



Processi di transizione digitale per i musei: il Palazzo Ducale di Urbino nel progetto CIVITAS

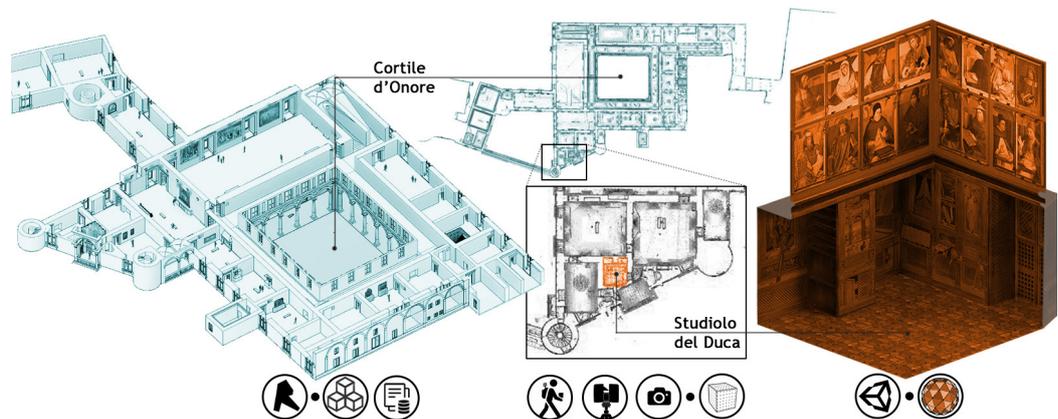
Ramona Quattrini
Romina Nespeca
Renato Angeloni
Mirco D'Alessio

Abstract

Il presente contributo si inserisce nell'ambito della transizione digitale applicata ai musei, illustrando gli esiti di alcune delle esperienze sviluppate all'interno del progetto di ricerca interdipartimentale CIVITAS. Gli approcci discussi mirano in particolare alla messa a punto di buone pratiche che siano in grado di contemperare i 'contenuti', le opere d'arte esposte, e il 'contenitore', ovvero l'edificio che le ospita. Caso di studio esemplare: il Palazzo Ducale di Urbino, uno dei più rilevanti complessi storico-architettonici del Rinascimento italiano, oggi sede della Galleria Nazionale delle Marche. A partire dalla sua digitalizzazione, multi-scala e multi-sensore, sono quindi descritti gli esiti dei processi di modellazione informata, finalizzata al supporto della gestione delle opere d'arte e degli spazi espositivi, e di fruizione virtuale di uno dei suoi spazi più rappresentativi: lo Studiolo del Duca.

Parole chiave

transizione digitale, rilievo integrato, HBIM, gestione dati museali, realtà virtuale



Nell'ambito del progetto CIVITAS, la rappresentazione digitale è investigata come strumento per la transizione digitale di musei e luoghi della cultura. Il presente contributo ne descrive in particolare l'utilizzo nei processi di gestione e di fruizione del Palazzo Ducale di Urbino.

Introduzione

La transizione digitale ha generato in vari settori un efficientamento dei processi di governance, sia in termini di quantità che di qualità. Anche in ambito culturale l'adozione di nuove tecnologie rappresenta oggi una delle maggiori sfide/opportunità, che le Istituzioni museali stanno affrontando prevalentemente mediante azioni di digitalizzazione, incremento della visibilità online e gestione digitale delle loro collezioni. Ancora troppo diffusa è però la mancanza di un approccio interdisciplinare che, coinvolgendo diversi ambiti, possa permettere la definizione di strategie digitali efficienti, con priorità definite e senza spreco di risorse. In questo scenario, dove l'interazione tra diversi saperi gioca evidentemente un ruolo cruciale, si inserisce il progetto di ricerca interdipartimentale CIVITAS [Clini et al. 2020] con l'obiettivo di far progredire le metodologie di digitalizzazione, gestione e condivisione di dati in ambito culturale. Caso di studio esemplare: il Palazzo Ducale di Urbino, uno tra i più interessanti esempi artistico-architettonici del Rinascimento italiano, oggi sede della Galleria Nazionale delle Marche [Polichetti 1985].

L'edificio, descritto come "città in forma di palazzo", secondo la nota definizione del celebre umanista Baldassare Castiglione [Castiglione 1987], fu costruito in più fasi a partire dalla seconda metà del '400. I lavori, avviati per volere del Duca Federico da Montefeltro nel 1454, furono diretti a partire dal 1464 dall'architetto dalmata Luciano Laurana a cui si deve la realizzazione della celebre facciata dei Torricini, del Cortile e di alcuni degli spazi del piano nobile che più caratterizzano l'intero edificio. Tra questi l'Appartamento del Duca di cui fanno parte la Sala degli Angeli, nome dovuto al maestoso camino opera di Domenico Rosselli, e lo straordinario Studio di Federico, con pareti rivestite da preziose tarsie lignee e dai ritratti degli Uomini Illustri. Il presente contributo discute quindi in particolare gli esiti del progetto CIVITAS legati alle sfide della digitalizzazione per una rappresentazione multi-scala a supporto dei processi di gestione, tramite la modellazione informata di opere d'arte e spazi espositivi, e di fruizione, mediante soluzioni di *eXtended Reality* (XR).

Documentare museo e collezioni: la rappresentazione multi-scala

Lo stato dell'arte sull'elaborazione di repliche digitali risulta sufficientemente solido riguardo lo sviluppo di procedure di acquisizione integrata che garantiscano un'accurata rappresentazione sia dal punto di vista geometrico che in termini di fedeltà e calibrazione del colore. Ma la documentazione digitale di ambienti molto estesi, con elevata complessità, ricchi di dettagli e spesso con difficili condizioni di illuminazione ambientale, resta ancora un compito sfidante, nonostante il notevole incremento delle soluzioni tecnologiche [Balletti et al. 2015; Clini et al. 2015; Giandebiaggi et al. 2015].

La digitalizzazione scientifica di un edificio complesso come il Palazzo Ducale di Urbino richiede necessariamente l'applicazione di una strategia integrata, multi-strumentale, multi-livello e multi-temporale. Una prima acquisizione di massima, principalmente degli spazi esterni, è stata condotta con un sistema a scansione mobile (MLS) tramite lo strumento Pegasus Leica Geosystems (uno zaino dotato di 2 profilometri laser, 5 fotocamere, un ricevitore GNSS e un INS a 200 Hz di frequenza, con sistema di localizzazione e mappatura simultanea SLAM). La notevole velocità in campagna ha prodotto un primo modello 3D con un basso livello di dettaglio (LoD), classificabile in ambito BIM come LOG C (UNI 11337-4:2017), come considerato anche in altri lavori [Castagnetti et al. 2016]. Questa documentazione massiccia e veloce ha costituito lo scheletro per l'integrazione delle altre acquisizioni con sistemi di scansione laser terrestri (Terrestrial Laser Scanner, TLS) e tecniche fotogrammetriche (*Structure from Motion*, SfM) (fig. 1).

In particolare, sono state eseguite 256 scansioni con l'uso simultaneo di due TLS (Leica ScanStation C10 e Leica ScanStation P40), impostando diversi livelli di risoluzione in base alla complessità delle sale e dei loro elementi decorativi (tab. 1). Un'acquisizione dedicata, che verrà spiegata nel seguito, ha richiesto il prezioso spazio dello Studiolo del Duca.

Anche l'acquisizione fotografica delle panoramiche sferiche ha previsto un approccio multi-risoluzione, in cui, per gli ambienti più ricchi di dettagli, è stata utilizzata una fotocamera reflex

