

IL CONTRIBUTO DELL'ARCHEOLOGIA DIGITALE ALLO STUDIO E ALL'INTERPRETAZIONE DELL'EDILIZIA STORICA. IL CASO DI SAN MARINO

1. INTRODUZIONE

Le attività propedeutiche di analisi archeologica della stratigrafia muraria e di rilevamento sono il presupposto fondamentale per intervenire correttamente sull'interpretazione e sulla conoscenza dei manufatti architettonici. I progressi tecnologici degli ultimi anni hanno portato a un miglioramento delle metodologie e degli strumenti di rilevamento tridimensionale e analisi dei dati. L'utilizzo di tecniche di rilievo quali la fotogrammetria digitale, il remote sensing e la scansione laser; di software di simulazione, visualizzazione 3D e di organizzazione informatizzata dei dati archeologici, hanno avuto uno sviluppo esponenziale trovando una sempre maggiore applicazione consapevole anche nel settore dell'archeologia dell'architettura. La continua sperimentazione da una parte ha aperto a prospettive e problematiche di ricerca prima impensabili, dall'altra ha portato all'ideazione e sviluppo di metodi e tecniche specifiche per il settore archeologico o all'assimilazione di paradigmi sviluppati, in origine, per altri settori (FORTE *et al.* 2012; REMONDINO, CAMPANA 2014; LANDESCHI *et al.* 2016).

Tuttavia, ad oggi, tali strumenti e metodi non sono ancora entrati appieno nello standard della pratica archeologica e le potenzialità offerte sono sfruttate solamente in parte. Di fatto, l'archeologia digitale è una branca appena nata nell'ambiente accademico e solo in pochi ambienti universitari fa parte del programma di apprendimento. Nel recente passato spesso il suo ruolo è stato puramente tecnico, finalizzato ad una documentazione più completa, veloce ed efficace mentre la sua importanza nel processo interpretativo e cognitivo è stata sottovalutata. Tale sfiducia dipende certamente dal fatto che le prime applicazioni avevano diverse debolezze, mancavano infatti degli obiettivi che mirassero a trovare risposte precise (FORTE 2000; HERMON 2007). La spettacolarizzazione e la novità finivano per offuscare le potenzialità di queste tecnologie e i loro output diventavano il fine e non il mezzo per risolvere domande di ricerca. Tuttavia, col tempo l'uso delle tecnologie digitali in archeologia ha avuto un grande impatto sulla disciplina, soprattutto nel modo in cui i dati vengono raccolti, gestiti e soprattutto interpretati e visualizzati.

Spesso, ancora oggi, un uso poco consapevole di queste tecnologie sia a livello accademico che professionale, fa sì che queste vengano applicate su campo solamente per ottenere una documentazione più precisa e accurata di un sito archeologico, oppure per automatizzare processi tediosi. Questi sono sicuramente vantaggi importanti, ma a nostro avviso ciò che fa davvero la

differenza è l'utilizzo del dato ottenuto come strumento analitico. Le tecnologie di rilievo e visualizzazione 3D hanno infatti permesso di supportare i processi cognitivi e interpretativi per una migliore comprensione degli scenari archeologici, aiutando gli studiosi a strutturare fonti complesse e a testare il ragionamento interpretativo in modelli di realtà virtuale e simulazioni. Come afferma ZUBROW (2006), il loro approccio non è solo metodologico poiché esse creano teoria o influenzano l'aspetto teorico.

Un ulteriore elemento che aiuta a delineare i vantaggi che derivano da un impiego "analitico" dei modelli 3D è l'introduzione del concetto di "replica digitale" del contesto originario (DEMETRESCU *et al.* 2020). La replica digitale è un sostituto visuale di un sito archeologico che è stato introdotto per soddisfare le necessità di tutela estensiva del patrimonio culturale (sito archeologico e suo contesto considerati nel loro insieme come paesaggio culturale) evidenziate da istituzioni di rilevanza internazionale come ICOMOS e UNESCO. La rappresentazione conforme del paesaggio culturale e dei suoi siti e monumenti ha aperto una sfida tecnologica e metodologica che porta alla creazione delle loro repliche digitali, ovvero modelli con altissima risoluzione e accuratezza. Come verrà approfondito nella sezione sull'uso dei modelli 3D, tali modelli hanno permesso di eseguire delle attività di analisi della stratigrafia muraria laddove l'analisi autoptica non era praticabile.

In questo contributo presentiamo dunque un flusso di lavoro, dal rilievo alla pubblicazione, che mostra come alcune applicazioni pratiche dei modelli tridimensionali possano coadiuvare il processo di analisi e interpretazione del dato archeologico in contesti operativi e interpretativi complessi.

Il caso di studio che andremo ad analizzare riguarda le fortificazioni del centro storico di San Marino. Tali strutture, di origine medievale, sono state oggetto di numerosi interventi nel corso dei secoli, in ultimo da importanti restauri stilistici e parziali ricostruzioni condotti senza alcun approccio filologico tra la fine del XIX secolo e la prima metà del XX ad opera dell'ing. Gino Zani (ZANI 1933; ROSSI 2015; MORGANTI 2018). Questi ultimi in particolare hanno alterato l'immagine dei manufatti creando problemi legati all'"autenticità" e alla "riconoscibilità" delle opere e causando gravi conseguenze all'identità storica e tutela del patrimonio monumentale sammarinese. Dal 2016, a seguito della stipula di un protocollo d'intesa in tema di ricerca e cooperazione tra l'Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR ISPC) e gli Istituti Culturali della Repubblica di San Marino (ICRSM), sono stati avviati studi storici, rilevamenti archeologici e architettonici nel centro storico di San Marino allo scopo di conoscenza, tutela e valorizzazione dei manufatti. I palinsesti architettonici finora analizzati presentano gradi di complessità molto elevati (dipendenti dal contesto operativo urbano, dall'inaccessibilità di alcuni contesti, dall'estensione del sito, dalla difficoltà interpretativa di alcune stratigrafie manomesse dai restauri, etc.) che richiedono un approccio multidisciplinare

finalizzato all'elaborazione di un modello interpretativo sia sul livello storico che su quello tecnico (FERDANI *et al.* 2019). L'integrazione di diversi metodi e tecniche 3D in questo progetto di archeologia dell'architettura, incrociati con le fonti iconografiche e di archivio, ha contribuito significativamente al risultato colmando alcune lacune interpretative e permettendo di analizzare e confrontare dati con approcci non ancora sperimentati nel sito.

2. IL CONTESTO DI ANALISI

Il territorio della Repubblica di San Marino (61,2 km²) è situato tra Romagna e Marche ed è incentrato sul massiccio del Monte Titano (739 m s.l.m.), dalla linea di crinale del quale, nei versanti NE e S, si sviluppano rupi scoscese, con pareti verticali alte talvolta oltre 100 m (GUERRA *et al.* 2011). Visibile da grande distanza, dominante sul solco vallivo del Marecchia e posto in posizione mediana tra la costa adriatica e l'area del valico di Viamaggio, il Titano è stato insediato fin dall'età protostorica (GIORGETTI 1994; BOTTAZZI, BIGI 2008) e costituisce l'esempio paradigmatico di un insediamento d'altura che dal Medioevo, acquisendo progressivamente una autonomia statale, è giunto fino alla contemporaneità. Le fonti documentali di età tardoantica e altomedievale che attestano una presenza insediativa o l'esistenza di un *castellum/castrum Sancti Marini* sul Monte Titano sono molto frammentarie.

Al 511, in età gota, data la *Vita Sancti Severini*, nella quale Eugippio menziona l'esistenza sul Titano di un *monasterium*, verosimilmente situato nell'area della Pieve di San Marino. La Pieve è ricordata per la prima volta in un documento del 1069 (CARTE DI FONTE AVELLANA 1972, 66-70), ma ha restituito elementi architettonici altomedievali, riferiti al IX secolo (VALENTI 2008, 140-144). Sul crinale del Monte Titano, a 370 m a S della Terza Torre, sono stati rinvenuti in località "Tanaccia" una cisterna, costruita con laterizi di reimpiego, e materiali archeologici e numismatici datati al IV-VI secolo d.C. (GIORGETTI 1994, 67-72). Sempre alla "Tanaccia" sono stati ritrovati frammenti di armi in ferro, che sono stati riferiti anch'essi all'età tardoantica (GIORGETTI 1994, 19, n. 11). Tali elementi hanno consentito di ipotizzare la presenza sul Titano, strategico per il controllo dell'entroterra collinare di Rimini, di un *castrum* di età gota durante la guerra greco-gotica (535-553).

