non ottenibili con gli strumenti del rilievo diretto. Il modello è stato utilizzato per una prima analisi semantica degli elementi costitutivi e affiancato ai dettami del Trattato di Architettura, Ingegneria ed Arte Militare.

La genesi geometrica della pianta del Torrione è un ovale cosa non evidente dai precedenti rilievi che lo semplificavano con forme simili all'ellisse. Dai piani orizzontali, scelti per descrivere le varie sezioni, sono state disegnate piante alle quote fondamentali in cui studiare le dimensioni rapportate alle misure antiche (piede di Urbino). La conversione alla misura antropometrica è stata fondamentale nel decodificare i rapporti modulari e/o dinamici tra esse. In particolare i risultati più interessanti riguardano i raggi dei cerchi inscritti e la posizione dei loro centri in cui sono ravvisabili ricorrenze di proporzioni auree.

Altro tema offerto da questo fondamentale caso studio è quello delle architetture non più esistenti: infatti molta parte della valenza urbanistica e delle complessità inserite in questo progetto martiniano non è più leggibile dalle evidenze costruite. Tuttavia partendo dai dati di rilievo e dalla conoscenza dell'area è stato possibile svelarne e ricostruirne, seppur schematicamente, come si vedrà nel seguito, un'immagine e un disegno

fedele. Il Torrione di Cagli costituiva solo una parte del complesso fortificato, a questo infatti era collegati, attraverso un percorso sotterraneo, una rocca romboidale definita un'architettura rivoluzionaria sia dal punto di vista tipologico che per la collocazione urbana. Grazie all'analisi del testo del Trattato e del disegno, incrociando dati di rilievo architettonico, cartografici e foto aeree dell'area nell'articolo viene presentato il disegno digitale del complesso Rocca-Torrione ormai perduto. Il presente lavoro, privilegiando l'analisi della struttura geometrica e compositiva in rapporto al pensiero dell'autore sulle geometrie ideali, ha permesso di aggiungere conoscenze nuove su un manufatto importante dell'architettura militare cinquecentesca. L'operazione di misura, svelando la struttura compositiva e le sue proporzioni armoniche opportunamente vagliate, ha ricondotto l'edificio allo spirito del suo tempo. Grazie ad un'attenta lettura dei dati, il semplice rilievo laser scanner si è trasformato in buon rilievo, dando accesso a conoscenze tuttora inaccessibili, che strutturano in maniera scientifica la lettura del manufatto e conducono poi alla ricomposizione di immagini e architetture perdute.

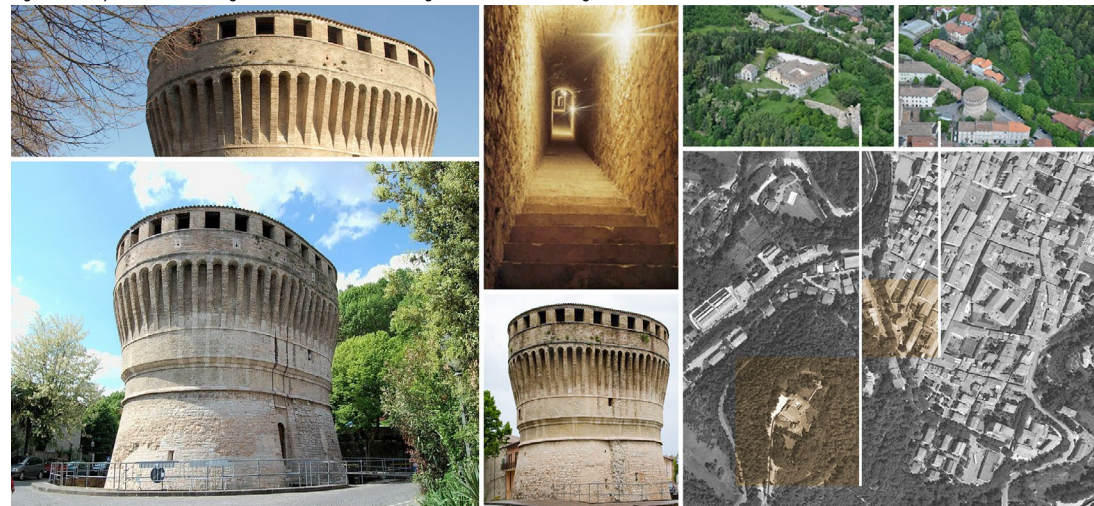
Qui presentiamo un quadro dell'articolo: il metodo si basa sulla raccolta di dati storico-critici da una consolidata bibliografia sul Torrione e sulla Rocca e sulla trattatistica di Francesco di Giorgio, vista in relazione alle realizzazioni e ai precetti vitruviani; ad essi si affiancano i dati di rilievo. La costruzione di questa solida base di conoscenza permette poi vari tipi di analisi, da quella tridimensionale a quella effettuata sulle piante fino alle ricostruzioni tridimensionali del complesso.

Il paragrafo delle conclusioni sottolinea gli elementi di novità ottenuti e presenta possibili sviluppi futuri del lavoro specifico, anche inserendoli in un quadro teorico di approccio al rilevamento e alla digitalizzazione.

## IL COMPLESSO TORRIONE E ROCCA DI FRANCESCO DI GIORGIO MARTINI: CENNI STORICI

Il tema dell'architettura militare fu ampiamente studiato e approfondito dall'architetto Francesco di Giorgio Martini che, negli anni compresi tra il 1470 e il 1501 (anno della sua morte), realizzò importanti opere difensive nel territorio del ducato dei Montefeltro. Un filo difensivo lega una serie di borghi medievali nel territorio marchigiano tra cui: San Leo, Sant'Agata Fel-

Figura 1 Composizione di immagini relative al Torrione di Cagli di Francesco di Giorgio Martini e ai resti della Rocca



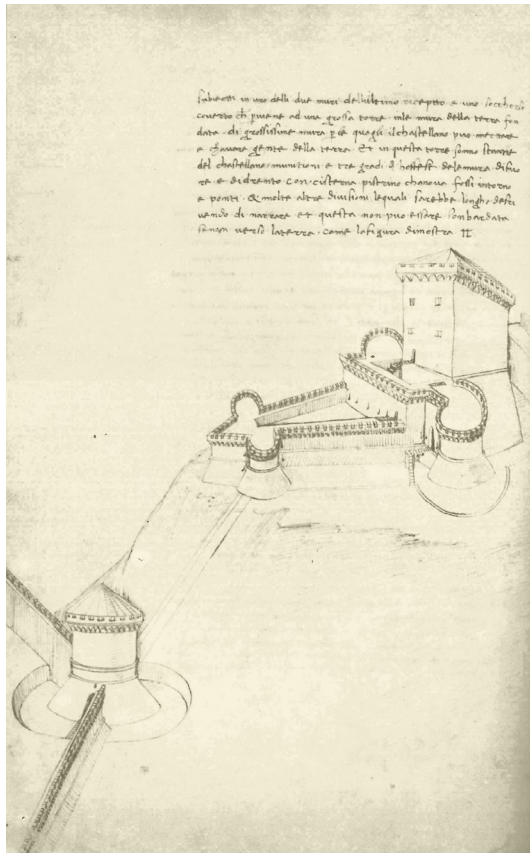


Figura 2 Foglio 68v del Codice Magliabechiano di Francesco Di Giorgio

tria, Sassocorvaro, Fossombrone, Mondavio, Cagli. Il Torrione di Cagli oggi conservato era inglobato nella linea fortificata della città ovvero era uno dei torrioni della cinta muraria cui era collegata anche la Rocca soprastante. Presentata per prima nei Trattati tra le sei rocche realizzate, la rocca cagliese è testimonianza del clima di grande fervore culturale creatosi presso la corte urbinata nella seconda metà del Quattrocento: come anche quelle di Serra Sant'Abbondio, Tavoleto e Sassofeltro (oggi scomparse), progettate nel Ducato di Urbino per Federico da Montefeltro, e di Mondolfo e Mondavio (l'unica rimasta), realizzate per Giovanni

della Rovere nei suoi possedimenti marchigiani. Nel Codice Magliabechiano Francesco di Giorgio ne presenta inoltre un disegno, anche se esso è parecchio più tardo della effettiva costruzione della Rocca (Figura 2). Secondo la testimonianza del Gucci (Gucci,1481) il primo documento relativo all'edificazione della fabbrica risale al 1481, anno in cui il vescovo Guido Bonclerici impose il pagamento della decima proprio per la costruzione della fortezza: «Vi aggonse una Rocca su le mura della Città dirimpetto alla fortezza con una bellissima scala sotterranea per la quale dall'una si perviene all'altra affine di comunicarsi gli aiuti ed i soccorsi, et unitamente difendere la terra da nemici». Presumibilmente l'inizio e la conclusione dell'intervento di Francesco di Giorgio è collocato tra il 1481 e il 1489. Questa, parzialmente smantellata nel 1502 da Guidubaldo I durante la guerra contro il Valentino, oggi presenta solo il puntone principale affiancato da torricini tondi ed il corpo di fabbrica centrale trasformato, negli anni 1568 - 1570, in eremo dei cappuccini.