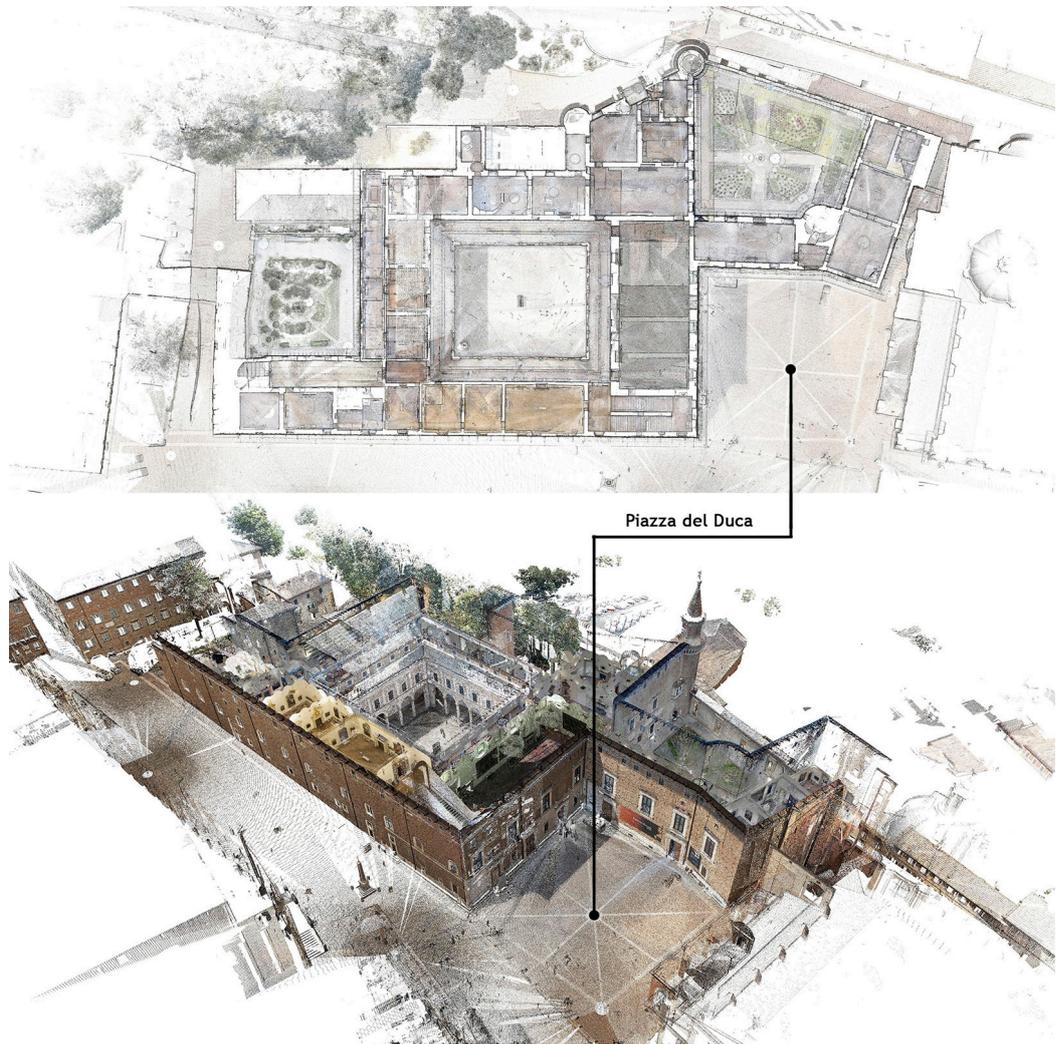


Fig. 1. Nuvola di punti del Palazzo Ducale di Urbino. Sezione orizzontale alla quota del piano nobile e vista prospettica dell'intero complesso.

	<i>Backpack Pegasus</i>	<i>TLS P40</i>	<i>TLS C10</i>
<u>Tecnologia</u>	SLAM, IMU, GNSS, 2x profilometri laser, 5x fotocamere	Laser ibrido, fotocamera	Laser a tempo di volo, fotocamera
<u>Campo di ripresa</u>	Profile + trajectory	Full dome 360x300	Full dome 360x270
<u>Accuratezza</u>	10 cm	2 mm	4 mm
<u>Velocità</u>	600k punti/sec	1mln punti/sec	500k punti/sec
<u>Distanza max</u>	50 m	270 m	300 m
<u>Risoluzione di scansione (utilizzata)</u>	Non impostata	3 mm@10m 6 mm@10m 12mm@10m	1cm@10m
<u>Tempo di acquisizione (correlato alla risoluzione)</u>	1 ora (spazi esterni e sale espositive al piano nobile)	4 min / 2 min / 1 min (singola scansione)	6 min (singola scansione)
<u>Elaborazione dati</u>	Lento, ma registrazione automatica	Veloce, ma registrazione manuale	Veloce, ma registrazione manuale

Tab. 1. Confronto tra gli strumenti laser scanner utilizzati, il mobile e il sistema statico. Nespeca 2018.

con focale 18 mm montata su testa panoramica, ottenendo immagini con risoluzione pari a 16384 x 8192 px, mentre per gli ambienti più scarni, è stato utilizzato un obiettivo fisheye con focale 8 mm (ris. panoramica 8192 x 4096 px) oppure una fotocamera a 360° iStar NCTech (ris. Panoramica 5656 x 2828 px), che hanno consentito di ridurre notevolmente i tempi. Nel particolare caso dello Studiolo del Duca, di considerevole pregio, planimetricamente raccolto, ma di notevole sviluppo in alzata, l'acquisizione SfM ha seguito una procedura sperimentale differenziata su 4 livelli: pavimentazione, tarsie lignee, ritratti degli Uomini Illustri e soffitto a lacunari. Per la pavimentazione sono stati realizzati degli scatti direzionati dal peri-

metro verso il centro della stanza, garantendo condizioni di luce diffusa in grado di ridurre i riflessi sulla cera lucida. Per le tarsie lignee, superfici altamente riflettenti, non adeguatamente fotografabili con illuminazione naturale o artificiale 'tradizionale', è stato applicato un sistema di luce polarizzata tale da limitare o eliminare del tutto l'effetto della riflessione, di ostacolo sia alla ricostruzione 3D sia alla mappatura del modello (fig. 2).

Il sistema era costituito da due lampade LED schermate con filtro polarizzatore lineare, posizionate su una barra orizzontale ai lati della fotocamera, con un'inclinazione di 45° rispetto alla superficie da acquisire, e un filtro polarizzatore regolabile, montato sull'obiettivo. In totale si sono realizzati 283 scatti a 1 m di distanza dalla parete, con una distanza focale fissa di 24 mm e una *Ground Sampling Distance* (GSD) inferiore a 0,4 mm. Quindi, gli scatti sono stati elaborati su differenti *chunk* in base alla parete inquadrata, poi allineati e scalati sul sistema di riferimento del modello ottenuto da TLS. I ritratti degli Uomini Illustri sono stati invece acquisiti ciascuno con un singolo scatto frontale, con un'asta telescopica per portare la fotocamera alla quota dei dipinti. Canonica, invece, l'acquisizione del soffitto a lacunari con cavalletto ad altezza uomo e una GSD di 10 mm, sufficiente agli scopi [Clini et al. 2020].



Fig. 2. Tarsie lignee dello Studiolo del Duca. Immagine acquisita con sistema d'illuminazione a luce polarizzata e a luce diffusa.

Modellare la conoscenza: museum building information modeling

A fronte della crescente possibilità di acquisire dati morfometrici accurati con enormi velocità, si è affermata da parte delle istituzioni culturali una necessità di gestire in maniera coordinata e complessa i dati tridimensionali e quelli diagnostici, di analisi storica e conoscenza tecnico-costruttiva. Tale necessità è stata sicuramente supportata dagli sviluppi in ambito di *Heritage Building Information Modeling* (HBIM), che da più di un decennio costituisce una linea di ricerca proficua. La maggior parte degli studi in tale ambito si sono concentrati inizialmente sulla sfida di rappresentare con affidabilità e accuratezza i dati di rilievo nelle piattaforme BIM [López et al. 2018]. Ad oggi le tendenze tecnologiche più interessanti sono costituiti dall'incontro tra i processi Scan2BIM e le potenzialità della Intelligenza Artificiale [Croce et al. 2021; Morbidoni et al. 2020]. Inoltre, il panorama si è sempre più specializzato, anche in virtù della normativa che in diversi Paesi europei prevede processi di lavoro BIM-based [Charef et al. 2019]. Nel caso di edifici monumentali che ospitano istituzioni museali è emersa la necessità di affiancare esigenze di catalogazione delle collezioni. Si sta consolidando una linea di ricerca

definita *Museum Building Information Modeling* (MBIM), di cui anche l'applicazione qui presentata fa parte: fine ultimo è supportare la gestione dei musei, secondo le linee guida nazionali e internazionali, contemperando il rapporto contenitore/contenuto che è essenziale per la conservazione delle opere d'arte ma anche per la corretta musealizzazione [Lo Turco et al. 2019; Tucci et al. 2019].

Il lavoro di modellazione semantica e informata sviluppato per il Palazzo Ducale di Urbino e la Galleria Nazionale delle Marche si è posto quindi come obiettivo principale la realizzazione di un modello HBIM consapevole della sua natura di museo e informato di tutte le regole rinascimentali, includendo una parametrizzazione intelligente degli oggetti, una catalogazione dei contenuti per perseguire la gestione/conservazione delle collezioni e infine verificando le possibilità di utilizzare il modello con tecnologie XR. Per mettere alla prova il flusso di lavoro, si sono sviluppate famiglie con alto Livello di Dettaglio (LoD) e alto Livello di Informazione (LoI). All'interno del progetto CIVITAS ha quindi costituito un'esemplificazione in cui testare un complesso *data enrichment* specificamente progettato per le opere d'arte della galleria, in linea con le normative nazionali e le buone pratiche internazionali.

Il modello è stato creato, come è opportuno in casi così articolati, per step successivi: il primo nucleo modellato è stato quello del Cortile del Laurana: sulla scorta di approcci noti [Aubin, Milburn 2013], si è operata una modellazione parametrica, generando librerie con 3 LoD e implementando le regole del canone rinascimentale, come suggerito nel proemio del Vignola "ogni mediocre ingegno, purché abbia alquanto di gusto dell'arte, potrà in un'occhiata sola senza gran fastidio di leggere comprendere il tutto e opportunamente servirsene" [Barozzi da Vignola 1563]. Il successivo step ha invece riguardato la modellazione di tutto il Piano Nobile del Palazzo con l'inserimento di un catalogo dei dipinti direttamente nell'ambiente Revit, localizzandoli negli appartamenti (fig. 3).