Procopio di Cesarea (*De bello gothico*, VI, XI, 3) attesta l'esistenza di un *castrum* goto a San Leo di Montefeltro, forte di 500 uomini e posto a controllo della valle del Marecchia nel 538. San Leo è citato anche da Eugippio, all'inizio del VI secolo, e sembra essere compreso nell'elenco dei castelli bizantini di Giorgio di Cipro. Il *castellum Sancti Marini* è citato in tarda età longobarda, nell'elenco dei castelli controversi tra il re dei Franchi, Pipino, i Longobardi e il Papa Stefano II (BONACINI 1994). Per i secoli successivi il ruolo strategico di San Leo è ancora ben evidente per la nota vicenda dell'assedio che contrappone



Fig. 1 – Alcuni dei corpi di fabbrica oggetto di analisi e rilievo. 1) Prima Torre; 2) Seconda Torre e mura della Fratta; 3) Mura e torri del Secondo Girone; 4) Terza Torre; 5) Porta San Francesco nel Terzo Girone. Nelle immagini si può notare la complessità delle architetture e la presenza di criticità operative indicate (DHiLab - CNR ISPC).

Berengario e l'imperatore Ottone I negli anni 961-963. Mancano invece ulteriori testimonianze riferibili a San Marino come luogo fortificato. La prima attestazione documentata data al 1125 con la bolla di Papa Onorio II a Pietro, vescovo del Montefeltro, nella quale si nomina la «plebem Sancti Marini cum castello et cum omnibus pertinentiis suis» (LOMBARDI 1976, 78; SASSI 2005, 166).

Tra XII e XIII secolo il territorio di San Marino, originariamente limitato al Titano e alle sue immediate pertinenze, si espande a E: San Giovanni, Valdragone, Cailungo, Piandavello, Domagnano, Sterpeto. Verso la metà del Duecento sono acquisiti Cerreto – sul quale sono stati riscontrati resti di un sito fortificato (BOTTAZZI, BIGI 2013) – e Ventoso, che in un documento del 20 dicembre 1243 erano ancora menzionati come *castra* appartenenti a un signore territoriale, Guido da Cerreto (CAMBRINI 2013; LOMBARDI 2017, 38-39). Nel 1253 il vescovo di Montefeltro e i consoli sammarinesi acquisiscono i diritti su Casole, in precedenza sotto il controllo dei Montefeltro e probabilmente già decastellato (LOMBARDI 2017, 37-38). Nel 1320, su richiesta degli abitanti, viene annesso al Comune di San Marino Busignano, territorio

posto sotto la giurisdizione di Pieve Corena (CAMBRINI 2012, 175-183; DI CARPEGNA FALCONIERI 2012). L'ultima espansione territoriale di San Marino avviene nel 1463. Sulla base del trattato sottoscritto il 21 settembre 1462, dopo la sconfitta di Sigismondo Pandolfo Malatesti ad opera della coalizione pontificia guidata da Federico di Montefeltro, San Marino, con la bolla di Pio II del 27 giugno 1463, ottiene Fiorentino, Montegiardino, Serravalle e Faetano, raddoppiando quasi la sua estensione territoriale (COLOSIMO 2017).

L'esito dei processi fortificatori e costruttivi avvenuti sul Titano nel Medioevo è tratteggiato nella *Descriptio provinciae Romandiolae* del cardinale Anglico de Grimoard dell'anno 1371: «Castrum S. Marini, positum super quodam Sasso altissimo in cuius summitate sunt tres Rocchae fortissimae, quae custodiuntur per homines dicti Castri» Il complesso archeologico della Prima Torre o "Guaita" è citato nel 1253 e negli Statuti del 1317. Il nucleo originario probabilmente consisteva in una torre difesa da un recinto murario, poi modificato e ampliato nei secoli successivi (Fig. 1). Al 1450 ca. è datata la cinta esterna, al 1470 la ricostruzione della torre, al 1487 la ricostruzione della porta della cinta interna e, a seguire, l'ampliamento della "casermetta". Ulteriori interventi sarebbero stati realizzati a partire dal XVI secolo quando il complesso viene adeguato alla difesa dalle armi da fuoco. Al XVI secolo (1530) risale anche la costruzione della torre campanaria, mentre al XVII secolo (1622-1623) il baluardo della cannoniera della cinta esterna (PASINI 2005, 18-19).

Dal XIV al XX secolo alcuni ambienti della Prima Torre furono adibiti a prigione. Nel corso dei secoli la Rocca è stata oggetto di ristrutturazioni e rifacimenti; gli interventi più rilevanti datano al secolo scorso, tra il 1933 e il 1935, e, successivamente, nel 1942, quando sono state restaurate cortine e merlature e rialzata la torre principale sotto la direzione di Gino Zani (ZUCCONI 1992, 35-39; MORGANTI 2001, 139-140). Nel 1960, vicino all'ingresso del complesso, è stata invece edificata in stile neo-medievale la cappella di Santa Barbara, originariamente ospitata nella seconda torre rompitratta della cinta esterna della Rocca (PASINI 2005, 18). La Seconda Torre o "Cesta", risalente secondo lo Zani al XIII secolo, è attestata nelle fonti archivistiche fin dal XIV secolo e costituisce il secondo grande complesso fortificato del Titano. Secondo le fonti subì interventi di aggiornamento nel 1396, 1535 e 1549. La Terza Torre o "Montale", a pianta pentagonale, è costruita nella zona S-E, in posizione isolata e strategica per il controllo della viabilità. La Seconda Torre e la Terza Torre hanno subito importanti restauri nel corso dei secoli, i più significativi tra il 1925 e il 1935 per la Seconda Torre e nel 1935 per la Terza Torre. Le fotografie precedenti a tale data testimoniano l'entità della ricostruzione, in particolare per la Seconda Torre.

Anche le cinte murarie, costruite a difesa della città nel Medioevo, hanno avuto nel corso del tempo ampliamenti, modifiche, rifunzionalizzazioni e demolizioni. Alle più antiche mura cittadine, le cosiddette "mura del primo girone", sono riferiti pochi lacerti sul terreno sottostante la porta della Rocca.

Le mura partivano presumibilmente dalla Prima Torre, da cui scendevano verso il nucleo abitato per inglobare le cisterne dei Fossi, la prima casa del Comune e terminare in prossimità della Pieve. Un “secondo girone” di mura fu costruito a partire dal XIII secolo e corrisponde alla tratta che oggi si trova a strapiombo sulla sottostante cava antica. Le mura, prive di scarpa o risega, sono intervallate da torrette a pianta quadrata. Nei pressi di una torretta è stata realizzata in età moderna la porta della “Fratta”, poi più volte modificata.

In questo tratto il “secondo girone” è ben conservato e nonostante i restauri operati da Zani, che hanno interessato soprattutto la parte sommitale, mantiene un’ottima leggibilità delle strutture murarie originarie. In prossimità della porta della Fratta, nel corso del XV secolo, fu realizzato un ulteriore tratto di mura difensive, detto anch’esso della Fratta, che collegava il nucleo urbano alla Seconda Torre. Il tratto, ben conservato, si estende per quasi trecento metri ed è intervallato da quattro torrette semicircolari aperte alla gola. Nella seconda metà del XV secolo, contestualmente all’ultima espansione territoriale di San Marino, le mura cittadine si ampliano ulteriormente fino al perimetro dell’attuale centro storico. La principale porta di accesso alla “Città” diviene la Porta del Locho o Porta San Francesco, attigua alla omonima chiesa edificata nel XIV secolo. Anche queste fortificazioni sono state più volte restaurate e/o ricostruite, mantenendo l’orientamento originario. Sempre nella seconda metà del Quattrocento San Marino si dota delle grandi cisterne del Pianello, infrastruttura realizzata al di sotto del piano di calpestio della omonima piazza, la cui costruzione è avviata dal 1476 (GOBBI 1999, 52, 159-160) (Fig. 2). Ne emerge dunque un quadro estremamente articolato con strutture che presentano continuità di vita dal Medioevo ad oggi.