Per quanto riguarda invece il torrione, esso viene descritto nel Trattato, come vedremo in dettaglio nel paragrafo dedicato alla trattatistica. Oltre alla descrizione del suo autore, sono diversi i documenti che menzionano l'architettura in questione e che permettono di ricostruirne le vicende nel tempo: nel 1516-19, per motivi politici, vennero uccisi nel torrione cento giovani cagliesi favorevoli al duca d'Urbino e contrari all'invasione medicea, intorno al 1600 si richiedeva, invece, un restauro della parte alta della struttura. È del 1738 il documento in cui si richiedeva l'interramento del fossato circostante che fino ad allora era circondato da acqua. Come emerge da successive testimonianze, il torrione non doveva presentarsi in buono stato tanto da richiederne, da parte di alcuni cagliesi, l'intera demolizione. La situazione nell'Ottocento era la seguente: il fossato non esisteva più perché riempito di terra, le mura medioevali erano ancora integre (e lo si vede anche dalle mappe catastali ottocentesche) e il torrione venne annesso a edifici e usato come un prolungamento del mattatoio e come spazio per l'essiccamento delle pelli.

Nel '900 vennero abbattute le mura cittadine lasciando libero il torrione che, dopo un lungo periodo di degrado, venne finalmente restaurato nel 1973 e lentamente rivalorizzato e riconsegnato alla città come monumento storico di altissimo valore (Figura 3).

## IL RILIEVO

La strumentazione utilizzata è stata il laser scanner Leica C10 e la macchina fotografica Nikon D5100. La fase di acquisizione dei dati si è svolta durante tre giornate di presa. All'esterno, grazie alla fatto che si tratta di un oggetto isolato e non esistono grossi ostacoli visivi, è stata realizzata una poligonale di 10 stazioni. A quest'ultima si sono aggiunte 5 scansioni libere a distanze maggiori e in postazioni sopraelevate in modo da garantire la mappatura delle zone di copertura. Ulteriori poligonali all'interno hanno permesso il collegamento con l'esterno e un minor numero di stazioni (Figura 4). Gli ambienti interni ora sono sede di una mostra d'arte contemporanea le cui installazioni non removibili hanno richiesto un maggior numero di stazioni per evitare eccessivi coni d'ombra. Inoltre, i collegamenti, molti stretti e ripidi, avrebbero generato numerose difficoltà per l'allineamento delle scansioni tramite target. La griglia di risoluzione impostata è stata di 1 cm a 10 m, per tutte le stazioni più vicine all'oggetto, interne ed esterne, mentre si sono scelte impostazioni di inaffidamento dalle stazioni più lontane. Per ridurre i tempi di scansione a risoluzioni maggiori sono state ridotte le aree di acquisizione al solo oggetto.

Contemporaneamente al dato metrico, lo strumento utilizzato consente l'acquisizione del dato radiometrico tramite camera fotografica integrata ad alta risoluzione, ma non sufficientemente prestante in questa situazione, data la scarsissima luminosità degli interni. Per questo motivo, si è reso necessario realizzare prese fotografiche con macchina digitale reflex, indispensabili sia per la documentazione sia per la fase di texturizzazione.

Alla fase di acquisizione, è seguita la fase di elaborazione della nuvola di punti con il suo allineamento, la pulizia e riduzione del rumore e infine la mappatura. Aver acquisito in modalità poligonale ha ridotto molto i tempi di registrazione delle singole scansioni. Il sistema di riferimento non è il centro di presa di ciascuna scansione, ma è il medesimo per tutte le scansioni. Durante la stessa fase di acquisizione lo strumento restituisce un valore di errore vettoriale sul target posizionato nella stazione precedente, così da controllare il risultato direttamente in campo. Le operazioni standard di allineamento in laboratorio hanno permesso l'unione delle scansioni libere, tramite procedura cloud to cloud, in cui manualmente vanno individuati punti omologhi fra



le scansioni per un pre-allineamento poi perfezionato da algoritmo ICP (Battini, 2012). L'errore medio risultante è stato pari ad 1 cm, coerentemente alle proprietà strumentali e alla dimensione delle caratteristiche minime dell'oggetto. La nuvola, pulita delle parti non interessate dal rilievo, opportunamente filtrata per l'eliminazione di tutti quei punti che hanno un'alta probabilità di non appartenere alla superficie dell'oggetto, viene poi decimata o ricampionata secondo necessità, con un effetto di omogeneizzazione delle scansioni.

Ogni scansione viene mappata dalla panoramica sferica realizzata dalla camera integrata, cosicché ad ogni punto nello spazio corrisponde un valore RGB. Le condizioni di illuminazione esterna hanno prodotto buoni risultati, mentre, per gli interni, le nuvole sono state mappate dalle immagini fotografiche acquisite da camera esterna di maggiore qualità cromatica. Le 40 scansioni ora costituiscono un unico modello discreto di circa 640 mln di punti colorati. L'alto valore intrinseco di questo modello grezzo è già stato da noi sostenuto e dimostrato in precedenti lavori (Clini, 2013; Nespeca, 2014). Si tratta di un unico serbatoio di dati non manipolati, dal quale poter estrarre tutte le informazioni necessarie all'analisi e alla diagnosi necessarie all'intervento di restauro e in questo caso per l'analisi critica dell'architettura storica.

Anche senza ulteriori onerose elaborazioni, navigando tridimensionalmente l'oggetto, si possono estrapolare informazioni metriche, morfologiche e radiometriche già molto importanti, per l'analisi, la conoscenza e la progettazione degli interventi di restauro. Altro apprezzabile aspetto è il potere vocativo e la capacità comunicativa della sola nuvola di punti (Figura 5): ne risulta una perfetta carta d'identità dello stato attuale del Torrione di Francesco di Giorgio Martini a Cagliari.

### IL CONFRONTO CON LA TRATTATISTICA

Il primo passo per la comprensione di questa architettura è sicuramente il confronto con la letteratura. Lo stesso architetto descrive nel dettaglio il torrione e la rocca di Cagliari nel Trattato di Architettura civile e militare. Le teorie architettoniche sviluppate da Francesco di Giorgio Martini risentono l'influenza di eccellenti maestri di cui ripercorreva o rielaborava dettagli che oggi rintracciamo nei manoscritti e nei codici raccolti nei "Trattati" attribuiti all'architetto. L'opera di Francesco di Giorgio Martini ruota attorno a tre scritti fondamen-



1626 disegno di F.Mingucci



1670\_Mappa Calcografica "Nova Civitas Calli"



1932\_foto storica



1934\_cartolina storica

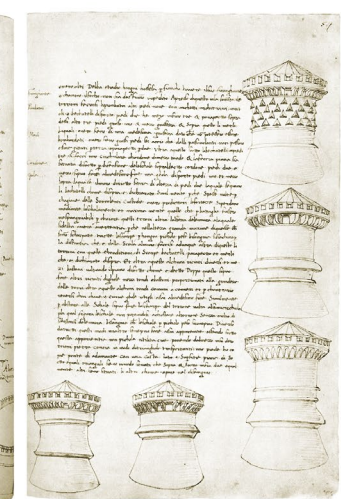


1490\_CODICE MAGLIABECHIANO



1800\_Planimetrie Ottocentesche del Torrione

primi '900\_foto storica Torrione e Rocca



1813\_Catasto Gregoriano



primi '900\_foto storiche



Figura 3 Composizione di immagini storiche relative al Torrione di Cagliari di Francesco di Giorgio Martini