Autore	Immagine	Tecnica e materiale	Datazione	Dimensioni	N° inventario	Stanza	Appartamento	Bacchetta	Umidità	Temp max	Temp min	UR max (%)	UR min (%)	AT	GR	OM	10 maggio 2002
Caravaggio	36 - La c...	Tempera su tavola	tra il 1420 e il 1450	87 x 72,29 x 4 cm	inv. 006	Appartamento degli			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Piero della Francesca	03 - Pie...	Olio e tempera su l...	lettera decennio del XV	145x51,3cm	inv. 003	Appartamento degli			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Piero della Francesca	03 - Pie...	Tempera su tavola	1455	58,4x41,5 cm	inv. DE 229 / 003	Appartamento degli			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Reginaldo Giulio Lupi (1790)		Intarsi legno e Avori	tra il 1654 e il 1656	73x37x45cm	inv. 1160 N.20.04	Appartamento degli			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm	inv. 017	Appartamento del D			50 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4		https://www.be...
Benvenuto Tisi (Garofino)	03 - Piero della Francesca Madonna di Senigallia.jpg	tempera di Giorgio W.P.	tra il 1473 e il 1476	156 x 106cm													

Anche in questo caso naturalmente la necessità di rispettare la grammatica rinascimentale ha costituito un focus, con la realizzazione di murature, porte, finestre, volte, pavimentazioni, accuratamente parametrizzati sfruttando le potenzialità del software (fig. 4).

D'altro canto, però la modellazione parametrica si è dimostrata inaffidabile per la rappresentazione di tutte le peculiarità dell'edificio, come dimostrato ad esempio dai camini o dal livello decorativo delle porte: per questo si è implementata una filiera ibrida che permettesse di inserire elementi di rilievo provenienti da SfM. A valle delle numerose problematiche computazionali [Ferretti et al. 2022], alcuni test per lo sviluppo di applicazioni immersive e di *Mixed Reality* "per la Sala degli Angeli" hanno mostrato primi risultati parzialmente soddisfacenti dal punto di vista della ricchezza delle informazioni mentre, dal punto di vista della resa visuale, sicuramente al di sotto degli esiti ottenibili con filiere dedicate (fig. 5).

L'esperienza del facsimile digitale: il patrimonio è sempre più ubiquo

Le repliche digitali costituiscono una delle innovazioni più promettenti nell'ambito della fruizione del Patrimonio Culturale museale [Apollonio et al. 2021]. Sfruttando gli strumenti offerti dalla XR, permettono infatti di abilitare nuove forme di interazione in sito e da remoto, generando ambienti virtuali in cui "immergere" il visitatore in una narrazione interattiva di luoghi e oggetti (*Interactive Thematic Virtual Environments*, ITVE) [Bozzelli et al. 2019]. La qualità della rappresentazione offerta dalla sua replica digitale insieme all'efficacia delle interazioni proposte per la sua narrazione sono dunque fondamentali per garantire un'adeguata fruizio-

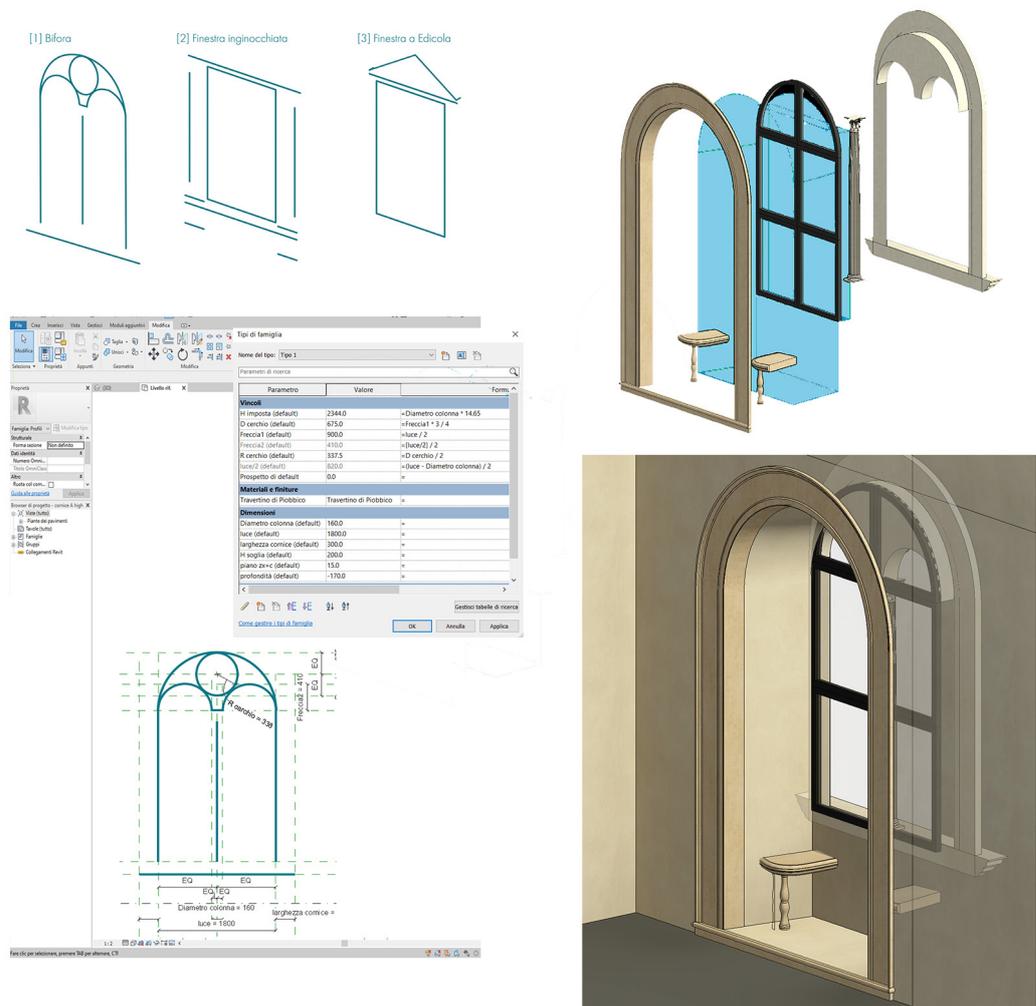


Fig. 4. Modellazione parametrica delle famiglie relative alle finestre di Palazzo Ducale di Urbino.

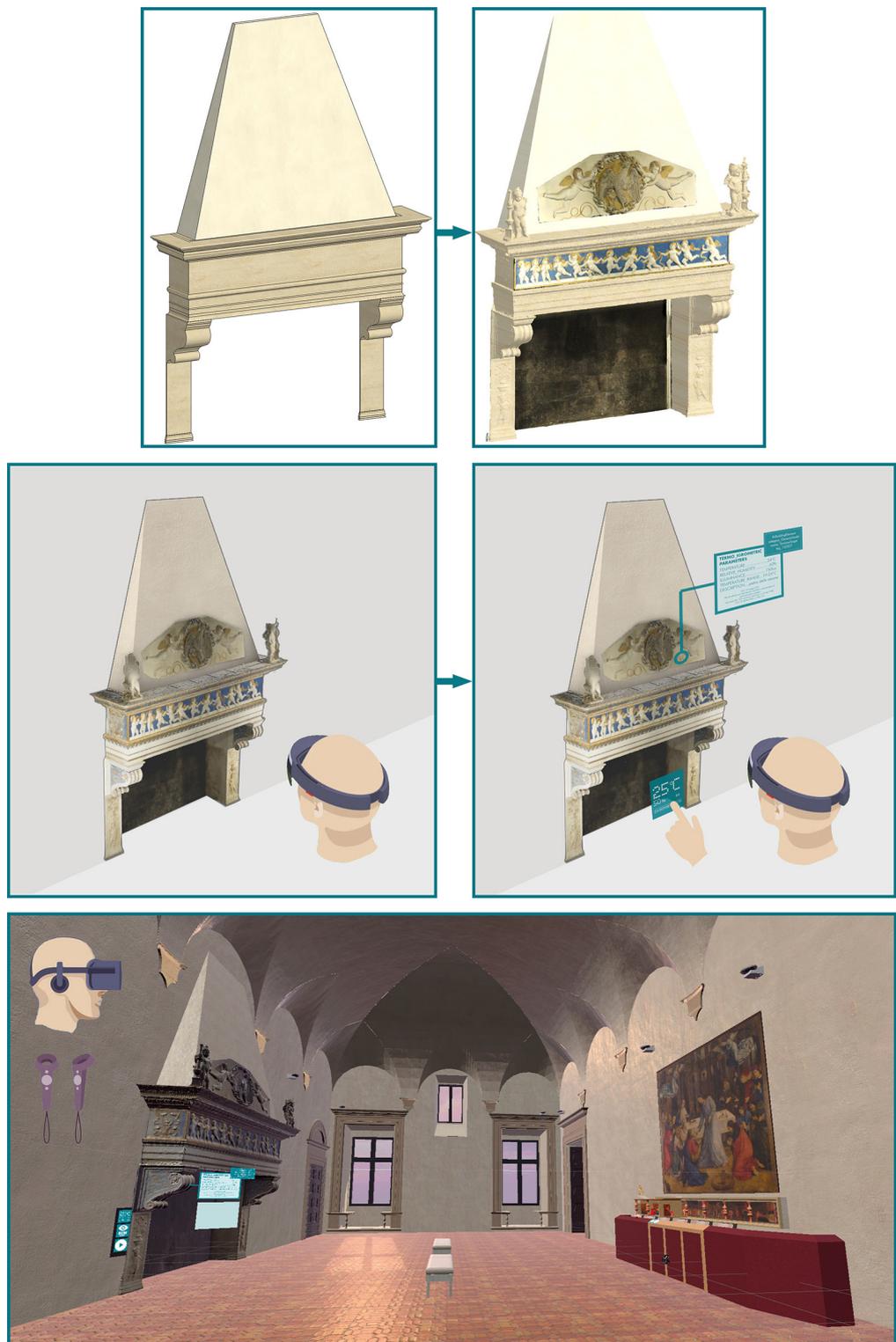


Fig. 5. Il Camino della Sala degli Angeli: in alto i 2 livelli di sviluppo, High in Revit e LOD G grazie all'inserimento di superfici ottenute da fotogrammetria, al centro esemplificazione di esperienza MR con Hololens per la gestione del museo. In basso visualizzazione in VR della Sala.