3. AMBITO DI STUDI E FLUSSO DI LAVORO

L’ambito di studi che stiamo trattando riguarda l’archeologia dell’architettura la cui finalità è quella di ricostruire l’evoluzione storica di complessi architettonici o interi apparati urbani attraverso lo sviluppo sia di un modello storico sia di un modello tecnico. Il “modello storico” ha lo scopo di interpretare, nelle forme edilizie e scelte progettuali, il sostrato culturale e le condizioni economiche della committenza, gli interessi politici, militari ed economici, le scelte estetiche e la presenza di tendenze costruttive e culturali. Il “modello tecnico” è orientato alla comprensione del contesto materiale e delle fasi del cantiere edile, alla classificazione delle tecniche costruttive e dei processi produttivi adottati nelle attività edilizie, all’individuazione della funzione ed evoluzione delle tipologie edilizie e alla ricostruzione dell’aspetto originale dei manufatti.

Ricostruire tali modelli richiede un approccio multidisciplinare ed un paziente lavoro di analisi e interpretazione dei dati. Nel caso di San Marino tale studio, attualmente in corso, è stato applicato su tutte le fortificazioni del

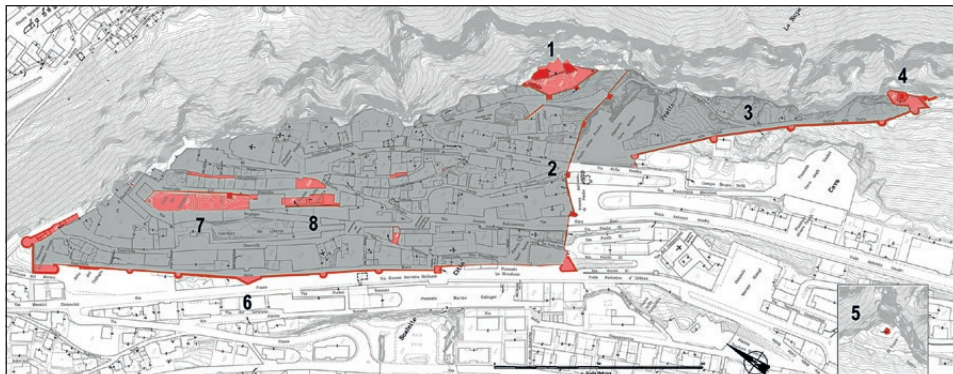


Fig. 2 – Planimetria catastale del centro storico di San Marino. In rosso sono indicate le architetture oggetto di analisi e rilevate con tecniche fotogrammetriche e/o di laser scanning. I numeri indicati di seguito si riferiscono ai settori di indagine: 1) Prima Torre; 2) Mura del Secondo Girone; 3) Mura della Fratta; 4) Seconda Torre; 5) Terza Torre (circa 300 m a S rispetto alla Seconda); 6) Mura del Terzo Girone; 7) Mura del Pianello; 8) Cisterne del Pianello (DHiLab - CNR ISPC).

centro storico che comprendono le tre rocche e i cinque circuiti murari (Fig. 2). Tale lavoro si inserisce nel contesto di studi emiliano-romagnolo (SETTIA 2007; AUGENTI *et al.* 2009, 2012; FIORINI 2015; SASSI 2005; SACCO, TOSARELLI 2016) che negli ultimi anni ha conseguito importanti risultati nello studio dei castelli, proprio grazie all'archeologia dell'architettura grazie ad un censimento delle tecniche murarie, allo studio delle tipologie edilizie e all'applicazione di nuove tecnologie digitali allo studio e interpretazione dei contesti (FIORINI *et al.* 2011; FIORINI 2018).

Le difficoltà che in genere si incontrano nel documentare e interpretare i manufatti storici sono molteplici. Nel caso di San Marino queste sono state amplificate da una serie di fattori di seguito elencati:

- Strutture integrate nel tessuto urbano: la maggior parte dei circuiti murari sono inglobati nell'attuale tessuto e si sviluppano lungo le principali vie di transito urbano. Ciò rende complessa la pianificazione del rilievo che ha richiesto l'interruzione temporanea di alcuni servizi (parcheggio, transito, accesso ai pedoni) e di conseguenza finestre limitate per la conduzione delle operazioni di documentazione.
- Inaccessibilità alle strutture: alcuni complessi architettonici, soprattutto le tre torri, sono costruiti sulla testa dell'acrocoro con il fronte occidentale in linea con lo strapiombo della Rupe. Molti prospetti sono dunque inaccessibili ad un'analisi autoptica.
- Presenza di vegetazione: dopo i restauri del '900 la vegetazione ad alto fusto è cresciuta a ridosso di alcuni circuiti murari ed in particolare quello esterno della Fratta coprendo parzialmente i paramenti murari.

- Restauri stilistici: Come precedentemente accennato i manufatti sono stati interessati tra fine '800 e prima metà del '900 di numerosi interventi di restauro mimetico che rendono tutt'oggi complesso individuare e differenziare in modo netto i confini stratigrafici.
- Documentazione estensiva: le strutture conservate coprono una superficie enorme e pertanto richiedono tecniche di documentazione speditive ma che permettano una lettura accurata e di dettaglio delle superfici murarie.
- Lettura sinottica: alcune strutture murarie come torri o tratti di cinta urbana privi di rapporti fisici (poiché alcune tratte difensive sono state obliterate da strutture costruite in epoche successive) non sono mai state interessate da indagini comparative che permettessero una lettura sinottica e di confronto tipologico. Pertanto, ad oggi non è ancora chiaro se certe strutture siano coeve tra loro o frutto di interventi diversi.

Considerando le finalità del progetto, l'estensione dei manufatti e le criticità operative si è deciso di optare per un rilievo del contesto monumentale attraverso diverse tecniche (laser scanner, fotogrammetria con diversi sensori, riprese da drone, campagna topografica per la georeferenziazione) successivamente integrate in laboratorio. La ridondanza delle informazioni, se da un lato ha appesantito il processo di raccolta dati, dall'altro ha permesso una copertura il più omogenea possibile. La post-produzione del dataset, oltre alla suddetta integrazione, ha previsto una serie di scelte deliberate per mantenere costante la risoluzione e l'accuratezza delle diverse parti del modello, sempre tenendo a mente la vera finalità dell'indagine ovvero quella di analizzare i corpi di fabbrica e interpretare genesi e sviluppo nei secoli.

Il flusso di lavoro adottato per la raccolta e l'elaborazione dei dati digitali è stato sperimentato nel sito della Prima Torre e pubblicato in FERDANI *et al.* 2019. Qui tale approccio è stato migliorato ed esteso a tutti i contesti sopra indicati.

1. Analisi documentaria: prima di iniziare le campagne di rilievo è stata raccolta e vagliata tutta la documentazione più significativa sulle architetture difensive di San Marino. Ci si riferisce non solo alla bibliografia degli studi sopra citata che è stata ampiamente utilizzata al fine di meglio comprendere e contestualizzare gli interventi costruttivi, ma anche alle testimonianze storiche. Di particolare aiuto sono stati i catasti storici, le piante, i sigilli, i dipinti, le vedute, le fotografie, le cartoline e le carte dell'archivio di stato della Repubblica. Questi documenti in molti casi sono stati decisivi non solo per attestare aspetto e stato di conservazione dei manufatti prima dei restauri stilistici, ma soprattutto per determinare il *terminus ante quem* per la data di realizzazione di alcuni interventi nonché finalità e committente.

2. Analisi archeologica delle architetture: durante la campagna è stata effettuata una analisi degli apparati murari al fine di registrare su apposite schede ed

eidotipi le informazioni archeologiche utili alla documentazione e comprensione dei manufatti, quali relazioni stratigrafiche murarie (USM), elementi architettonici, rapporti strutturali tra i corpi di fabbrica e tracce dei cantieri edilizi (buche pontarie, marche di maestranza, tracce degli strumenti, etc.). Tale analisi è stata condotta adottando i metodi elaborati negli ultimi decenni nell'ambito accademico Senese, Genovese e Padovano (tra i principali testi di riferimento si vedano in particolar modo BOATO 2002, 2008; FRANCOVICH, BIANCHI 2002; BROGIOLO, CAGNANA 2012; MANNONI 2021).