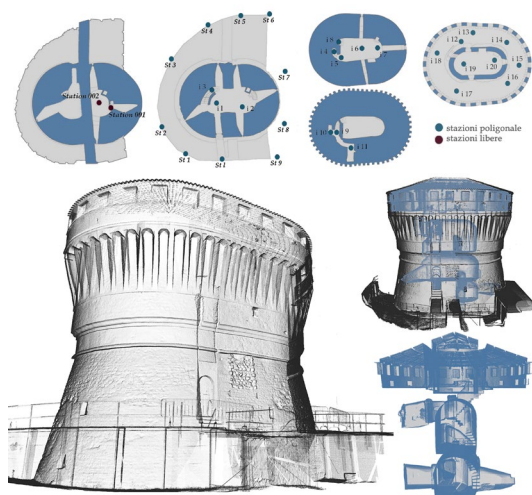


Figura 4 Rilievo laser scanner del Torrione, posizione delle stazioni e alcune elaborazioni dalla nuvola di punti in cui sono distinguibili le stazioni interne da quelle esterne.

tali: Trattato I - Architettura ingegneria e arte militare testimoniato dal manoscritto Torinese Saluzziano 148 e dal codice Laurenziano Ashburnhamiano 361, la traduzione del De Architectura - testimoniata dal Codice Magliabechiano II.I.141; ed il Trattato II - Architettura civile e militare di cui son tramandati due manoscritti: Senese S.IV.4 e il Codice Magliabechiano II.I.141. Da questi codici emergono le conoscenze delle teorie di Mariano di Jacopo detto il Taccola, di Leon Battista Alberti ma più di ogni altro i dettami dell'architetto antico Marco Vitruvio Pollione. Al contempo i testi martiniani furono di ispirazione a numerosi artisti, uno fra tutti Leonardo da Vinci il quale studiò e commentò il codice Laurenziano Ashburnhamiano 361. La fortuna del Codice Saluzziano 148, del Cavaliere Cesare Saluzzo (1778-1853), ha contribuito alla diffusione del tema dell'architettura fortificata martiniana. Come riportato da un precedente studio (Cardamone, 2008) il confronto tra i codici ha confermato l'attribuzione di sei rocche edificate nel territorio marchigiano all'archi-



Figura 5 Elaborazioni bidimensionali dalla nuvola di punti del Torrione: dissolvenza fra ortofoto e disegno vettoriale del prospetto nord (in alto), sezioni trasversale, ortofoto prospetto nord e elaborato vettoriale del prospetto ovest.

tetto senese. La Rocca di Cagli presenta tra queste una grande coincidenza tra disegni e testi. Nel codice Saluzziano la tavola riguardante Cagli (numero XVII fig. 1 e 2) è raffigurata insieme alla Rocca del Sasso Feretrano senza darne una particolare spiegazione. Il testo invece è particolarmente dettagliato e comprende una serie di misure della Rocca: «[...] in prima la torre principale è di figura triangolare, della quale un angolo è verso quella parte che può essere offesa, acciocchè il muro non riceva le percosse delle bombarde: nel quale angolo è grosso il muro piedi 35: e nelle altre due estremità degli angoli sono due torrioni tutti saldi, eccetto le offese laterali, i quali ver la terra hanno tanto di sporto che fanno un ricetta lungo piedi 45, largo piedi 22; [...]».

La descrizione del Torrione ci viene data dal Codice Magliabechiano riportandone il tema del diametro, del fuciliere, l'altezza totale, l'altezza della scarpata, la sporgenza del cordone, la presenza del camino, l'altezza dei piombatoi, la sporgenza degli archetti, le dimensioni

dei parapetti, lo spessore dei merli, le forme dei due cordoni ed infine i beccatelli. Il confronto tra il torrione ideale e lo stato attuale, mostra che la successione degli elementi architettonici, strettamente funzionali, sono perfettamente rispettati e si riscontrano anche diverse concordanze metriche (Figura 6).

Altre discrepanze tra quanto tramandato da Francesco di Giorgio e quanto realmente è stato realizzato sono: la posizione reciproca tra torrione e Rocca è invertita nella realtà rispetto il disegno come già evidenziato dallo storico Gianni Volpe (1993). La seconda differenza si riferisce al "soccorso coperto" che unisce la Rocca con il Torrione e che nella realtà non è altro che la continuazione della scala interna al puntone mentre nel disegno è inequivocabile il legame con uno dei due torrioni laterali.

### ANALISI DEI RISULTATI

La raccolta dei dati finora presentati è tesa a una verifica puntuale delle varie fonti che permetta di penetrare l'essenza e le ragioni dell'architettura analizzata. Il tema dell'armonia e della perfezione, sia dal punto di vista filosofico che matematico, sono argomenti che più di ogni altri hanno permeato lo strato culturale del Rinascimento italiano. Ma fino a che punto si spinge il controllo geometrico delle forme di architettura e il loro rimando a forme ideali? I risultati, presentati nel seguito, dimostrano un grande controllo della pratica costruttiva, che poteva essere piegata alla realizzazione di forme perfette, anche perseguendo importanti innovazioni funzionali, come nell'arte militare.

### LA GENESI TRIDIMENSIONALE DELLA FORMA

Molti i casi [2] in cui si è andati alla ricerca delle forme ideali nell'architettura rinascimentale analizzandone piante e prospetti. Eppure in molti di essi la geometria che informa la costruzione planimetrica è evidente nel percorrere questi spazi e ci appare immanente. Diverso il caso del Torrione, qui presentato, in cui l'armonia è esaltata da una vista d'insieme, dalla disposizione nello spazio di una forma modernamente stereometrica. Per questo motivo il presente studio ha tentato la via meno battuta di una analisi volumetrica dell'architettura in questione: metodologicamente si è scomposto il volume in tre parti: la base, l'anello centrale e l'elemento superiore.

Per poter costruire i volumi ideali si sono definiti innan-



zitutto i due piani di riferimento: il piano quota fossato (a -2,40 mt) e il piano quota troniera (a 11,00 mt). A questo punto si è eseguita la costruzione delle superfici rigate ovvero quelle superfici ottenute da un contorno su cui appoggiare, in tutta la sua lunghezza, una riga o meglio, una famiglia di rette. La retta scelta come direttrice è quella linea che meglio approssima i punti del profilo laterale del Torrione. Come generatrice invece sono stati utilizzati i due cerchi alla base dell'ovale.

Il procedimento di modellazione tramite nurbs (sw Rhinoceros) ha utilizzato una rivoluzione su binario, ricalcando la costruzione teorica della conica. I tronchi di cono così ottenuti sono stati uniti tramite un piano tangente ai cerchi stessi. L'operazione è stata ripetuta per i due tronchi di cono che formano la parte sommitale del torrione. L'obiettivo era quello di un confronto volumetrico tra geometrie quanto più possibile pure e la nuvola di punti ricavata dal laser, non tanto per poterne calcolare in termini numerici lo scostamento generale, quanto per verificare la presenza di superfici notevoli, rispondenti ai principi della geometria.

Nonostante le notevoli semplificazioni introdotte nel modello ideale il confronto con la nuvola di punti, effettuato tra la mesh da modello e la nuvola tramite il sw Cloudcompare, mostra evidentissime sovrapposizioni. Gli scostamenti più marcati sono in corrispondenza della parte di raccordo centrale, che volutamente non è stata modellata (Figura 7). Tuttavia questo approccio va considerato con le dovute cautele, essendo principalmente frutto di un trattamento digitale tridimensionale dei dati concesso oggi ma poco aderente allo spirito rinascimentale.

### ANALISI BIDIMENSIONALI SULLE PIANTE

Se si pensa al modo di progettare all'antica, ormai diffuso nel '500 e mutuato dal Trattato vitruviano, alla abitudine di ragionare sul piano piuttosto che nello spazio, le analisi più coerenti sono soprattutto bidimensionali. Da queste considerazioni, anche valutando le pratiche costruttive e realizzative degli spiccati di fondazione, l'approccio di rilievo critico ha proceduto per piani orizzontali che individuassero ovali diversi alle varie altezze.

Le varie sezioni orizzontali, alle quote più significative, sono state ottenute tramite slices della nuvola di punti e poi studiate come disegni bidimensionali.