ne del Patrimonio Culturale [Angeloni 2023], da valutare, come ogni altro tipo di esperienza museale, non tanto sul numero di utenti che ne fruiscono, ma sul numero di quelli a cui ha insegnato qualcosa [Rivière et al. 1989].

Il primo passo nello sviluppo di un'esperienza di fruizione virtuale per lo Studiolo di Federico da Montefeltro è stata dunque l'elaborazione di una sua replica digitale a partire dai dati del rilievo tridimensionale. La nuvola di punti ottenuta dall'allineamento delle scansioni laser è

stata segmentata in quattro parti rispettivamente relative alla pavimentazione, alle tarsie lignee, ai ritratti degli Uomini Illustri e al soffitto a lacunari dorati. I modelli mesh ottenuti in maniera automatica sono stati quindi editati eliminando errori topologici e semplificandone la geometria: la pavimentazione è stata approssimata ad un singolo piano, mentre le tarsie lignee e il soffitto sono stati ottimizzati riducendone in maniera sostanziale il numero di poligoni tramite il processo di *retopology*. Presentando la sua ricostruzione automatica diverse criticità, il livello degli Uomini Illustri è stato invece manualmente modellato, sempre sulla base dei dati metrici della nuvola di punti. Allineate e orientate nel medesimo sistema di riferimento dei modelli tridimensionali, le immagini delle tarsie lignee e quelle relative al soffitto sono state utilizzate per la texturizzazione dei rispettivi modelli. Per la pavimentazione e il livello degli Uomini Illustri si sono invece realizzati dei materiali basati su mappe procedurali e su singoli scatti fotografici acquisiti per ciascuno dei ventotto ritratti (fig. 6). Tale replica digitale è stata quindi resa fruibile tramite visore VR, andando a generare un'ITVE caratterizzato da interazioni volte a svelare i significati nascosti nelle rappresentazioni presenti

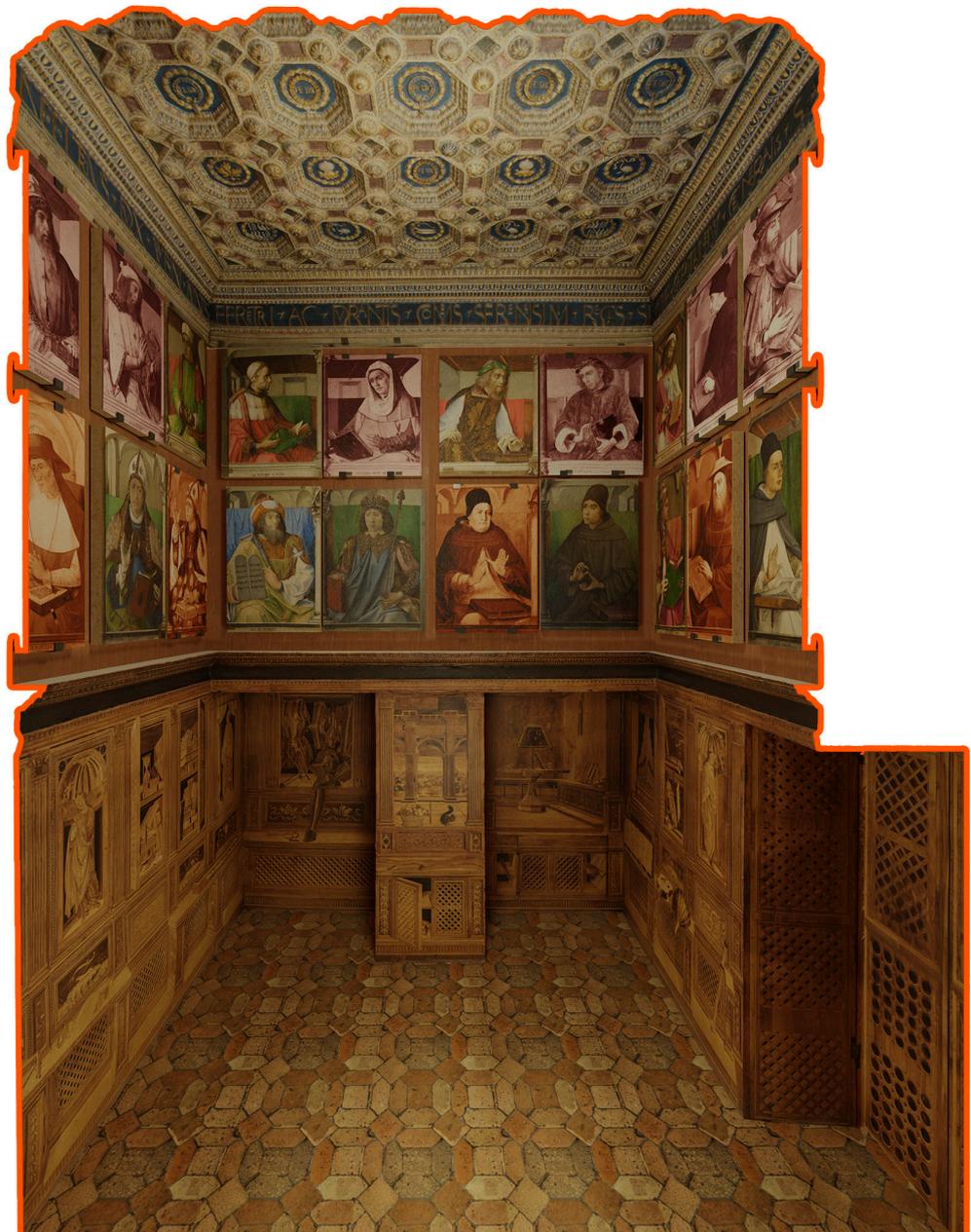


Fig. 6. Sezione prospettica della replica digitale elaborata per l'esperienza virtuale dello Studiolo del Duca di Urbino.

sulle pareti dello Studiolo. Immergendosi in questo ambiente virtuale il visitatore è accolto da un audio che offre una prima introduzione di carattere generale sul tipo architettonico dello studiolo rinascimentale e sul suo altissimo valore simbolico. L'utente può quindi muoversi liberamente nello spazio e, tramite l'utilizzo delle mani, richiamare in maniera intuitiva contenuti dedicati alle figure allegoriche intarsiate nel legno e ai ritratti dei 28 Uomini Illustri (fig. 7). Al fine di comprendere l'efficacia dell'ITVE sviluppato, è stato quindi condotto un test di valutazione dell'esperienza utente partendo dai quattro ambiti dell'esperienza teorizzati in [Pine, Gil-



Fig. 7. Schematizzazione dell'interazione prevista per l'esperienza VR: l'utente, tramite l'utilizzo dei controller, può richiamare contenuti audio e schede di approfondimento relative alle raffigurazioni presenti sulle pareti dello Studiolo.

Domande	
<i>Apprendimento</i>	1.1 L'esperienza ha stimolato la mia curiosità rispetto al tema trattato.
	1.2 L'esperienza ha accresciuto le mie conoscenze rispetto al tema trattato.
	1.3 Le informazioni sono state fornite in maniera chiara.
<i>Intrattenimento</i>	2.1 L'esperienza è stata divertente.
	2.2 L'esperienza è stata emotivamente coinvolgente.
	2.3 Vorrei sperimentare altre esperienze analoghe.
<i>Immersività</i>	3.1 Durante l'esperienza ho perso il senso del tempo.
	3.2 Durante l'esperienza ho perso il senso dello spazio.
	3.3 Durante l'esperienza mi sono sentito completamente immerso nel mondo virtuale.
<i>Estetica</i>	4.1 La riproduzione virtuale era fedele all'oggetto reale.
	4.2 L'utilizzo dei dispositivi tecnologici non ha compromesso l'autenticità dell'esperienza.
	4.3 L'esperienza virtuale è stata migliore di quella reale.