3. Rilievo tridimensionale dei manufatti. Il rilievo tridimensionale è stato suddiviso nelle seguenti attività:

- a) Inquadramento topografico: è stata realizzata una rete topografica costituita da una serie di capisaldi architettonici finalizzati all'inquadramento geografico e di target distribuiti in modo omogeneo sulle architetture necessari al controllo dell'accuratezza e alla georeferenziazione dei prodotti del rilevamento fotogrammetrico e laser scanner. Dopo aver realizzato uno schema operativo, si è proceduto con la battuta topografica. In prima istanza sono stati posizionati cinque capisaldi topografici agli estremi dello scavo e successivamente sono stati misurati con un GPS a doppio differenziale in sistema di coordinate WGS84 UTM 32 EPSG 32632 così da poter georiferire il successivo rilievo. In seguito, sono stati applicati sui prospetti i target e rilevati con una stazione totale laser (precisione angolare di 1" di grado) la cui base è stata georiferita e orientata sui punti GPS così da ottenere un rilievo in coordinate assolute. I target a scacchiera avevano vari formati, alcuni molto grandi (formato A4 e A5) in modo da risultare ben leggibili anche da ripresa aerea con drone e sono stati distribuiti in modo omogeneo lungo tutta le superfici murarie.
- b) Rilevamento tridimensionale delle architetture storiche: una volta completato il rilievo topografico è stato condotto il rilievo utilizzando sia tecniche fotogrammetriche che di laser scanning. Essendo la lettura archeologica delle superfici murarie uno degli obiettivi principali, tutte le superfici sono state acquisite con tecniche di fotogrammetria automatica mediante sensori professionali: camera full frame da 20 Mp con ottica fissa a 35 mm per gli scatti terrestri e camera con sensore 1/2.3 da 12 Mp con ottica grandangolare montata su drone per scatti aerei. Tali tecniche sono un'evoluzione della fotogrammetria tradizionale che, integrando algoritmi di computer vision, permettono di estrarre informazioni metriche, elaborare un modello tridimensionale ed ottenere ortofoto, partendo da fotografie digitali. La buona accuratezza e qualità dei risultati e l'automazione dei processi più complessi hanno fatto sì che tale tecnologia sia ormai da diversi anni adottata nella pratica archeologica (DELLEPIANE *et al.* 2013). In alcuni settori, oltre al rilievo fotogrammetrico, è stata realizzata anche una scansione laser al fine di integrare i dati e ottenere modello con

maggior accuratezza metrica sia per integrare il dato fotogrammetrico documentando aree problematiche. Ad esempio, tale approccio è stato particolarmente utile nel rilevamento della cinta esterna della Prima Torre o del Secondo Girone, le quali sono parzialmente nascoste da una fitta vegetazione e dunque impossibili da documentare completamente con la sola fotogrammetria. Il fascio laser è invece riuscito a filtrare attraverso le fronde degli alberi e ha restituito, seppure con lacune dovute alle zone d'ombra, la superficie dei prospetti.

- c) Processamento dei dati: concluse le attività su campo si è proceduto al processamento dei dati acquisiti per sviluppare gli elaborati tridimensionali necessari alla documentazione ed analisi dello stato di fatto e per procedere ad un'analisi comparativa ed interpretativa dei manufatti architettonici (Fig. 3). Tutti i dati fotogrammetrici sono stati elaborati studio mediante ben noti software di fotogrammetria come Agisoft Metashape e 3DFZephyr seguendo un workflow che prevede l'impiego di algoritmi di Structure from Motion (SfM) e multiview stereo (MS) per estrarre nuvole di punti georeferenziate dalle immagini orientate e dai dati topografici. Quando disponibili, sono state preferibilmente utilizzate le nuvole di punti ottenute dalla registrazione delle singole scansioni del rilievo laser scanner e integrate, nelle zone d'ombra (coperture, aree inaccessibili), con le nuvole ottenute dal processamento fotogrammetrico di foto aeree scattate da drone. Le nuvole sono state poi triangolate per ottenere le mesh poligonali, che rappresentano la superficie ed i volumi dei singoli manufatti in uno spazio virtuale. Queste sono state infine parametrizzate e texturizzate sfruttando le informazioni di colore derivate dalle immagini orientate. Il risultato è una replica digitale fotorealistica di ciascun manufatto architettonico. Durante l'elaborazione è stata data particolare attenzione all'ottimizzazione geometrica dei modelli e alla risoluzione e numero delle texture al fine di ottenere una replica digitale ad alto dettaglio da poter impiegare nelle successive attività di analisi ed estrazione di elaborati derivati. Per portare un esempio concreto, si riportano di seguito alcuni dati relativi alla replica digitale della Prima Torre. Si tratta di un modello 3D da 6 milioni di poligoni con un'accuratezza generale di 2 cm, segmentato in 37 elementi (per una miglior gestione in software di visualizzazione 3D) e 120 texture da 4096x4096 pixel che coprono una superficie di circa 7800 m². La risoluzione media complessiva è quindi di 767 triangoli per m² e 2.55 mm rappresentati da un pixel.

Il flusso di lavoro fin qui descritto è scalabile ovvero applicabile al singolo corpo di fabbrica così come a interi complessi architettonici. Nel caso delle cinte murarie, e in particolare quella del Terzo Girone che ha uno sviluppo lineare di oltre 500 m, è stato infatti necessario analizzare i contesti a diverse