Va specificato che, date le trasformazioni urbane avvenute nel corso dei secoli attorno al Torrione (Figura 3), non è possibile definire una pianta di prima elevazione vera e propria. Nel corso dei secoli, oltre allo scavo del fossato ascrivibile al XVII secolo, si sono succedute mo-

difiche significative alle quote attorno al Torrione, oltre che il suo isolamento rispetto alla cinta muraria. Per questo motivo sono state studiate sei piante, a diverse quote, che descrivessero i vari cambi di sezione. L'ana-

Figura 6 Lettura semantico-funzionale del Torrione: raffronto tra indicazioni del Trattato di Francesco di Giorgio e l'edificio rilevato

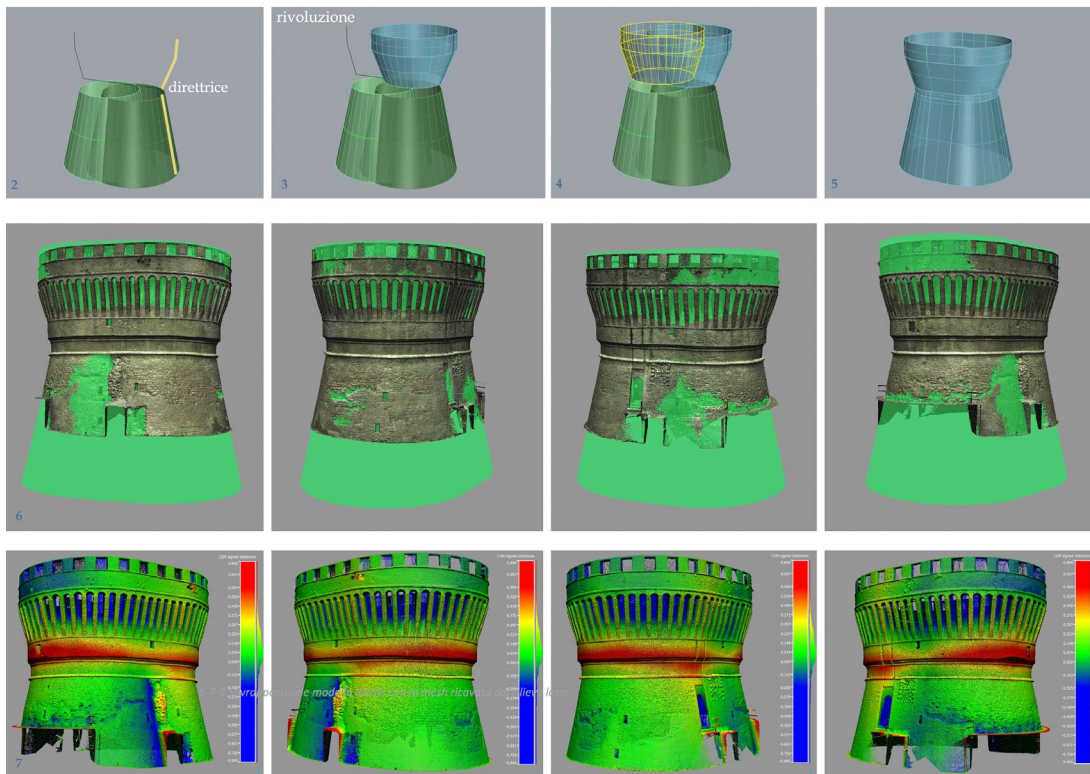
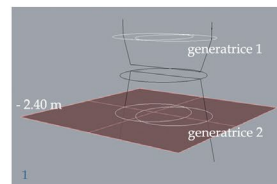
	DA TRATTATO, pag. 50-51	IL TORRIONE DI CAGLI
COPERTURA non originale in cippi	"..El diametro della Torrioni di difesa conveniente sia essere da li 50 in 60 piedi [17,5-21m, conversione effettuata usando il piede del Ducato d'Urbino]	Il diametro della circonferenza circoscritta al piano Terra del Torrione è pari a 49 piedi [17m], mentre quello della circonferenza circoscritta al livello del ballatoio 56 piedi [19,5 m]
RICORSO in laterizio ARCHITRAVE in legno	tutto sodo eccetto che le hoffese per fiancho, alte piedi 8 [2,8m] quelle più basse,	Le fucliere più basse sono a circa 3 piedi [1m] dal livello d'ingresso.
1628 MERLI in laterizio	e li torrioni di altezza almeno di piedi 50 in circa, [circa 17,5m]	L'altezza del Torrione dal fossato è pari a 56 piedi [19,5 m]
CORDONE in pietra rosa del Furlo 1618 PARAPETTO in laterizio TRONIERA	e infra questi 30 [circa 10,5m] ne debba essere di scarpa,	L'altezza della scarpatà è pari a 20 piedi [7m]
CORDONE in pietra 1614 ARCHETTI in laterizio	e d'ogni 4 o 5 [1,4-1,70m] piedi di altezza di scarpa, sia 1 [0,35m] di sporto, e la medesima proporzione si preservi quando si facessero più o meno alti.	Il primo cordone che sporge di 1 piede [0,30m] si trova alla fine della scarpatà, ovvero a 20 piedi [7m] dal fondo del fossato.
1613 PIOMBATOI	Debba eziandio hogni hoffesa per fiancho havere el suo fumigante o chaminò affinché chi fa el tocho non sia dal fumo impedito.	All'interno dell'edificio si trova un camino
BECCATELLI in laterizio	Appresso di questo in la sommità dei torrioni, faciansi li piombatoi altri piedi 9 [3,15m]	I piombatoi sono alti 10,5 piedi [3,8m]
1618 CORDONE in pietra	con archetti architratavati mutoli o beccatelli di sporto piedi 2 e mezzo insino 3 [0,85-1,05m]	Gli archetti che delimitano i piombatoi sporgono di 2,5 piedi [0,9m]
TRATTO PIANO in laterizio intonato	parapetto sopra dessi alto 3 piedi [1,05m] e grosso 1 e mezzo [0,35 m].	Il parapetto sopra agli archetti misura dall'esterno 3,5 piedi [1,2m] ed ha uno spessore di 1,5 piedi [0,55m]
CORDONE in pietra	E sopra questo li merli quali ovvero sieno di una medesima grossezza dato sia non potessero essere bombardati ovvero sieno grossi piedi 6 [2,10m] acciò che dalli passa volanti non possino essere gittati per terra	Sopra al parapetto si trovano dei merli del medesimo spessore alti 3 piedi [1m]
1617 TRATTO PIANO in laterizio intonato	e parapetti per 2 [0,70m].	Il parapetto della merlatura, dall'interno, misura 3 piedi [1,1m]
1612 CORDONE in pietra	Ultra a questo sotto li beccatelli a piedi 3 [1,05m] si faci uno circolare chordone di mezzo tondo e la faccia piana sia situata di sotto per defentione dele schale.	4,2 piedi [1,5m] sotto ai beccatelli c'è un cordone con una parte tondeggiante che precede una parte piana.
1613 SCARPATA in pietra mista	Sopra al detto chordone piedi 2 e mezzo [0,85m] si può fare il medesimo fine una ghola di sporto piedi 1 e mezzo [0,53m]	4 piedi [1,4m] sopra al cordone prima menzionato si trova un'ulteriore cordone che sporge di 0,3 piedi [0,1m]
ATTACCO CINTA MURARIA in pietra	sopra a la quale il muro dritto si tira di altezza di piedi 2 [0,70m] la quale seguino li beccatelli chome di sopra è dichiarato [...]"	Stando alla descrizione di Francesco di Giorgio Martini sembrerebbe che nel Torrione di Cagliari manchi un tratto verticale alto 2 piedi [0,70m] tra il cordone precedentemente menzionato e l'inizio dei beccatelli.

lisi degli elaborati ha dato interessanti risultati soprattutto sulle invarianti desumibili ai vari livelli: possiamo quindi dedurre che l'impossibilità di individuare con certezza una pianta più significativa non abbia inficiato il lavoro di trattamento dati. Il lavoro di lettura si è

orientato infatti principalmente al rintracciare rapporti proporzionali tra le parti e tra le parti e il tutto. Da una prima analisi delle varie elevazioni, è possibile dire che negli ovali sono inscrivibili due cerchi con raggi diversi i cui centri non risultano allineati verticalmente.

Figura 7 Analisi geometrica tridimensionale del Torrione: step 1-5 realizzazione delle primitive geometriche (sw. Rhino), step 6-7 sovrapposizione del modello ideale con la nuvola di punti (sw. CloudCompare).

1. Individuazione di due piani di riferimento a quota -2.40 m e a quota 11.00 m su cui definire le generatrici della superficie rigata
2. Individuazione della direttrice ideale che meglio approssima i punti del profilo laterale del Torrione
- 3-4 Rivoluzione su binario ottenendo così dei coni intersecanti
5. Realizzazione del volume ideale
6. Sovrapposizione modello ideale e modello mesh da nuvola di punti
7. Visualizzazione degli scostamenti



Inoltre gli ovali sono circoscrivibili da un cerchio di raggio variabile ma di centro costante, questo permette di definire un asse di simmetria verticale longitudinale per tutto il Torrione, nonostante la composizione globale si basi su forme diverse tra loro (cilindri, coni, tronchi di cono e piani), come visto precedentemente. Altro passaggio fondamentale per un uso del dato di rilievo più rispondente allo spirito del tempo di Francesco di Giorgio è stata la trasformazione dal Sistema metrico alle misure in Piedi urbinati. Infatti è dimostrato che l'architetto senese abbia utilizzato questa unità di misura per le opere del Montefeltro: inoltre si è scelto un arrotondamento unitario per le misure in piedi. Una volta ottenute le piante e le relative quote in piedi di Urbino, sono stati studiati i rapporti tra le misure caratterizzanti le primitive geometriche piane, ovvero raggi dei cerchi e posizione dei centri.