Tab. 2. Questionario di gradimento.

more 1998], già applicati all'ambito museale in [Radder 2015], e qui declinati in maniera specifica per un'esperienza di VR: apprendimento, intrattenimento, immersività ed estetica (tab. 2). I risultati ottenuti da un campione di persone che avevano già fisicamente visitato lo Studiolo del Duca di Urbino evidenziano l'efficacia della rappresentazione offerta dalla replica digitale, in grado di riprodurre fedelmente lo spazio architettonico e i dettagli delle decorazioni. Dal punto di vista educativo i punteggi dimostrano come l'esperienza virtuale stimoli inoltre la curiosità dell'utente, offrendo la possibilità di veicolare contenuti didattici con diversi gradi di approfondimento. Infine, rispetto all'ambito dell'evasione e a quello estetico, va sottolineato come il successo dell'esperienza proposta sia stato aiutato dalle ridotte dimensioni dello Studiolo, che hanno permesso di lasciare piena libertà al movimento naturale dell'utente, senza la necessità di prevedere una simulazione virtuale dello spostamento mediante la funzione di teletrasporto o similari.

Conclusioni

Nel presente contributo sono state descritte tre applicazioni esemplificative di altrettante azioni fondamentali nell'articolato processo di transizione digitale di un museo: si è dunque analizzata la fase di documentazione, tridimensionale e multi-scala, quella di modellazione informata, propeedeutica alla gestione, e, infine, quella di generazione di un'esperienza di fruizione virtuale. Il collante di tali azioni è lo scenario, ma anche, e soprattutto, la possibilità di innovare le pratiche intrinseche alla missione di un museo contemporaneo. Inoltre, nel più ampio quadro del progetto CIVITAS, tutte le digitalizzazioni effettuate si sono già dimostrate utili come set di dati di riferimento per ulteriori ricerche in ottica multidisciplinare. Uno degli obiettivi principali del progetto, ovvero facilitare processi innovativi di conoscenza, gestione e cura alle diverse scale, soddisfacendo anche diversi livelli di fruizione, risulta quindi ampiamente raggiunto. Restano però punti deboli da analizzare e comprendere, non ultimo quello della formazione delle diverse figure professionali che devono essere le protagoniste del processo di transizione digitale dei luoghi della cultura. Si è spesso messo in evidenza come molte delle professionalità che lavorano attualmente nelle istituzioni pubbliche non siano per questo adeguatamente formate: un aspetto che riguarda tanto le figure tecniche quanto quelle dirigenziali. È quindi fondamentale incentivare lo sviluppo di tali competenze, affinché la transizione digitale possa essere radicata in maniera organica nell'ambito della complessa strategia di gestione di un'istituzione culturale, la cui sostenibilità passa attraverso la definizione di azioni di ampio respiro sui propri patrimoni di competenza.

Ringraziamenti

Le ricerche presentate sono state finanziate dall'Università Politecnica delle Marche nell'ambito dei Progetti Strategici di Ateneo. Il Progetto CIVITAS (Chain for excellence of reflective Societies to exploit digital cultural heritage and museums) coinvolge sette dipartimenti e numerosi ricercatori dell'Università Politecnica delle Marche, il PI è il Prof. Paolo Clini. Si ringrazia la Galleria Nazionale delle Marche di Urbino e il suo direttore dr. Luigi Gallo per l'interesse e il supporto nell'implementazione del progetto CIVITAS. Si ringraziano infine Leica Geosystems e i tecnici dell'Università Politecnica delle Marche, Floriano Capponi, Gianni Plescia e Luigi Sagone, per il supporto durante la fase di acquisizione dati.

Riferimenti bibliografici

- Angeloni, R. (2022). Digitization and virtual experience of museum collections. The Virtual Tour of the Civic Art Gallery of Ancona. In *SCIRES-IT*, Vol 12, Issue 2, pp. 29-42.
- Apollonio F.I., Fantini F., Garagnani S., & Gaiani M. (2021). A photogrammetry-based workflow for the accurate 3D construction and visualization of museums assets. In *Remote Sensing*, 13(3), 486.
- Aubin F. P., Milburn A. (2013). *Renaissance Revit: Creating Classical Architecture with Modern Software*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Balletti C., Guerra F., Scocca V., Gottardi C. (2015). 3D integrated methodologies for the documentation and the virtual reconstruction of an archaeological site. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, pp. 215-222.
- Barozzi da Vignola G. (1563). *Regola delli cinque ordini d'architettura*. Roma <https://archive.org/details/gri_33125008229409/mode/2up>. (consultato il 2 febbraio 2023).

- Bozzelli G., Raia A., Ricciardi S., de Nino M., Barile N., Perrella M., Tramontano M., Pagano A., Palombini A. (2019). An integrated VR/AR framework for user-centric interactive experience of cultural heritage: The ArkaeVision project. In *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, vol. 24, marzo 2022, e00211.
- Castagnetti C., Mancini F., Rivola R., Rossi P., Oppici S., Albano V., Formentini M. (2016). Potenzialità dei nuovi sistemi indossabili per la scansione 3D. Una sperimentazione del Pegasus Backpack di Leica Geosystems presso il Palazzo Ducale di Modena. In *Archeomatica*, 7(4) dicembre, pp. 34-37. <<http://mediageo.it/ojs/index.php/archeomatica/article/viewFile/1344/1273>>. (consultato il 2 febbraio 2023).
- Castiglione, B. (1987). *Il libro del Cortegiano*. A cura di G. Carnazzi. Milano: Biblioteca universale Rizzoli.
- Charef R., Emmitt S., Alaka H., Fouchal F. (2019). Building Information Modelling adoption in the European Union: An overview. In *Journal of Building Engineering*, 25.
- Clini P., Quattrini R., Angeloni R., D'Alessio M., Cappucci R. (2020). Realtà virtuale e potenzialità dei facsimili digitali per i musei. Il caso dello Studiolo del Duca di Urbino. In *Disegnare Idee Immagini*, Issue 61, p. 56-67.
- Clini P., Quattrini R., Bonvini P., Nespeca R., Angeloni R., Mammoli R., Dragoni A. F. Morbidoni, C., Sernani P., Mengoni M. (2020). Digit(al)isation in Museums: Civitas Project-AR, VR, Multisensorial and Multiuser Experiences at the Urbino's Ducal Palace. In G. Guazzaroni, A.S. Pillai (a cura di). *Virtual and Augmented Reality in Education, Art, and Museums*, pp. 194-228, IGI Global.
- Clini P., Quattrini R., Frontoni E., Nespeca R. (2015). A new cloud library for integrated surveys: The ancient via flaminia and the nextone project. In S. Brusaporci (a cura di). *Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation*, pp. 579-606. IGI Global.
- Croce V., Bevilacqua M.G., Caroti G. Piemonte A. (2021). Connecting geometry and semantics via artificial intelligence: From 3D classification of heritage data to H-BIM representations. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 43(B2-2021).
- Curuni S.A. (1985). Il nuovo rilievo del palazzo e la precedente documentazione grafica. In M.L. Polichetti (a cura di) *Il Palazzo di Federico da Montefeltro. Restauri e Ricerche*. vol. I, pp. 437-452, Urbino: Edizione Quattroventi.
- Ferretti U., Quattrini R., D'Alessio M. (2022). A Comprehensive HBIM to XR Framework for Museum Management and User Experience in Ducal Palace at Urbino. In *Heritage*, 5(3), pp. 1551-1571.
- Giandebiaggi P., Ghiretti A., Roncella R., Vernizzi C., Zerbi A. (2015). Integrated survey methodologies for the multi-scale knowledge of archaeology of architecture: the survey of the amphitheatre in Durrës. In *SCIRES-IT* 5(2), pp. 3-14.
- Lo Turco M., Calvano M., Giovannini E. C. (2019). data modeling for museum collections. In *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(2/W9), pp. 433-440.
- López F. J., Leronés P. M., Llamas J., Gómez-García-Bermejo J., Zalama E. (2018). A review of heritage building information modeling (H-BIM). In *Multimodal Technologies and Interaction* 2, 21.
- Morbidoni C., Pierdicca R., Paolanti, M., Quattrini, R., Mammoli, R. (2020). Learning from synthetic point cloud data for historical buildings semantic segmentation. In *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 13(4).
- Nespeca R. (2018). Towards a 3D digital model for management and fruition of Ducal Palace at Urbino. An integrated survey with mobile mapping. In *SCIRES-IT*, 8(2), pp. 1-14.
- Pine B.J., Gilmore J.H. (1998). *Welcome to the experience economy*, Harvard Business Review, luglio-agosto, pp. 97-105.
- Polichetti M. L. (1985). Nuovi elementi per la storia del Palazzo: restauri e ricerche. In M.L. Polichetti (a cura di) *Il Palazzo di Federico da Montefeltro. vol. I: Restauri e Ricerche*. pp. 137-174, Urbino: Edizione Quattroventi.
- Radder L. (2015). An Examination Of The Museum Experience Based On Pine And Gilmore's Experience Economy Realms. In *The Journal of Applied Business Research*, vol. 31, n. 2.
- Rivière G.H. (1989). *La muséologie selon Georges Henri Rivière: cours de muséologie: textes et témoignages*. Parigi: Dunod.
- Tucci G., Conti A., Fiorini L., Corongiu, M. Valdambriani, N., Matta C. (2019). M-BIM: A new tool for the Galleria dell'Accademia di Firenze. In *Virtual Archaeology Review*, 10(21), pp. 40-55.