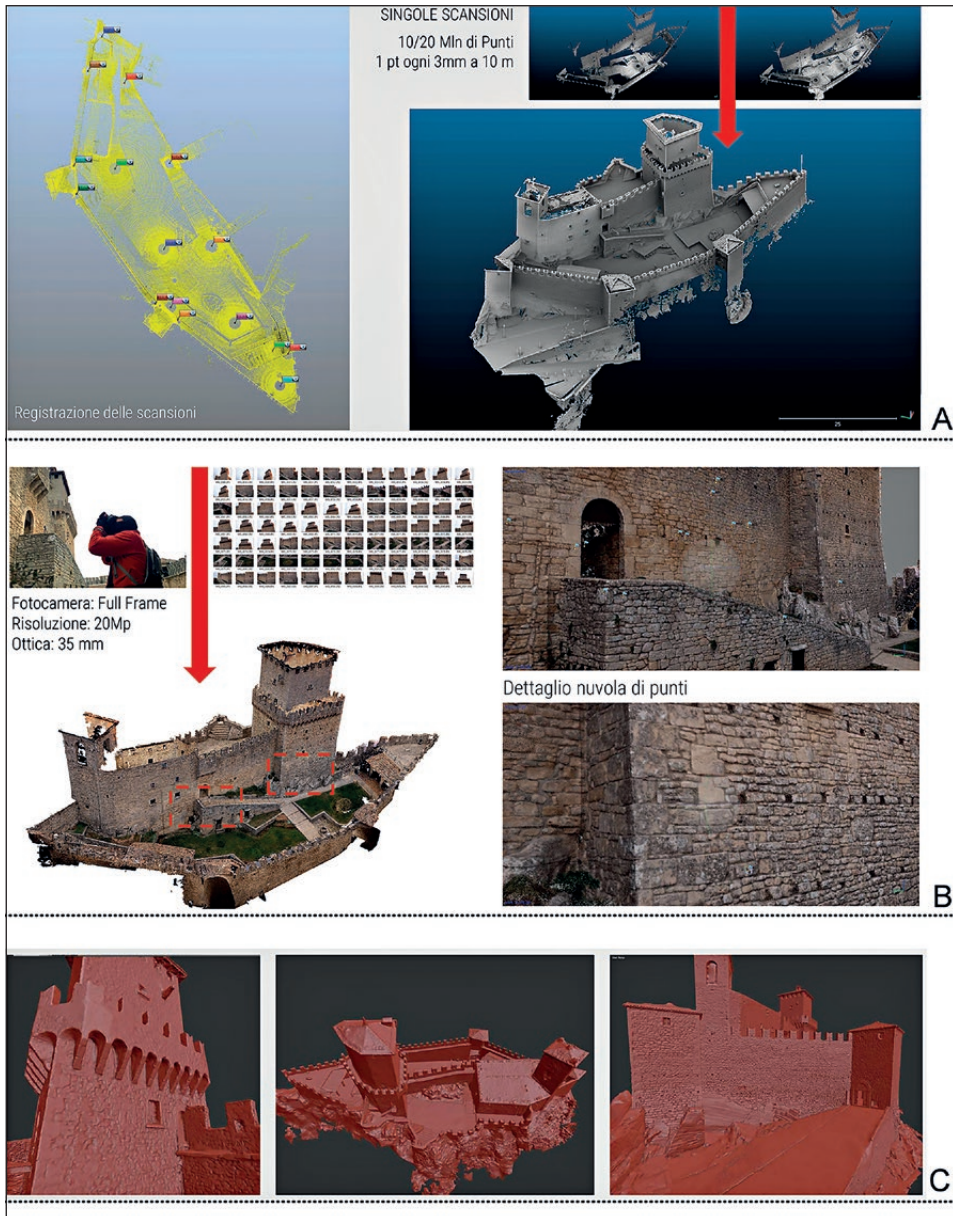


Fig. 3 – Processamento dei modelli 3D dai dati del rilievo della Prima Torre: A) Laser scanning; registrazione delle singole scansioni e calcolo di un'unica nuvola strutturata; B) Fotogrammetria; processamento delle immagini con algoritmi di SFM e MS e ricostruzione della nuvola di punti con informazioni colore RGB; C) Mesh poligonale risultante dalla triangolazione della nuvola di punti (DHiLab - CNR ISPC).

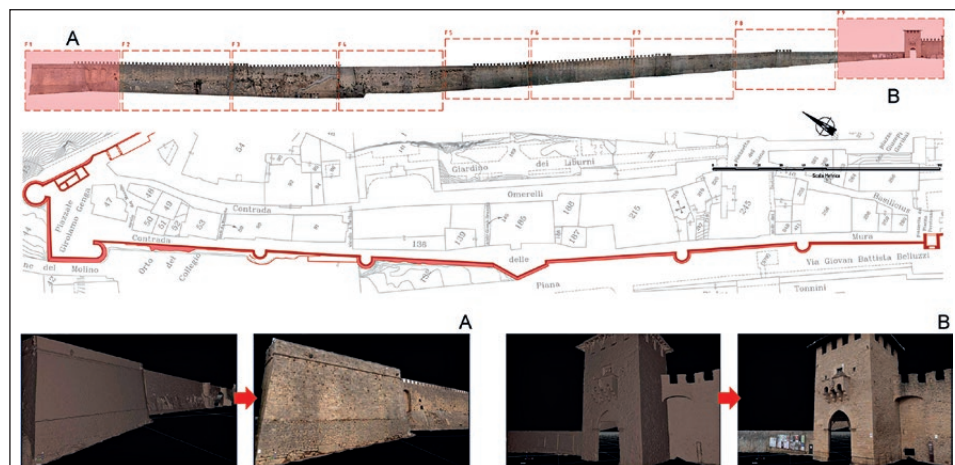


Fig. 4 – Vista generale del tratto occidentale del Terzo Girone ottenuta dal modello 3D. In basso dettaglio (mesh e mesh con texture fotografica) di alcuni modelli di strutture parte del circuito difensivo: A) Baluardo del Molino; B) Porta San Francesco (DHiLab - CNR ISPC).

scale di rappresentazione: dalla piccola scala per studiare i singoli elementi architettonici e le stratigrafie murarie, alla grande scala per analizzare l'articolazione dell'intero complesso ed il suo rapporto col tessuto urbano (Fig. 4).

4. I MODELLI 3D COME STRUMENTO ANALITICO

Terminata la fase di raccolta, elaborazione dei dati da rilievo ed analizzata tutta la documentazione storico-archeologica relativa ai siti oggetto di indagine, si è proceduto all'interpretazione. In questa fase si è fatto largo utilizzo dei modelli 3D per migliorare la lettura e l'interpretazione dei manufatti o per risolvere questioni interpretative non risolvibili con la semplice indagine autoptica.

In questa sezione vengono dunque illustrate le principali applicazioni del 3D come strumento scientifico di supporto all'analisi archeologica.

4.1 *Analisi off-site e lettura stratigrafica*

Sebbene l'analisi autoptica rimanga il metodo più efficace per il riconoscimento e la lettura dei palinsesti stratigrafici, questo non sempre è stato possibile. Come illustrato nel paragrafo precedente, molti paramenti murari sono inaccessibili a causa della morfologia del territorio o per la presenza di ostacoli. Questa situazione li rende non ispezionabili. La semplice fotografia scattata, ad esempio da un drone, è insufficiente a fornire tutte le informazioni necessarie ad una interpretazione soddisfacente. Infatti, non può restituire l'andamento della superficie muraria, evidenziare piccole variazioni della

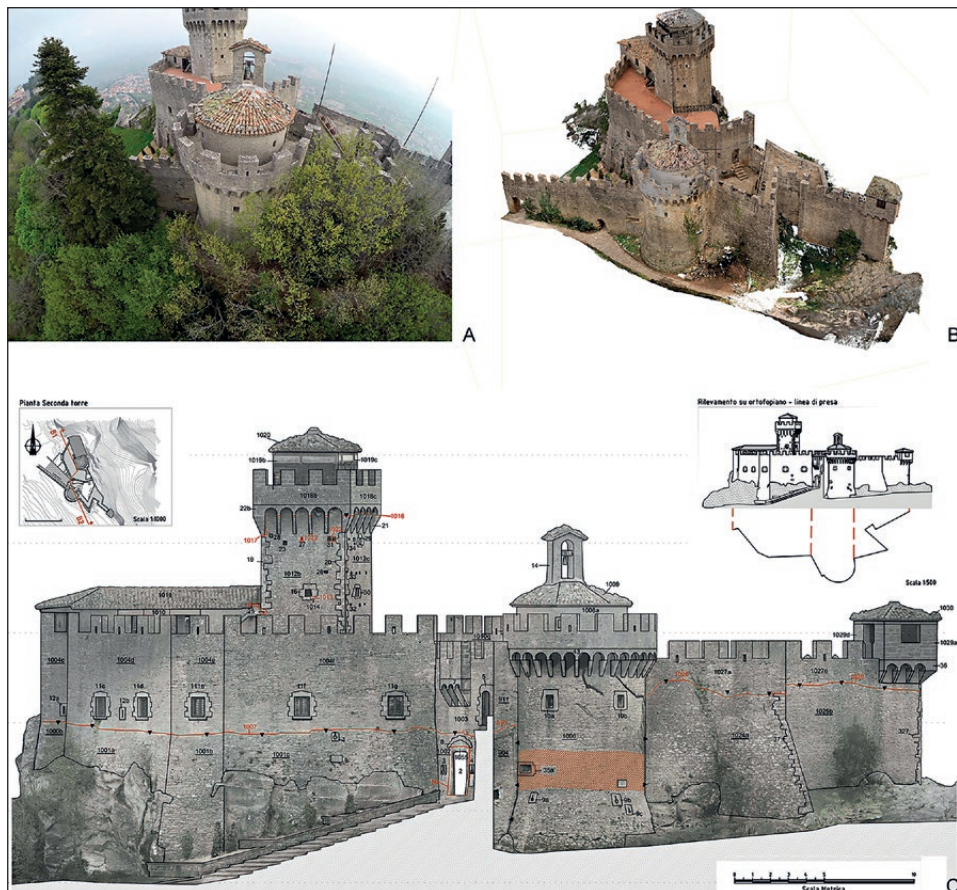


Fig. 5 – A) Stato di fatto della Seconda Torre, caratterizzata dall'inaccessibilità di numerosi tratti murari; B) Modello 3D del complesso architettonico, dopo la rimozione digitale degli ostacoli, usato per l'ispezione delle aree inaccessibili; C) Ortofotopiano del prospetto generale nord-occidentale con mappatura tematica delle stratigrafie archeologiche (DHiLab - CNR ISPC).

topologia (sganciamenti, fuori piombo, presenza di giunti, etc.) e soprattutto non permette di effettuare misure sugli elementi lapidei ed elementi architettonici necessari alla documentazione e al confronto tipologico. Per ovviare a questo problema, si è proceduto ad una lettura della stratigrafia direttamente sul modello 3D per le aree o quote precluse *in situ*.