Dall'analisi geometrica delle 6 sezioni orizzontali delle piante a diverse quote ricavate dalle nuvole dei punti esterna è stata dedotta l'esistenza di rapporti che non variano pur nella disomogeneità geometrica delle sezioni. Come si può osservare dalla Figura 8, si evidenziano nelle piante: a) l'asse di simmetria longitudinale b) il centro costante della circonferenza circoscritta alle piante c) il rapporto costante tra il raggio delle due circonferenze interne di sinistra, pari a 1.06.

Inoltre sono stati ravvisati diversi invarianti lungo le sezioni, ovvero le cui variazioni sono talmente piccole che potrebbero essere conseguenza di inesattezze costruttive: il rapporto tra il raggio della circonferenza circoscritta e ciascun raggio delle circonferenze interne risulta pressoché costante.

Inoltre se dal diametro del cerchio che circoscrive le piante togliamo il raggio della circonferenza di sinistra e lo dividiamo per il raggio della circonferenza di sinistra otteniamo sempre un rapporto prossimo a 1.62, ovvero un rapporto che approssima la sezione aurea. Questo significa che il segmento risultante dal diametro del cerchio escluso un raggio è in rapporto di sezione aurea con il raggio del cerchio stesso: questo a meno di arrotondamenti trascurabili è verificato per entrambi i cerchi minori e su tutte le elevazioni. Possiamo quindi concludere che in ognuna delle 8 sezioni orizzontali è ravvisabile una doppia sezione aurea, facilmente graficizzabile (Figura 9).

Le analisi e i risultati più interessanti sono stati quindi ottenuti sulle misure che non sarebbero state desumi-

bili con operazioni di rilievo diretto. Ulteriore prova ne sia che la sovrapposizione con il rilievo diretto dà scarti elevati, come era prevedibile in una geometria così difficile da discretizzare come una superficie rigata.

### LA RICOSTRUZIONE DEL MODELLO TRIDIMENSIONALE

L'immagine unitaria del complesso fortificato, Rocca e Torrione ad oggi è sparita, sia a causa dell'abbattimento delle mura cittadine, avvenuto agli inizi del XX secolo, sia per le profonde trasformazioni subite dalla Rocca, trasformata ben presto in complesso monastico.

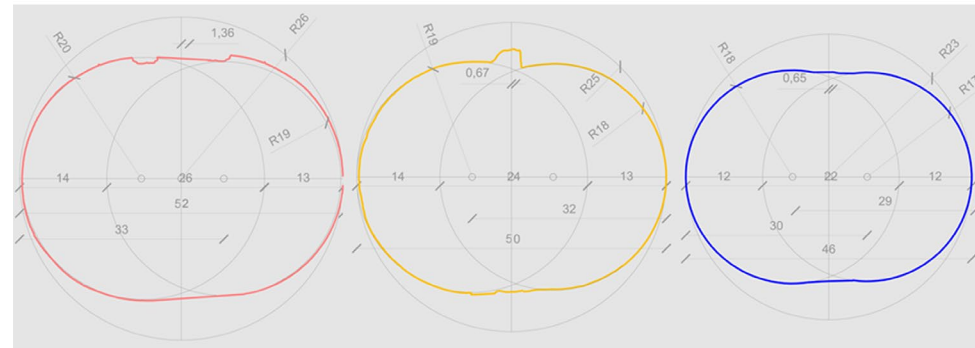
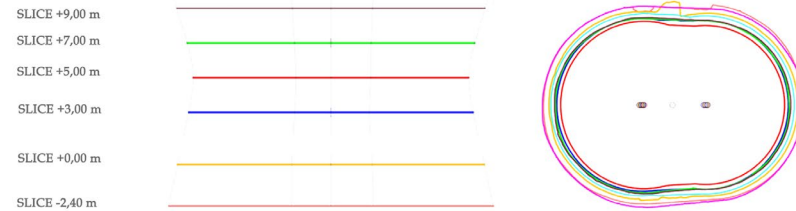
Eppure, nonostante la frammentarietà e lacunosità delle persistenze, la monumentalità e complessità della fortificazione richiedeva uno studio che ne permettesse la rilettura in chiave moderna e lo restituisse, almeno tramite il processo digitale, alla città di Cagliari.

Il percorso è cominciato sulla base della tradizione del disegno o ri-disegno di architettura – in questo caso di una architettura che non c'è – come riproposizione di segni, non solo usando "tecniche" diverse rispetto a quelle utilizzate nel modello ma anche come loro rimmaginazione, mediante una trasposizione selettiva e critica. Un prodotto dell'intelletto del tutto originale e sempre nuovo che significa appropriarsene in parte e costituire da un'unità un'altra unità (Baculo, 1983).

La fase critico-analitica è consistita, per alcuni elementi, in una vera progettazione all'antica, penetrando nella mentalità dell'architetto senese. Le fonti principali per la ricostruzione sono state: il Foglio 68v del Codice Magliabechiano, la descrizione che Francesco di Giorgio ne fornisce nel Trattato, il rilievo del Torrione, il rilievo storico del soccorso coperto, l'attuale orografia del Colle dei Cappuccini e la configurazione del Monastero, già ultimato nel 1570.

Il documento più prossimo a questa data (Figura 10) e che ci consente di stabilire cosa restava della fortezza sul colle dei Cappuccini è l'acquerello del Mingucci del 1629. In questa immagine la rocca è costituita da alcuni ruderi sulla destra, una torre circolare al centro e la prua del puntone con torrioni laterali protesa verso la città. Le mura della fortezza sono scarpate e con un leggero aggetto superiore. All'interno del recinto si vedono le costruzioni del convento.

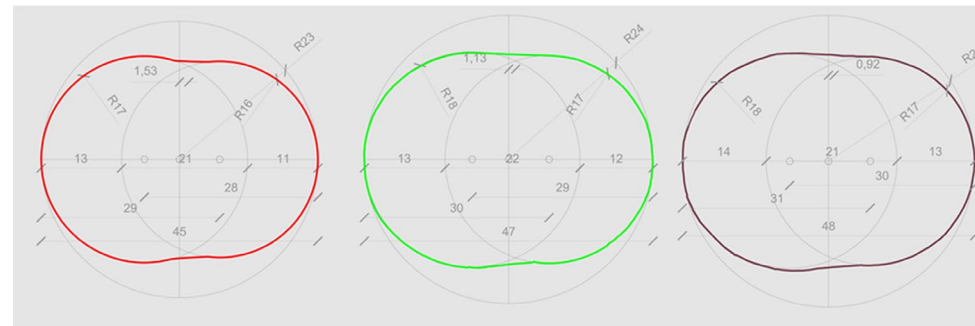
Oggi della rocca resta solo la punta con i due torrioncini affiancati, in corrispondenza dello sbarco del passaggio coperto, quindi il documento del Mingucci può essere



SEZIONE ORIZZONTALE QUOTA -2.40 m  
Raggio Esterno/Sinistra: 26/20= 1.30  
Raggio Esterno/Destra: 26/19= 1.37  
Raggio Sinistra/Destra: 20/19= 1.06  
Delta asse: 1.36 piedi urbinati  
52-20=32 p.u. => 32/20=1.60  
52-19=33 p.u. => 33/19=1.73

SEZIONE ORIZZONTALE QUOTA +0.00 m  
Raggio Esterno/Sinistra: 25/19= 1.32  
Raggio Esterno/Destra: 25/18= 1.39  
Raggio Sinistra/Destra: 19/18 = 1.06  
Delta asse: 0.67 p.u.  
50-19=31 p.u. => 31/19=1.63  
50-18=32 p.u. => 32/18=1.78

SEZIONE ORIZZONTALE QUOTA + 3.00 m  
Raggio Esterno/Sinistra: 23/18= 1.28  
Raggio Esterno/Destra: 23/17= 1.35  
Raggio Sinistra/Destra: 18/17= 1.06  
Delta asse: 0.65 p.u.  
46-18=28 p.u. => 28/18=1.56  
46-17=29 p.u. => 29/17=1.71