Autori

Ramona Quattrini, Università Politecnica delle Marche, r.quattrini@univpm.it
 Romina Nespeca, Università Politecnica delle Marche, r.nespeca@univpm.it
 Renato Angeloni, Università Politecnica delle Marche, r.angeloni@univpm.it
 Mirco D'Alessio, Università Politecnica delle Marche, m.dalessio@univpm.it

To cite this chapter: Quattrini Ramona, Nespeca Romina, Angeloni Renato, D'Alessio Mirco (2023). Processi di transizione digitale per i musei: il Palazzo Ducale di Urbino nel progetto CIVITAS/ Museum Digital Transition Processes the Ducal Palace of Urbino within the CIVITAS Project. In Cannella M., Garozzo A., Morena S. (a cura di). *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/ Transitions. Proceedings of the 44th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 3023-3044.



Museum Digital Transition Processes: the Ducal Palace of Urbino within the CIVITAS Project

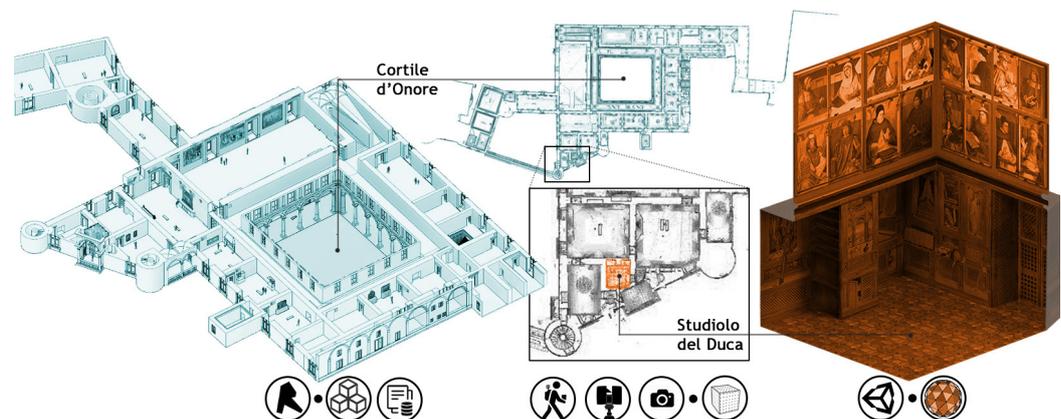
Ramona Quattrini
Romina Nespeca
Renato Angeloni
Mirco D'Alessio

Abstract

This contribution fits into the scenario of museums digital transition, illustrating the results of the experiences carried out within the CIVITAS interdepartmental research project. The presented approaches aim at the development of best practices that can involve both the 'contents', the artworks, and the 'container', the building where they are displayed. Remarkable case study: the Ducal Palace of Urbino, one of the most important historical-architectural complexes of the Italian Renaissance, that is now home to the National Gallery of Marche Region. Based on its multi-scale and multi-sensor digitization, the results of the information modelling process of artworks and galleries are presented, along with the virtual experience of its most representative hall: the Studiolo del Duca.

Keywords

Digital transition, Integrated survey, HBIM, Museum data management, Virtual Reality



As part of the CIVITAS project, digital representation is being explored as a tool for the digital transition of museums and cultural sites. This contribution specifically addresses its implementation in the management and experience of the Ducal Palace of Urbino.

Introduction

Digital transition generated governance processes improvement in different fields, both in terms of quantity and quality. Even in the cultural sphere the adoption of new technologies is now one of the major challenges/opportunities, which museum institutions are addressing mainly through digitization activities, increased online visibility and digital management of their collections. However, the lack of an interdisciplinary approach is still factual. The mandatory need is defining efficient digital strategies with clear priorities and avoiding wasting resources, in different areas. In this scenario, where the interaction between different knowledge plays a crucial role, the interdepartmental research project CIVITAS [Clini et al. 2020] aims to advance the methodologies of digitization, management, and sharing of cultural data. As an exemplary case study, the project was carried out on the Palazzo Ducale in Urbino, one of the most interesting artistic-architectural examples of the Italian Renaissance, currently hosting the National Gallery of Marche [Polichetti 1985].

The building, according to the famous humanist Baldassarre Castiglione's definition, is described as "città in forma di palazzo", it was built in different stages starting from the second half of the 14th century. The renaissance architect Luciano Laurana directed the construction works, supported by the program of the Duke Federico da Montefeltro in 1454, since 1464 the famous facade of "Torricini" was realized, along with the Courtyard and several relevant rooms of the noble floor. These include the Duke's Apartment, of which the Sala degli Angeli, named for the majestic chimney by Domenico Rosselli, and the extraordinary *Studiolo*, with walls decorated by precious wooden inlays and portraits of Illustrious Men.

This paper therefore specifically discusses the outcomes of the CIVITAS project related to the challenges of digitization for multi-scale representation to support the processes of management, through informed modeling of artworks and exhibition spaces, and fruition, through eXtended Reality (XR) solutions.

Documenting collections and museum: the multi-scale representation

The state of the art on processing digital replicas is sufficiently robust about the development of integrated acquisition procedures that ensure accurate representation both in terms of geometry and color faithfulness and calibration. Nevertheless, digital documentation of very large environments with high complexity, rich detail, and perhaps difficult ambient lighting conditions, remains a challenging task, despite the significant increase in technological solutions [Balletti et al. 2015; Clini et al. 2015; Giandebiaggi et al. 2015].

The scientific digitization of a complex architectural building such as the Ducal Palace of Urbino necessarily requires the application of an integrated, multi-instrumental, multi-level, and multi-temporal strategy. An initial maximum acquisition, mainly of the external spaces, was conducted with a mobile scanning system (MLS) using the Pegasus Leica Geosystems tool (a backpack equipped with 2 laser scanners, 5 cameras, a GNSS receiver, and a 200 Hz INS with a simultaneous mapping and localization system SLAM). The remarkable speed in the field has produced a first 3D model with a low level of detail (LoD), classifiable in the BIM field as LOG C (UNI 11337-4:2017), as also emphasized in other works [Castagnetti et al. 2016]. This massive and fast documentation was the skeleton for the integration of other acquisitions with terrestrial laser scanning systems (Terrestrial Laser Scanner, TLS) and photogrammetric techniques (Structure from Motion, SfM) (fig. 1).

Specifically, 256 scans were performed with the simultaneous use of two TLSs (Leica ScanStation C10 and Leica ScanStation P40), setting different levels of resolution according to the complexity of the rooms and their decorative elements (Tab. 1). A dedicated acquisition, which will be explained below, required the precious space of the Studiolo del Duca.

The photographic acquisition of spherical panoramas involved also a multi-resolution approach, in which, for environments rich in detail, a reflex camera with an 18 mm focal length mounted on a panoramic head was used, obtaining images with a resolution of 16384 x 8192 px, while for more sparse environments, a fisheye lens with an 8 mm focal length (panoramic