L'alta risoluzione poligonale dei modelli e il dettaglio delle texture hanno dato la possibilità di leggere i cambi di stratigrafia, basandosi su differenze di forma, dimensione e colore degli elementi coinvolti. Nella Fig. 5 si riporta un chiaro esempio applicativo.



Fig. 6 – Tavola sinottica di Porta San Francesco. A sinistra dall'alto: nuvola di punti e modello 3D con texture fotografica. A destra: ortofoto dei singoli prospetti a confronto e mappatura del palinsesto stratigrafico e delle fasi edilizie (DHILab - CNR ISPC).

Il complesso architettonico è inaccessibile da un lato a causa del dirupo, mentre dall'altra la presenza di vegetazione ad alto fusto preclude l'accesso e la visibilità delle parti superiori. Grazie a scatti inclinati ed effettuati da diverse prospettive con un drone è stato possibile restituire le parti invisibili e rimuovere digitalmente gli ostacoli.

La lettura stratigrafica effettuata in campagna, verificata e integrata in laboratorio con l'analisi delle repliche digitali è stata infine riportata su elaborati grafici. Si tratta di viste assonometriche e ortofotomosaici ad altissima risoluzione (circa 30.000 px) ottenuti direttamente dal modello con apposite procedure di proiezione ortogonale. Essendo privi di distorsioni prospettiche sono stati utilizzati per le operazioni di lettura e rappresentazione dei palinsesti stratigrafici e di misura delle superfici murarie.

In particolare, la realizzazione di viste ortogonali per ciascun prospetto di un corpo di fabbrica ha permesso di produrre tavole sinottiche che ci hanno permesso di effettuare un'ulteriore analisi comparativa tra superfici contigue così da verificare la continuità di stratigrafie o riscontrare eventuali allineamenti nelle buche pontarie o nei piani di posa delle apparecchiature murarie. Nella Fig. 6 si riporta un chiaro esempio dell'utilità di tali elaborati derivati dal modello 3D. Tale approccio è stato utilizzato per confrontare il volume, lo spessore e la tessitura muraria di alcuni corpi di fabbrica come le torri di fiancheggiamento o le porte urbane. Strutture apparentemente simili

e ritenute costruite nello stesso periodo storico hanno mostrato, ad un confronto puntuale, evidenti differenze formali.

4.2 Ricostruzione di prospettive e confronto analitico con le fotografie storiche

Le fotografie storiche rappresentano una testimonianza preziosa per apprezzare lo stato di fatto di un edificio in un determinato momento nel tempo. A San Marino è conservata una grande quantità di fotografie e cartoline datate tra la seconda metà dell'800 e prima metà del '900. Queste sono una testimonianza fondamentale in quanto attestano lo stato di conservazione dei manufatti prima dei restauri. Poiché spesso la lettura stratigrafica non permette un chiaro riconoscimento dei confini, data la natura mimetica degli interventi di ricostruzione, si è deciso di utilizzare tale risorsa per risolvere alcuni dubbi.

La Fig. 7 rappresenta la Prima Torre prima dei restauri di fine '800 e, nella stessa presa prospettica, la nostra replica digitale. Per operare una sovrapposizione di questo documento con lo stato attuale della fabbrica, sarebbe stata necessaria la non semplice attività di scattare una foto analoga con stessa angolatura e impostazioni di camera (sensore, lente, focale, etc.). Ciò è reso impossibile dal fatto che l'evoluzione urbana dell'ultimo secolo ha alterato il tessuto edilizio e certi punti di vista non sono più riproducibili a causa della presenza di ostacoli.

La replica digitale ci permette però di svolgere una attività iterativa di prove ed errori per arrivare a collimare una "camera virtuale" con il documento storico. Questa tecnica impegna un operatore per pochi minuti all'interno di un software di computer grafica, in questo caso Blender, e fornisce una base per confrontare le due viste e trasferire le informazioni stratigrafiche dalla foto alla replica digitale verificando visivamente cosa sia originale e cosa frutto di un restauro stilistico.

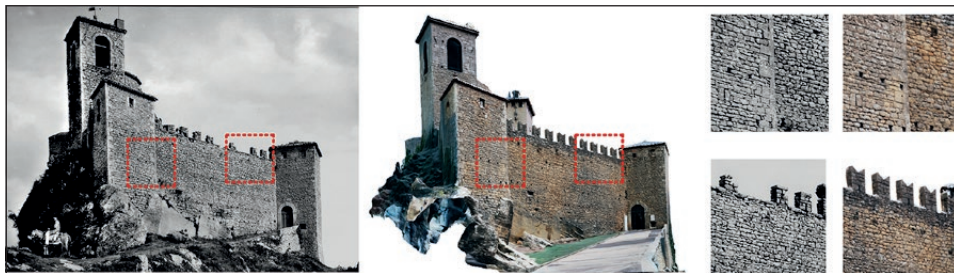


Fig. 7 – A sinistra foto dell'Archivio Alinari di Firenze, ripresa da Rossi 1982 (Prima Torre, 1870-1890 ca.). A destra lo stesso punto di vista ripreso sulla replica digitale e alcuni campioni murari a confronto. Da notare l'assenza della parte superiore della torre della Penna, la diversa sistemazione della strada di accesso e le merlature frammentarie. La torretta di fiancheggiamento e le murature di cinta fino alla quota dei merli non sono state rimaneggiate (DHILab - CNR ISPC).

4.3 Analisi architettonica e configurazionale

Sui corpi di fabbrica è stata effettuata anche un'analisi architettonica e configurazionale, ovvero non basata esclusivamente sui rapporti stratigrafici, talvolta impossibili da individuare, ma anche sulla forma delle strutture, sull'andamento delle superfici, spessori murari, sulla presenza di particolari elementi architettonici e sulla presunzione che alcuni rapporti tra unità funzionali debbano essere obbligatori per motivi strutturali. Sezionando i modelli 3D con specifici strumenti è stato possibile produrre viste "impossibili", come planimetrie a diverse quote, spaccati assonometrici sui quali confrontare superfici interne ed esterne, spessori murari e sviluppo di aperture all'interno dei setti murari, e verificare l'andamento di interfacce stratigrafiche passanti. Di seguito un esempio: sotto il Palazzo del Governo abbiamo rilevato le cosiddette Cisterne del Pianello realizzate nel corso del XV secolo (Fig. 8).

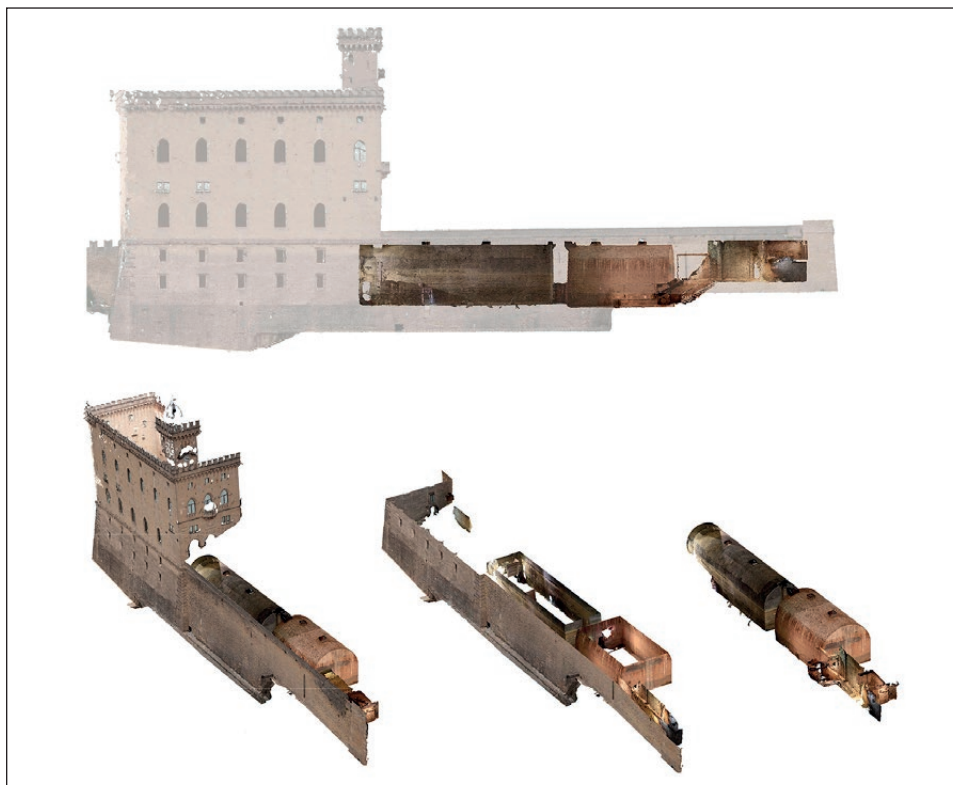


Fig. 8 – Cisterne del Pianello: sezionamento della nuvola di punti per produrre diversi spaccati utili alla comprensione dello spessore ed orientamento dei setti murari nonché al confronto tra prospetti interni ed esterni (DHILab - CNR ISPC).