SEZIONE ORIZZONTALE QUOTA +5.00 m  
Raggio Esterno/Sinistra: 23/17= 1.35  
Raggio Esterno/Destra: 23/16= 1.44  
Raggio Sinistro/Destra: 17/16= 1.06  
Delta asse: 1.53 p.u.  
45-17=28 p.u. => 28/17=1.65  
45-16=29 p.u. => 29/16=1.81

SEZIONE ORIZZONTALE QUOTA +7.00 m  
Raggio Esterno/Sinistra: 24/18= 1.33  
Raggio Esterno/Destra: 24/17= 1.41  
Raggio Sinistra/Destra: 18/17= 1.06  
Delta asse: 1.13 p.u.  
47-18=29 p.u. => 29/18=1.61  
47-17=30 p.u. => 30/17=1.76

SEZIONE ORIZZONTALE QUOTA +9.00 m  
Raggio Esterno/Sinistra: 24/18= 1.33  
Raggio Esterno/Destra: 24/17= 1.41  
Raggio Sinistro/Destra: 18/17= 1.06  
Delta asse: 0.92 p.u.  
48-18=30 p.u. => 30/18=1.71  
48-17=31 p.u. => 31/17=1.82

Figura 8 Analisi numeriche sulle piante schematiche alle varie elevazioni: rapporti e invarianti.



## Analisi numerica in piedi urbinati

sezione quota +1,00 m

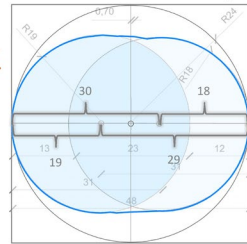
48-19=29 p.u. =&gt; 29/19=1.53

48-18=30 p.u. =&gt; 30/18=1.67

sezione quota +11,00 m

52-20=32 p.u. =&gt; 32/20=1.60

52-19=33 p.u. =&gt; 33/19=1.73



## Analisi grafica

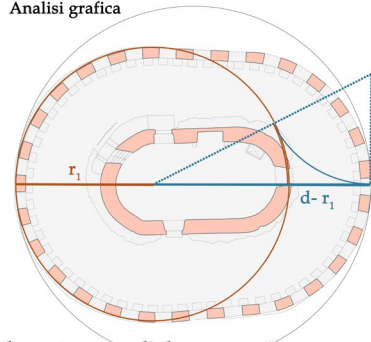
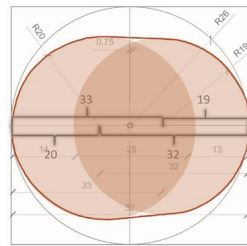
la parte aurea di  $d-r_1$  approssima  $r_1$ 

Figura 9 Rapporti aurei nelle varie elavazioni del Torrione di Francesco di Giorgio Martini



Figura 10 Veduta di Cagliari, tratta da Città e Castella di Francesco Mingucci - 1626 (ph. Luca Polidori)

considerata come ulteriore fonte, fondamentale per ricostruire le forme del forte celato dal più recente edificio.

Come in ogni lavoro di ricostruzione tridimensionale le fonti hanno mostrato elementi in disaccordo e hanno costretto a scelte critiche: di particolare interesse le piccole variazioni presenti nel disegno martiniano, ovvero torrione circolare invece che ellittico, soccorso coperto che sbucca su un torricino invece che sul puntone. Esse sono dovute al fatto che Francesco di Giorgio lavora al suo trattato circa dieci anni dopo il compimento dell'opera, intorno al 1490, quando ormai da tempo ha lasciato il Ducato di Urbino e ricostruisce i dettagli sulla base di qualche appunto. Purtroppo queste considerazioni, hanno messo in dubbio l'affidabilità del documento ai fini della ricostruzione tridimensionale della Rocca.

Per la parte di fortificazione a valle, i dati di partenza del Torrione sono stati editati aggiungendo alle volumetrie esistenti le mura perimetrali alla città di epoca medioevale, di cui rimane traccia di ammorsatura, e il fossato nella sua configurazione originaria. La rocca martiniana invece è stata ricostruita seguendo princi-

palmente le indicazioni del trattato soprattutto nel dimensionamento degli elementi. L'altezza del mastio è stabilita in 100 piedi urbinati, quella dei torrioni in 50 piedi urbinati, mentre per il ricetto del castellano vengono indicate la lunghezza di 45 piedi, larghezza di 22 piedi e altezza di 50 piedi urbinati. Tali misure si sono rivelate compatibili con quanto desumibile dalle cartografie relative ai resti (Maltese, 1959). Per la forma della pianta sono stati studiati modelli e possibili epigoni della Rocca stessa, ravvisando nella Rocca di Sarzanello (primo quarto del sec. XVI) interessanti elementi di somiglianza. Per quel che riguarda il "soccorso coperto" descritto da Francesco di Giorgio, essendo questo un elemento di particolare interesse funzionale e di innovazione tipologica, si è deciso di inserirlo nella ricostruzione tridimensionale, anche se non ne esiste un rilievo recente attendibile. «In una delle mura dell'ultimo ricetto è uno soccorso coperto che va ad una grossa torre fondata in le mura della terra, fatta di grossissimo muro, per la quale el castellano può mettere e cavare gente della terra.» Si tratta di una lunga galleria che parte dalla stanza seminterrata orientale del torrione e che con 385 gradini (18 in discesa dal torrione fino ad

arrivare alla quota di attraversamento sotto il fossato e 367 in salita verso la rocca) giunge alla fortezza dopo avere superato decine di metri di dislivello. La sua configurazione spaziale è stata ricostruita da un rilievo diretto dell'inizio degli anni 2000, da cui deduciamo che si tratta di un cunicolo sotterraneo che collega il torrione al puntone della rocca, la cui sezione formata da una stretta volta a botte, con larghezza massima di 85 cm, caratterizzato da 3 diverse pendenze e con una struttura tutta in muratura con i gradini in pietra. Nel modello è evidenziabile una ulteriore difformità rispetto al disegno del Martini, che si limita a indicare un collegamento tra i due elementi della fortificazione con una unica pendenza. Il modello realizzato (Figura 11) costituisce un primo step del lavoro di ricostruzione tridimensionale, infatti è in programma una nuova fase di acquisizione dati (laser e georadar) sul Colle dei Cappuccini che possa fornire ulteriori dati per la ricostruzione delle forme della Rocca. Una volta validate le volumetrie principali, con nuove risultanze di rilievo, sarà possibile poi specificare meglio anche le murature e le soluzioni costruttive del manufatto e giungere a ricostruzioni fotorealistiche sullo stesso.

## CONCLUSIONI

Le analisi qui presentate hanno aggiunto nuove conoscenze rispetto al modo di Francesco di Giorgio di progettare le sue architetture militari e alla realtà oggettiva del Torrione così come si è conservato fino a noi. Queste conoscenze sono state raggiunte grazie alle concessioni degli strumenti digitali, anche dal semplice uso sapiente del mezzo CAD. Esso, rappresentando ormai la nostra prassi grafica può, al pari del disegno a mano, muovere il pensiero su paradigmi sconosciuti dell'architettura storica. L'analisi critica dei dati di rilievo digitale (cartografico o a scala architettonica) concreta il disegno come scienza, abilitando il processo di verifica di tesi anche non note alla storiografia. Il rilevamento come lettura può, con autonomia e libertà di pensiero, andare in cerca anche di verità più probabili, fuori dalle strettoie di storie connaturate a culture non più attuali (Bartoli, 2012).

In particolare sono state analizzate le primitive geometriche tridimensionali del Torrione, che hanno condotto a risultati non ovvi nella sovrapposizione tra modello ideale e modello reale.

I risultati più interessanti sono quelli derivanti dalla analisi delle piante alle varie elevazioni, in cui siamo stati in grado di dimostrare la presenza di invarianti numeriche che lasciano supporre un progetto modulare e proporzionale delle parti. Inoltre, anche supportati da occorrenze in altre architetture dello stesso Francesco di Giorgio, risulta particolarmente significativo l'aver rintracciato in tutte le elevazioni un complesso rapporto di sezione aurea tra il diametro maggiore e ciascuno dei raggi che generano l'ovale. Pur nelle imprecisioni numeriche, di ordini di grandezza senz'altro trascurabili, la presenza della divina proporzione su entrambi i raggi, diversi dell'ovale, è stata ulteriormente rafforzata dal processo grafico: esso ha avvalorato la irrilevanza degli scostamenti in rapporto al valore numerico.