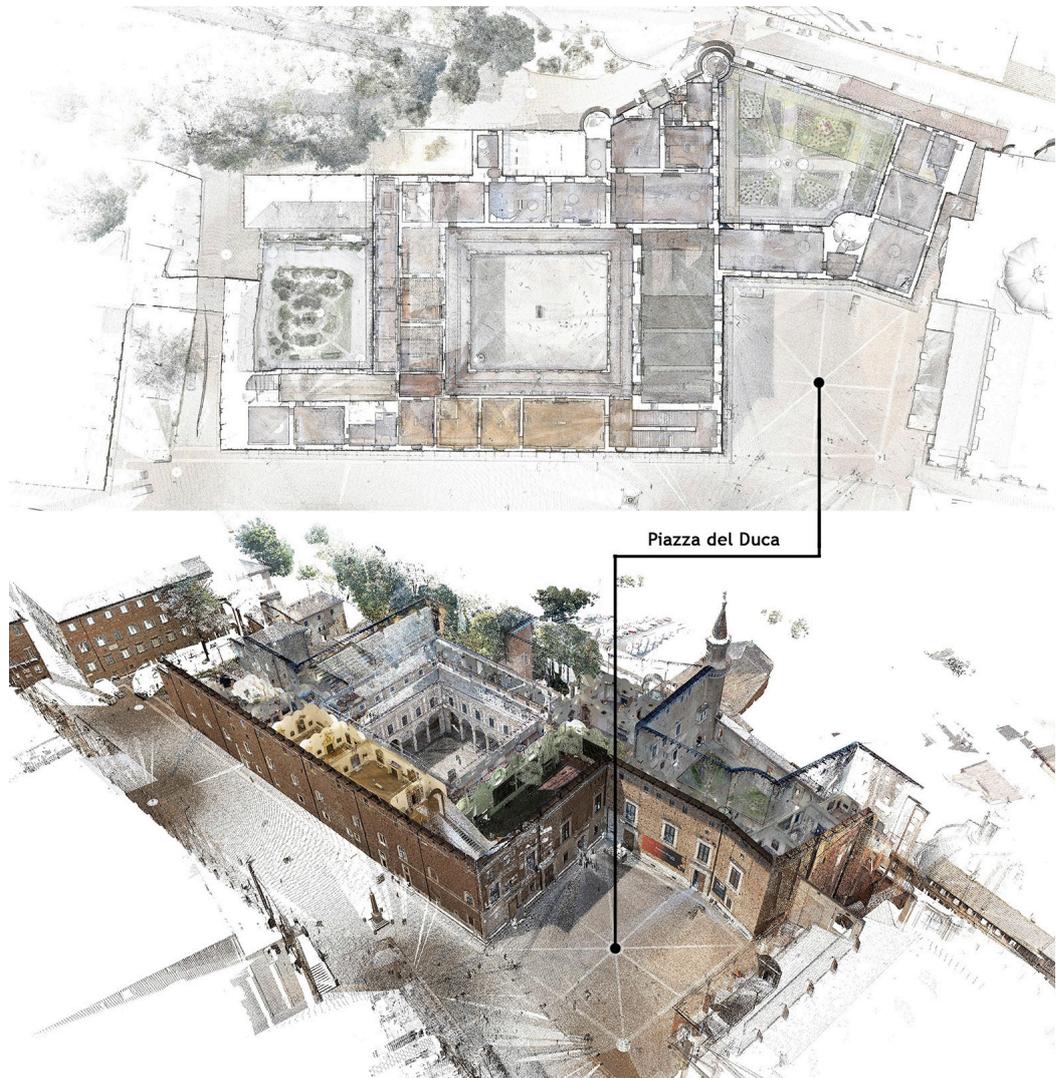


Fig. 1. Point clouds of the Ducal Palace of Urbino. Horizontal section at the level of the main floor and perspective view of the entire complex.

	<i>Backpack Pegasus</i>	<i>TLS P40</i>	<i>TLS C10</i>
<i>Technology</i>	SLAM, IMU, GNSS, 2x laser profile, 5x cameras	Hybrid laser, camera	TOF laser, camera
<i>Field of view</i>	Profile + trajectory	Full dome 360x300	Full dome 360x270
<i>Accuracy</i>	10 cm	2 mm	4 mm
<i>Speed</i>	600k p/sec	1mln p/sec	500k p/sec
<i>Range max</i>	50 m	270 m	300 m
<i>Resolution (used)</i>	Not fix	3 mm@10m 6 mm@10m 12mm@10m	1cm@10m
<i>Acquisition time (resolution addicted)</i>	1 hour for big area (very fast)	4 min / 2 min / 1 min (fast)	6 min (slow)
<i>Processing</i>	Slow but automatic registration	Fast but manual registration	Fast but manual registration

Tab. 1. Comparison between the laser scanner tools used, the mobile and the static system. Nespeca 2018.

resolution of 8192 × 4096 px) or a 360° iStar NCTech camera (panoramic resolution of 5656 × 2828 px) were used, allowing a considerable reduction in time.

In the case of the *Studiolo del Duca*, which it is of considerable value, of modest size, but with relevant elevation, SfM acquisition followed a differentiated experimental procedure on 4 levels: flooring, wooden inlays, portraits of the Illustrious Men, and lacunar ceiling. For the flooring, shots were taken directed from the perimeter toward the center of the room, ensuring diffuse lighting conditions capable of reducing reflections on the polished wax. For the wooden inlays, which has highly reflective surfaces that cannot be adequately photographed

with “traditional” natural or artificial lighting, a polarized light system was applied such that the effect of reflection, which is an obstacle to both 3D reconstruction and model mapping, was limited or eliminated altogether (Fig. 2).

The system consisted of two LED lamps shielded with a linear polarization filter, positioned on a horizontal bar on the sides of the camera, with a 45° inclination relative to the surface to be captured, and an adjustable polarization filter mounted on the lens. A total of 283 shots were taken at 1 m from the wall, with a fixed focal length of 24 mm and a Ground Sampling Distance (GSD) of less than 0.4 mm. Then, the shots were processed on different chunks according to the framed wall, then aligned and scaled on the model reference system obtained from TLS. The portraits of the Illustrious Men, on the other hand, were each acquired with a single frontal shot, using a telescopic rod to bring the camera to the height of the paintings. The acquisition of the lacunar ceiling was canonical, performed by a tripod at man height and obtaining a GSD of 10 mm, sufficient for the purposes [Clini et al. 2020].



Fig. 2. Wooden inlays of the Duke's studiolo. Image acquired with a polarized light and diffused light illumination system.

Modeling the knowledge: museum building information modeling

Due to the increasing possibility of acquiring accurate morphometric data at high speeds, cultural institutions agreed on the need to manage three-dimensional data and diagnostic, historical and technical-construction analysis in a coordinated and complex manner. This need has certainly been supported by developments in the field of Heritage Building Information Modeling (HBIM), which has been a fruitful research area for over a decade. Most studies in this field initially focused on the challenge of reliably and accurately representing survey data in BIM platforms [López et al. 2018]. Today, the most interesting technological trends are represented by the mix of Scan2BIM processes and the potential of Artificial Intelligence [Croce et al. 2021; Morbidoni et al. 2020]. Additionally, the technical scenario is becoming increasingly specialized, also due to regulations in several European countries that provide for BIM-based work processes [Charef et al. 2019]. In the case of monumental buildings that embed museum institutions, a challenge to address the cataloguing requirements of collections emerged. A research area known as Museum Building Information Modeling (MBIM) is growing, of which the presented application is also part: the goal is to support museum management according to national and international guidelines, considering the container/

content relationship that is essential for the conservation of works of art but also for proper museum display [Lo Turco et al. 2019; Tucci et al. 2019].

The semantic and informed modelling work developed for the Palazzo Ducale of Urbino and the National Gallery of Marche therefore set as its main objective the realisation of a HBIM model aware of its nature as a museum and informed by all the Renaissance rules, including an intelligent parameterisation of the objects, a cataloguing of the contents to pursue the management/conservation of the collections, and finally testing the possibilities of using the model with XR technologies. To test the workflow, high Level of Detail (LoD) and high Level of Information (LoI) families were developed. Within the CIVITAS project, it was provided an exemplification in which to test a complex data enrichment specifically designed for the gallery's art works, in line with national regulations and international good practice.

The model was created, as it is appropriate in such articulated cases, in successive steps. The first core modelled was the Laurana Courtyard: On the basis of known approaches [Aubin, Milburn 2013], parametric modelling was carried out, generating libraries with 3 LoDs and implementing the rules of the Renaissance canon, as suggested in Vignola's proem "every mediocre genius, provided he has some taste in art, will be able in a single glance without much trouble to read, to understand the whole and make proper use of it" [Barozzi da Vignola 1563]. The next step involved the modelling of the whole *Piano Nobile* of the Palazzo with the insertion of a catalogue of paintings directly in the Revit environment, locating them in the different flats (Fig. 3).

Autore	Immagine	Tecnica e materiali	Datazione	Dimensioni	N° inventario	Stanza	Appartamento	Biblioteca	Illuminamento	Temp max	Temp min	UR max (%)	UR min (%)	ΔT	ΔJR	DM 10 maggio 200
Pietro della Francesca	06- La c...	Tempera su tavola	tra il 1480 e il 1490	67,7x239,4 cm	inv. 06	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Pietro della Francesca	03- Pie...	Olio e tempera su l...	ottavo decennio del XV	61x41,3 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Pietro della Francesca	03- Pie...	Tempera su tavola	1485	58,4x81,5 cm	inv. DE 229	03	Appartamento degli		550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Francesco di Giorgio Martini	03- Pie...	Intarsi legno e Avori	tra il 1654 e il 1656	726x345cm	inv. 1990 M 20 04		Appartamento degli		550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03	Appartamento degli			550 lx	24 °C	19 °C	60	50	2 °C	4	https://www.beni
Donato Bramante	03- Pie...	Disegno	ca. 1480	14,5x10,5 cm	inv. 03											

In this case too, of course, the need to respect Renaissance grammar has been focused, with the realization of walls, doors, windows, arches, flooring, accurately parameterized exploiting the software features (fig. 4).

On the other side, the parametric modeling has been proven to be unreliable to describe all the peculiarities of the building, as shown, for example, by the fireplace and of the decorative layers of the doors. For this reason, a hybrid workflow was developed to allow the integration of significant elements realized using SfM technique. Due to numerous computational issues [Ferretti et al. 2022], some tests for the development of immersive and Mixed Reality applications have shown partially satisfying results in terms of data enrichment, but from the point of view of visual rendering, certainly below the results obtainable with dedicated pipeline (fig. 5).