L'interpretazione di quest'area è piuttosto complessa in quanto le strutture delle cisterne si impostano a ridosso di strutture più antiche che si presume appartenessero al secondo circuito murario, il quale prosegue all'esterno a N dell'intero complesso. La lettura delle murature è continuamente interrotta dalla presenza di vani e superfetazioni moderne. L'unica soluzione per verificare l'andamento delle strutture è stata digitalizzare l'intero complesso così da produrre sia delle viste sinottiche dei prospetti fisicamente lontani, così da confrontarne la tessitura muraria, sia degli spaccati che ci hanno mostrato variazioni degli spessori e degli allineamenti murari.

5. CONCLUSIONI

Il flusso di lavoro costituito da rilievo estensivo e analisi delle fortificazioni urbane e da un'accurata gestione delle fonti ha permesso di ottenere modelli tridimensionali dello stato di fatto e sviluppare elaborati derivati di fondamentale utilità per discutere e verificare le varie ipotesi interpretative attraverso simulazioni e visualizzazioni interattive nell'ambiente digitale. Tale approccio ci ha permesso così di distinguere al meglio non solo quali fossero gli interventi di restauro operati tra XIX e XX secolo, ma anche di comprendere l'evoluzione diacronica per fasi dei singoli manufatti e di poter giungere ad una comprensione globale dello sviluppo urbano dal XIII secolo in poi. Le attività condotte finora si sono concentrate soprattutto sulla raccolta e interpretazione dei dati per ciascun manufatto architettonico.

Al momento sono in corso il confronto e l'analisi dei dati su scala urbana per poter giungere a un'interpretazione globale del sito. Una sfida importante per il futuro sarà quella di strutturare tutte le informazioni all'interno di un modello di conoscenza, ovvero un modello semantico, costruito con processi come l'Heritage Building Information Modeling (H-BIM) (KHALIL, STRAVO-RAVDIS 2019) o l'Extended Matrix (DEMETRESCU 2015), corredato da una banca dati che permetta di strutturare e, soprattutto, evidenziare il rapporto tra le informazioni raccolte e la loro provenienza (ad es., le fotografie storiche o la descrizione dello stato di conservazione delle architetture al momento degli ultimi rilievi). Ciò aiuterebbe inoltre a velocizzare e migliorare i processi di gestione e interrogazione dei dati raccolti direttamente sul modello 3D. Tale intervento, sebbene sia tra i futuri traguardi, non è ancora stato affrontato sia perché gli obiettivi prioritari dell'attuale progetto sono maggiormente orientati agli aspetti analitici del dato archeologico, sia perché le dimensioni e la quantità delle fonti e del dato rilevato da gestire richiederebbero tempi e risorse ingenti ancora da finanziare.

Le indagini fin qui condotte sulle fortificazioni del centro storico di San Marino sono un importante risultato in quanto si tratta dei primi interventi di ricerca strutturati ed estesi all'intero sito e sono in corso di pubblicazione

in un volume che affronterà l'evoluzione urbanistica con maggior dettaglio e presentazione dei dati archeologici. Il lavoro interpretativo, in via di finalizzazione, oltre a restituire identità storica ai manufatti, contribuirà ad arricchire la conoscenza delle architetture fortificate e delle dinamiche evolutive delle fortificazioni urbane non solo a livello locale, ma anche in ambito territoriale romagnolo e montefeltrano/urbinate.

DANIELE FERDANI*, EMANUEL DEMETRESCU
Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale - CNR
daniele.ferdani@cnr.it, emanuel.demetrescu@cnr.it

GIANLUCA BOTTAZZI, PAOLA BIGI
Istituti Culturali, RSM
glbottazzi@gmail.com, paola.bigi@pa.sm

BIBLIOGRAFIA

- AUGENTI A., FIORINI A., MONTANARI M., SERICOLA M., URCIA, A., ZAFFAGNINI, F. 2009, *Archeologia dell'architettura in Emilia-Romagna: primi passi verso un progetto organico*, «Ocnus», 17, 65-76 (<https://disci.unibo.it/it/ricerca/publicazioni-e-attivita-editoriale/riviste/ocnus-quaderni-scuola-specializzazione-beni-archeologici/ocnus-online/volume-17-2009>).
- AUGENTI A., FICARA M., RAVAIOLI E. 2012, *Atlante dei beni archeologici della provincia di Ravenna, I. Il paesaggio monumentale del Medioevo*, Alma Mater Studiorum-Università degli Studi di Bologna Dipartimento di Archeologia.
- BOATO A. 2008, *L'archeologia in architettura*, Venezia, Marsilio.
- BONACINI P. 1994, *L'assetto territoriale di San Marino tra Longobardia e Romania dal Rinascimento al Montefeltro nei secoli VI-X*, in P. BONACINI, G. BOTTAZZI (eds.), *Il territorio sammarinese tra età romana e primo medioevo. Ricerche di topografia e storia*, Quaderni monografici del Centro Studi Storici Sammarinesi, 4, San Marino, Centro di studi storici sammarinesi, 49-134.
- BOTTAZZI G., BIGI P. (eds.) 2008, *Primi insediamenti sul Monte Titano. Scavi e ricerche (1997-2004)*, Firenze, All'Insegna del Giglio.
- BOTTAZZI G., BIGI P. 2013, *Il sito fortificato di Montecerreto*, in G. ALLEGRETTI (ed.), *Acquaviva*, San Marino, Ente Cassa di Faetano, 126-133.
- BROGIOLO G.P. CAGNANA A. 2012, *Archeologia dell'architettura. Metodi e interpretazioni*, Firenze, All'Insegna del Giglio.
- BUSCARINI C. 2012, *Una difficile integrazione*, in G. ALLEGRETTI (ed.), *Serravalle*, San Marino, Ente Cassa di Faetano, 213-222.
- CAMBRINI S. 2012, *Documenti*, in G. ALLEGRETTI (ed.), *Chiesanuova*, San Marino, Ente Cassa di Faetano, 173-190.
- CAMBRINI S. 2013, *Documenti*, in G. ALLEGRETTI (ed.), *Acquaviva*, San Marino, Ente Cassa di Faetano, 238-243.
- COLOSIMO C. (ed.) 2017, *San Marino 1462-1463. I patti di Fossombrone e la bolla di Pio II. Conflitti militari, diplomazia, assetto territoriale e produzione artistica tra Montefeltro e Malatesta nel primo Rinascimento*, San Marino, Ente Cassa di Faetano.
- CONTI M. 2017, *I documenti dei "Patti di Fossombrone" nell'Archivio di Stato della Repubblica di San Marino*, in COLOSIMO 2017, 163-189.

* Corresponding Author.