Grazie agli esiti del presente studio siamo in grado di rileggere gli antichi rapporti proporzionali e le geometrie ideali che hanno condotto alla tangibile armonia nella costruzione della fortificazione di Cagliari. È proprio nello specifico campo dell'architettura fortificata che abbiamo imparato a riconoscere le leggi della proporzione armonica o modulare tra le parti e tra le parti e il tutto. In questo grande patrimonio dell'architettura antica costruita, infatti, ovvero nella concezione e nel-

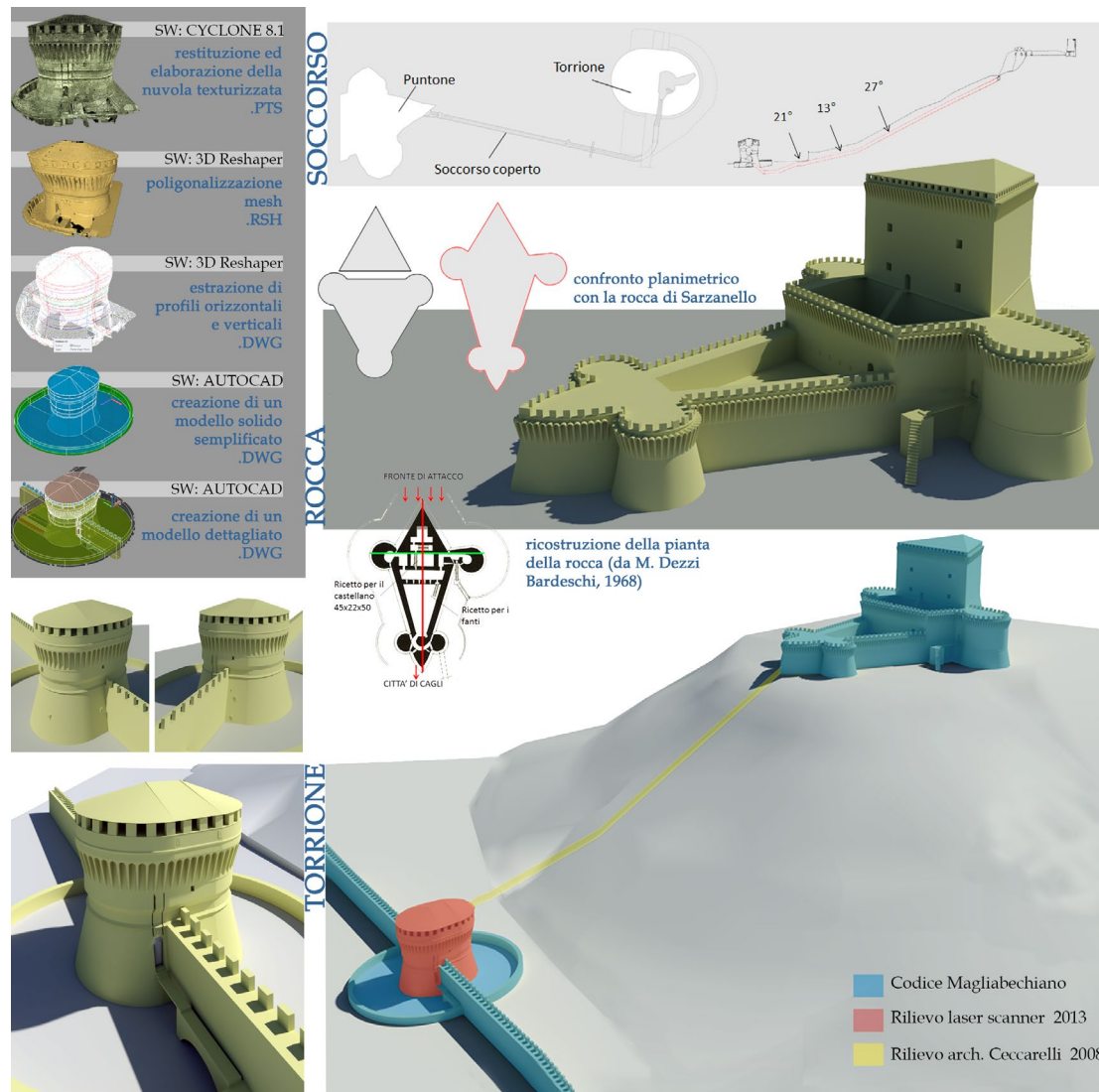


Figura 11 Ricostruzione volumetrica del Complesso Rocca-Torrione, passaggi operazionali e fonti della ricostruzione 3D



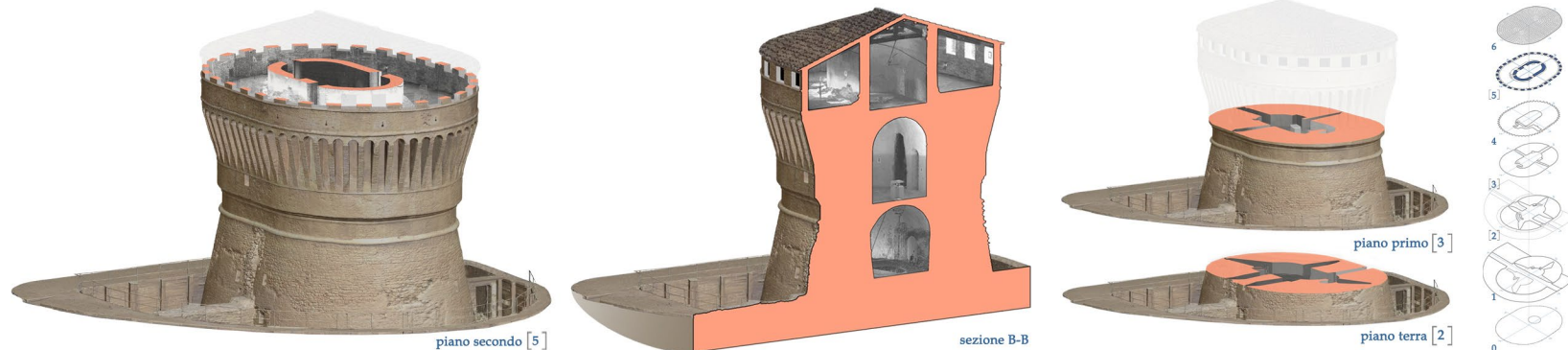


Figura 12 Spaccati assonometrici del modello tridimensionale, con piani di sezione orizzontali e verticali.

la costruzione formale delle architettura per la difesa si può parlare di una geometria visibile, quando non estetica. Tale geometria estetica diviene geometria tecnica (Marotta, 2012) grazie alla ricostruzione di una immagine unitaria e perfettamente razionale, oltre che funzionale.

Infine la ricostruzione dell'immagine complessiva della Rocca e del Torrione ha materializzato uno degli obiettivi della presente ricerca ossia la per creazione di nuove esperienze culturali capaci di aggiungere valore e significato alla ricostruzione virtuale 3D, rendendola un sistema semplice dal punto di vista comunicativo e con lo scopo della finale esposizione, comunicazione, trasmissione e divulgazione scientifica delle opere perdute di Francesco di Giorgio. Per questo, l'attività di disegno si configura come punto fondamentale di unione tra la ricerca storico – teorica e le nuove applicazioni avanzate, così da poter permettere l'accrescimento qualitativo degli studi di carattere generale e specifico sull'argomento. Le ricostruzioni di progetti non più esistenti si caratterizzano per la forza dell'utilizzo del modello digitale come strumento attuale ed irrinunciabile della analisi grafica. Soprattutto nella costruzione e nello studio dei modelli grafici interpretativi (Albini, 2014) è possibile esperire la duplice valenza del modello digitale per la visualizzazione ma anche per la costruzione logica dell'interpretazione.

I vari strumenti del disegno ci hanno condotto alla radice gnoseologica delle architetture analizzate nel tentativo di raggiungere ciò che Cartesio definiva profonda

conoscenza. Questo in realtà implica l'idea di misura, che è la possibilità di trasformare in quantità le qualità del fenomeno studiato (in questo caso un manufatto e un sito) utilizzando il rapporto tra la quantità misurata e relativa unità di misura (Bianchini, 2014).

A corredo concettuale del presente studio è sicuramente importante sottolineare come l'utilizzo della tecnologia laser scanner costituisca la tecnologia d'elezione nel rilievo architettonico sia nel caso di rilievi finalizzati all'intervento di restauro (Clini, 2014) ma anche, come in questo caso, alla conoscenza e all'analisi dell'architettura.