- DELLEPIANE M., DELL'UNTO N., CALLIERI M., LINDGREN S., SCOPIGNO R. 2013, *Archaeological excavation monitoring using dense stereo matching techniques*, «Journal of Cultural Heritage», 14, 3, 201-210 (<https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.01.011>).
- DEMETRESCU E. 2015, *Archaeological stratigraphy as a formal language for virtual reconstruction. Theory and practice*, «Journal of Archaeological Science», 57, 42-55.
- DEMETRESCU E., D'ANNIBALE E., FERDANI D., FANINI B. 2020, *Digital replica of cultural landscapes: An experimental reality-based workflow to create realistic, interactive open world experiences*, «Journal of Cultural Heritage», 41, 125-141 (<https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.07.018>).
- DI CARPEGNA FALCONIERI T. 2012, *Busignano prima di Chiesanuova*, in G. ALLEGRETTI (ed.), *Chiesanuova*, San Marino, Ente Cassa di Faetano, 127-132.
- FERDANI D., DEMETRESCU E., D'ANNIBALE E., BOTTAZZI G., BIGI P. 2019, *Le fortificazioni del Titano: un progetto di indagine multidisciplinare per la conoscenza e la tutela dell'edilizia medievale sammarinese*, «Archeologia dell'Architettura», 24, 195-215 (<https://doi.org/10.1400/271833>).
- FIORINI A. 2015, *Archeologia dell'architettura in Romagna: la banca dati territoriale*. «Archeologia e Calcolatori», 26, 275-288 (http://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF26/32_Fiorini.pdf).
- FIORINI A. 2018, *An urban archaeological project in Rimini. Preliminary report (2017-2018). The contribution of building archaeology to research and conservation*, «Groma. Documenting archaeology», 1-15 (<https://doi.org/10.12977/groma18>).
- FIORINI A., URCIA A., ARCHETTI V. 2011, *The digital 3D survey as standard documentation of the archaeological stratigraphy*, in *Proceedings of the 12th International Conference on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, Goslar, Eurographics Association, 145-152.
- FORTE M. 2000, *About Virtual Archaeology: Disorders, Cognitive Interactions and Virtuality*, in J.A. BARCELO, M. FORTE, D.H. SANDERS (eds.), *Virtual Reality in Archaeology*, Oxford, BAR International Series 843, 247-259.
- FORTE M., DELL'UNTO N., ISSAVI J., ONSUREZ L., LERCARI N. 2012, *3D archaeology at Catalhöyük*, «International Journal of Heritage in the Digital Era», 1, 3, 351-378 (<https://doi.org/10.1260/2047-4970.1.3.351>).
- FRANCOVICH R., BIANCHI G. 2002, *L'archeologia dell'elevato come archeologia*, «Arqueología de la Arquitectura», 1, 101-111 (<https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2002.9>).
- GIORGETTI D. (ed.) 1994, *Le radici del Titano. Materiali archeologici dal santuario della "Tanaccia" a San Marino*, San Marino, Museo di Stato.
- GOBBI O. 1999, *Risorse e governo dell'ambiente a San Marino tra XV e XIX secolo*, San Marino, Università degli Studi della Repubblica di San Marino.
- GUERRA C., BIGI P., PEDINI D., MULARONI C. 2011, *L'analisi geomorfologica e geologico strutturale a supporto dell'indagine archeologica. L'esempio del santuario romano della Tanaccia nella repubblica di San Marino*, in *Scritti, Studi e Ricerche di Storia Naturale della Repubblica di San Marino*, III, San Marino, Centro Naturalistico Sammarinese, 321-329.
- HERMON S., NIKODEM J. 2007, *3D Modelling as a Scientific Research Tool in Archaeology*, in A. POSLUSCHNY, K. LAMBERS, I. HERZOG (eds.), *Layers of Perception. Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (Berlin 2007)*, Bonn, Habelt Verlag, 1-6.
- KHALIL A., STRAVORAVDIS S. 2019, *H-BIM and the domains of data investigations of heritage buildings current state of the art*, in *2nd International Conference of Geomatics and Restoration, GEORES 2019 (Milano 2019)*, «International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», 42, W11, 661-667.
- LANDESCHI G., DELL'UNTO N., LUNDQVIST K., FERDANI D., CAMPANARO D.M., TOUATI A.M.L. 2016, *3D-GIS as a platform for visual analysis: Investigating a Pompeian house*, «Journal of Archaeological Science», 65, 103-113 (<https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.11.002>).
- LOMBARDI F.V. 1976, *La bolla di Onorio II a Pietro Vescovo di Montefeltro (anno 1125)*, «Studi Montefeltrani», 4, 55-99.

- LOMBARDI F.V. 2017, *La progressiva espansione territoriale di San Marino prima dell'assetto definitivo del 1463*, in C. COLOSIMO (ed.), *San Marino 1462-1463. I patti di Fossombrone e la bolla di Pio II. Conflitti militari, diplomazia, assetto territoriale e produzione artistica tra Montefeltro e Malatesta nel primo Rinascimento*, San Marino, Ente Cassa di Faetano, 31-61.
- MANNONI T. (ed.) 2021, *Caratteri costruttivi dell'edilizia storica*, III, Firenze, All'Insegna del Giglio.
- MANNONI T., BOATO A. 2002, *Archeologia e storia del cantiere da costruzione*, «Arqueología de la Arquitectura», 1, 39-53 (<https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2002.5>).
- MORGANTI L.M. 2001, *Il patrimonio dello Stato. L'architettura storica della Repubblica di San Marino*, San Marino, Aiop.
- MORGANTI L.M. (ed.) 2018, *Gino Zani: l'ingegnere, l'architetto, lo storico*, Collana Sammarinese di Studi Storici, 42, San Marino, Bookstones Edizioni Soc. Coop. a r.l.
- PASINI P.G. 2005, *La rocca*, in P.G. PASINI (ed.), *La rocca ritrovata. Indagini, scoperte e restauri nella casermetta della Prima Torre*, San Marino, Museo di Stato, 11-20.
- PIERUCCI C., POLVERARI A. (eds.) 1972, *Carte di Fonte Avellana*, Roma, Edizioni di Storia e Letteratura.
- REMONDINO F., CAMPANA S. 2014, *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage. Theory and Best Practices*, Oxford, BAR International Series, 2598.
- ROSSI G. 1982, *San Marino nelle vecchie fotografie. Lettura del paese attraverso le immagini, ambiente e costumi del passato*, Bologna, La Fotocromo Emiliana.
- ROSSI G. 2015, *Gino Zani, ingegnere, 1882-1964*, Busto Arsizio, Centro Sammarinese di Studi Storici.
- SACCO D., TOSARELLI A. 2016, *La Fortezza di Montefeltro. San Leo: processi di trasformazione, archeologia dell'architettura e restauri storici*, Firenze, All'Insegna del Giglio.
- SASSI M. 2005, *Castelli in Romagna. L'incastellamento tra X e XII secolo nelle province romagnole e nel Montefeltro*, Cesena, Il Ponte Vecchio.
- SETTIA A.A. 2007, *L'incastellamento in Romagna-Montefeltro e le concordanze "padane"*, «Studi montefeltrani», 29, 7-18.
- VALENTI D. 2008, *La cultura altomedievale nel Montefeltro*, San Leo, Società di studi storici per il Montefeltro.
- ZANI G. 1933, *Le fortificazioni del Monte Titano*, Napoli, Istituto Arti Grafiche G. Rispoli.
- ZUBROW E.B.W. 2006, *Digital archaeology*, in P. DALY, T.L. EVANS (eds.), *Digital Archaeology. Bridging Method and Theory*, London, Routledge, 10-31.
- ZUCCONI G. 1992, *Gino Zani la rifabbrica di San Marino 1925-1943*, Venezia, Arsenale.

ABSTRACT

The archaeology of standing buildings and archaeological survey are the essential prerequisite to properly investigate and interpret the evolution of historical buildings. Technological advances in recent years have led to an improvement in the methodologies and tools for three-dimensional survey and data analysis. However, so far, many of these tools and methods are not fully integrated in the archaeological practice, and their potential is only partially exploited. In some cases, technology becomes the goal and not the tool to answer research questions. Often, its implementation is only limited to documentation, while the analytical contribution is ignored. The article illustrates a method already well established in the research activities of the DHILab laboratory of the CNR ISPC, which makes use of three-dimensional survey and visualization techniques as support tools for the analysis and interpretation of the medieval fortification of San Marino, including the three Towers and the city walls. The aim is to solve interpretative issues and answer complex research questions in order to better document and analyse the urban context and to reconstruct its architectural evolution in the late medieval and post-medieval periods.