Questo lavoro dimostra che la nuvola di punti costituisce un serbatoio ricco e completo che, a valle di letture diverse e anche lontane nel tempo, può approfondire il processo di conoscenza e garantire alla disciplina del disegno nuove ulteriori sfide (Figura 12).

Muovendo su vie lontane dal tradizionale progetto di rilievo, in cui necessariamente dovevano essere note finalità ed elaborati per poter avviare il processo di conoscenza, oggi dobbiamo affermare la necessità sempre più stringente di avviare e perseguire il processo di digitalizzazione dei beni, svincolato dall'uso che poi potrà essere riservato ai dati. Le interessanti sfide di ricerca che questo orientamento pone stanno nel superare i problemi di gestione e garantire dalla obsolescenza dei dati, creare standard condivisi nell'annotazione dei 3D che permettano la loro successiva esportazione verso Europeana, la biblioteca digitale europea, o ancora nel rendere possibile la visualizzazione 3D interattiva

integrata all'interno dei browser web regolari sfruttando tecnologie quali WebGL e OpenGL (Santos, 2014). Inoltre i processi di digitalizzazione concessi dalle tecniche (laser scanner, fotogrammetria e, più in generale 3D imaging), scaturiscono una revisione del concetto di rilievo che, da processo interpretativo, diviene rappresentazione (Gaiani, 2012) di perfetti calchi tridimensionali, cloni digitali o copie fedeli da cui derivare livelli di dettaglio progressivi.

#### RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Comune di Cagliari per aver permesso le acquisizioni laser scanner del Torrione di Francesco di Giorgio Martini, in particolare si ringraziano gli assessori Alberto Mazzacchera e Assunta Valeri.

La fase di acquisizione laser scanner e alcune elaborazioni relative al Torrione sono state condotte da Luigi Sagone e Romina Nespeca e dagli studenti Andrea Tabocchini e Mirco Santi, durante i corsi di Rilievo dell'Architettura e di Restauro Architettonico, tenuti rispettivamente dal prof. Paolo Clini e dal prof. Fabio Mariano, nell'anno accademico 2012/13, nel corso di Ingegneria Edile Architettura dell'Università Politecnica delle Marche.

Le analisi sulle geometrie piane e la ricostruzione tridimensionale del complesso Torrione-Rocca sono stati oggetto della tesi di Laurea in Ingegneria Edile - Architettura di Tommaso Lenci "Il Torrione di Francesco di Giorgio Martini a Cagliari: dal rilievo LIDAR alle geometrie ideali" Relatore Prof. Paolo Clini.

## NOTE

[1] Le descrizioni storiche riportano la definizione di ellissoidale che non è particolarmente aderente alla vera forma in pianta come nel presente studio verrà trattato oltre.

[2] Basti pensare alle note analisi fatte sulle piante e sui prospetti delle architetture di Leon Battista Alberti, ma anche su Francesco di Giorgio Martini ci sono già studi di questo tipo: De Zoppi G. "La cappella del Perdono e il tempio delle Muse nel Palazzo Ducale di Urbino. Analisi e proposta d'attribuzione a Francesco di Giorgio Martini" *Annali di Architettura, Rivista del Centro Internazionale di Studi di Architettura Andrea Palladio di Vicenza*, n°16 Anno 2004.

## BIBLIOGRAFIA

Adams, Nicholas (1993), *L'architettura militare di Francesco di Giorgio* in Fiore, Francesco Paolo, Tafuri, Manfredi; *Francesco di Giorgio architetto*, Electa, Milano, pp.126-162.

Albisinni, Piero (2011), *L'analisi grafica dell'architettura: dall'analogo al digitale* in Albisinni, Piero, Laura, De Carlo (a cura di), *Architettura. Disegno. Modello. Verso un archivio digitale dell'opera sei maestri del XX secolo*, Gangemi, Roma, pp. 68-69.

Baculo, Adriana (1983), *Disegnare-costruire: riflessioni sull'urbano* in AA.VV., *Rappresentazione/Intenzioni di progetto*, atti del "Seminario di Primavera", S. F. Flaccovio Editore, Palermo, pag. 120.

Bartoli, Maria Teresa (2012), *Il cortile della Dogana in Palazzo Vecchio, il dettaglio che illumina la regola* in *DISEGNARECON*, 9 - giugno 2012, ISSN 1828-5961, pp. 55-64.

Battini, Carlo (2012), *Rilievo digitale e restituzione: concetti base ed esempi*, Alinea Editrice, Firenze, pagg. 114.

Bianchini, Carlo (2014), *Survey, modeling, interpretation as multidisciplinary components of a knowledge system* in *SCIRES-IT*, Vol. 4, Issue 1, pp.15-24, e-ISSN 2239-4303, DOI 10.2423/i22394303v4n1p15.

Cardamone, Domenico (2008), *Francesco di Giorgio Martini (1439-1501) - "Dissertazioni e note" sul Codice del Cavaliere Cesare Saluzzo (MDCCCXLI)* in *Bollettino Direzione Regionale per i Beni Culturali e Paesaggistici delle Marche* n.3, Tecnostampa, Loreto, pp. 19-38.

Clini, Paolo; Fangi, Gabriele; Nespeca, Romina (2013), *Conoscere e ricostruire dopo il sisma. Rilievo e documentazione tramite laser scanner del Monastero della Beata*

*Antonia a L'Aquila* in *AID MONUMENTS. Conoscere, progettare, ricostruire*. Conference proceeding, Aracne Editore, Roma, ISBN: 978-88-548-6506-8.

Clini, Paolo; Mazzacchera, Alberto; Nespeca, Romina (2014), *Laser scanner for historic churches restoration and conservation: Church of San Filippo in Cagli* in *ESRARC 2014*, conference proceeding.

Fiore, Francesco Paolo (2004), *Francesco di Giorgio alla corte di Federico da Montefeltro*. Atti del Convegno (Urbino, 11-13 ottobre 2001), Olschki, Firenze, Biblioteca dell'Archivum romanicum n. 317.

Gaiani, Marco (2012), *Per una revisione critica della teoria del rilievo dopo l'avvento dei mezzi digitali in Elogio della teoria. Identità delle discipline del disegno e del rilievo*, Gangemi, Roma, pp. 375 - 382.

Gucci, Antonio (1476), *Memorie della città di Cagli e de' prencipi suoi dominanti raccolte, e descritte in compendio da Antonio Gucci suo cittadino*, manoscritto conservato presso la Biblioteca Comunale di Cagli.

Maltese, Corrado (1959), *L'attività di Francesco di Giorgio Martini - architetto militare nelle Marche attraverso il suo "Trattato"* in Atti del XI congresso di storia dell'architettura, 6-13 settembre 1959, Ancona, p. 284.

Marotta, Anna (2012), *Geometria e costruzione: modelli mentali e tipi realizzati nel territorio della difesa* in *DISEGNARECON*, 9, ISSN 1828-5961, pp. 161-166.

Nazzaro, Barbara; Villa, Guglielmo (2004), *Francesco di Giorgio Martini. Rocche, città, paesaggi*, Kappa, Roma, Museo della città e del territorio n.21.

Nespeca, Romina; Bernetti, An-

gelo; Quattrini, Ramona (2014), *Il rilievo laser scanner per la corretta progettazione di un'innovativa tecnologia di restauro. L'architettura in pietra a secco della torre di Beura-Cardezza in Italian survey & international experience*, Atti convegno UID 2014, Gangemi, Roma, pp. 401-408.

Saluzzo, Cesare (1841), *Trattato di architettura civile e militare di Francesco di Giorgio Martini Architetto senese del secolo XV ora per la prima volta pubblicato per cura del cavaliere Cesare Saluzzo con dissertazioni e note per servire alla storia militare italiana*. Torino, Tipografia Chirio e Mina. M DCCC XLI.

Santos, Pedro; Pena Serna, Sebastian; Stork André; Fellner, Dieter (2014), *The Potential of 3D Internet in the Cultural Heritage Domain, in 3D Research Challenges in Cultural Heritage, Lecture Notes in Computer Science*, Volume 8355, pp. 1-17.

Volpe, Gianni (1993), *La rocca di Cagli* in Fiore, Francesco Paolo; Tafuri, Manfredi; *Francesco di Giorgio architetto*, Electa, Milano, pp.226-229.

Volpe, Gianni (1994), *L'architettura di Francesco di Giorgio Martini tra ricerche e restauri*, Centro Stampa della Provincia di Pesaro e Urbino, Pesaro.