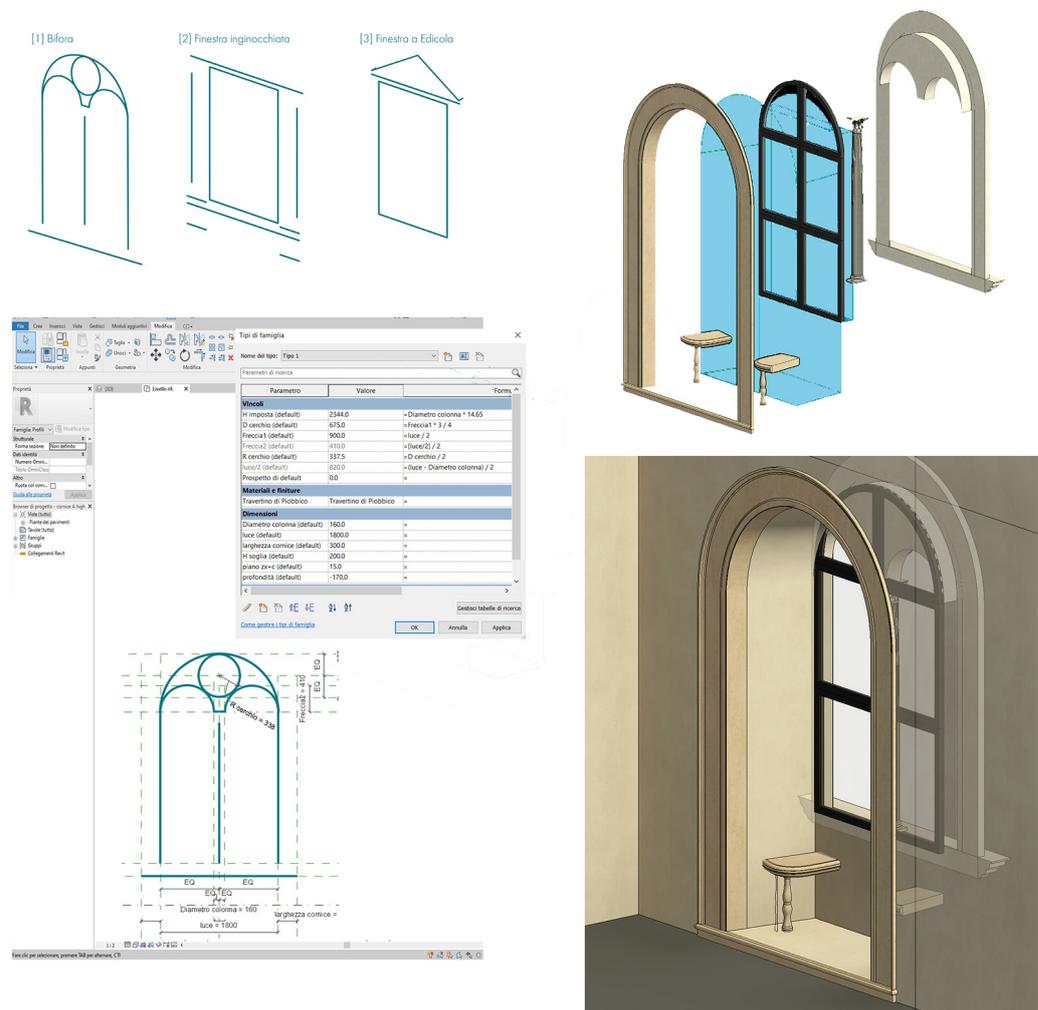


Fig. 4. Parametric modeling of the families related to the windows of the Ducal Palace of Urbino.

The experience of digital facsimile: the cultural heritage is increasingly ubiquitous.

Digital replicas are one of the most promising innovations in the field of museum fruition of cultural heritage [Apollonio et al. 2021]. Harnessing the potential of the tools offered by XR it's possible to reach new forms of interaction on-site and remotely, generating virtual environments in which to 'immerse' the visitor in an interactive dimension of places and objects (Interactive Thematic Virtual Environments, ITVE) [Bozzelli et al. 2019]. The quality of representation offered by its digital replica, along with the effectiveness of the interactions proposed for its narration, is therefore essential to ensure adequate enjoyment of Cultural

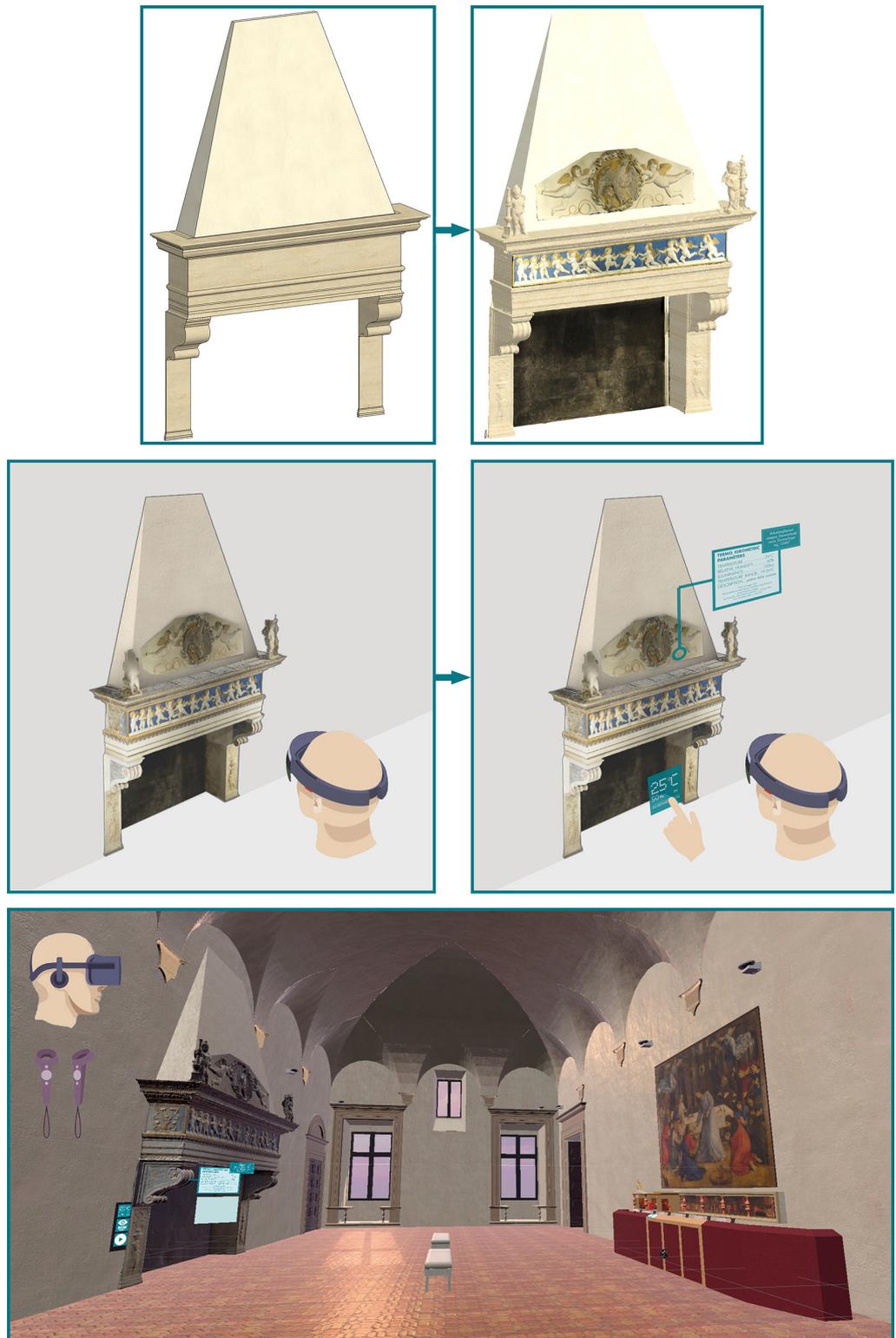


Fig. 5. The Chimney of the Angels' Room: on top, the 2 levels of development, High in Revit and LOD G thanks to the insertion of surfaces obtained through photogrammetry, in the middle, an exemplification of MR experience with Hololens for museum management. At the bottom, visualization in VR of the Hall.

Heritage [Angeloni 2023], to be evaluated, like any other type of museum experience, not so much on the number of users who enjoy it, but on the number of those who have learned something from it [Rivière et al. 1989]. The first step in developing a virtual experience for the *Studiolo* of Federico da Montefeltro was therefore the creation of a digital replica based on the data from the three-dimensional

survey. The point cloud obtained from the alignment of laser scans was segmented into four parts respectively related to the flooring, wooden inlays, portraits of the Illustrious Men, and the ceiling with gilded coffered. The mesh models obtained automatically were then edited by removing topology errors and simplifying their geometry: the paving was approximated to a single plane, while the wooden inlays and the ceiling were optimized by substantially reducing the number of polygons through the retopology process. Due to several difficulties encountered in its automatic reconstruction, the Illustrious Men level was instead manually modelled, always based on the metric data of the point cloud. Aligned and oriented in the same reference system as the 3D models, the images of the wooden inlays and those relating to the ceiling were used for the texturing of the respective models. Instead, for the pavement and level of the Illustrious Men, materials were created by procedural maps and individual photographic shots acquired for each of the twenty-eight portraits (fig. 6). The digital replica of the Studiolo was made available through a VR headset, creating an ITVE characterized by interactions aimed at revealing the hidden meanings in the representations

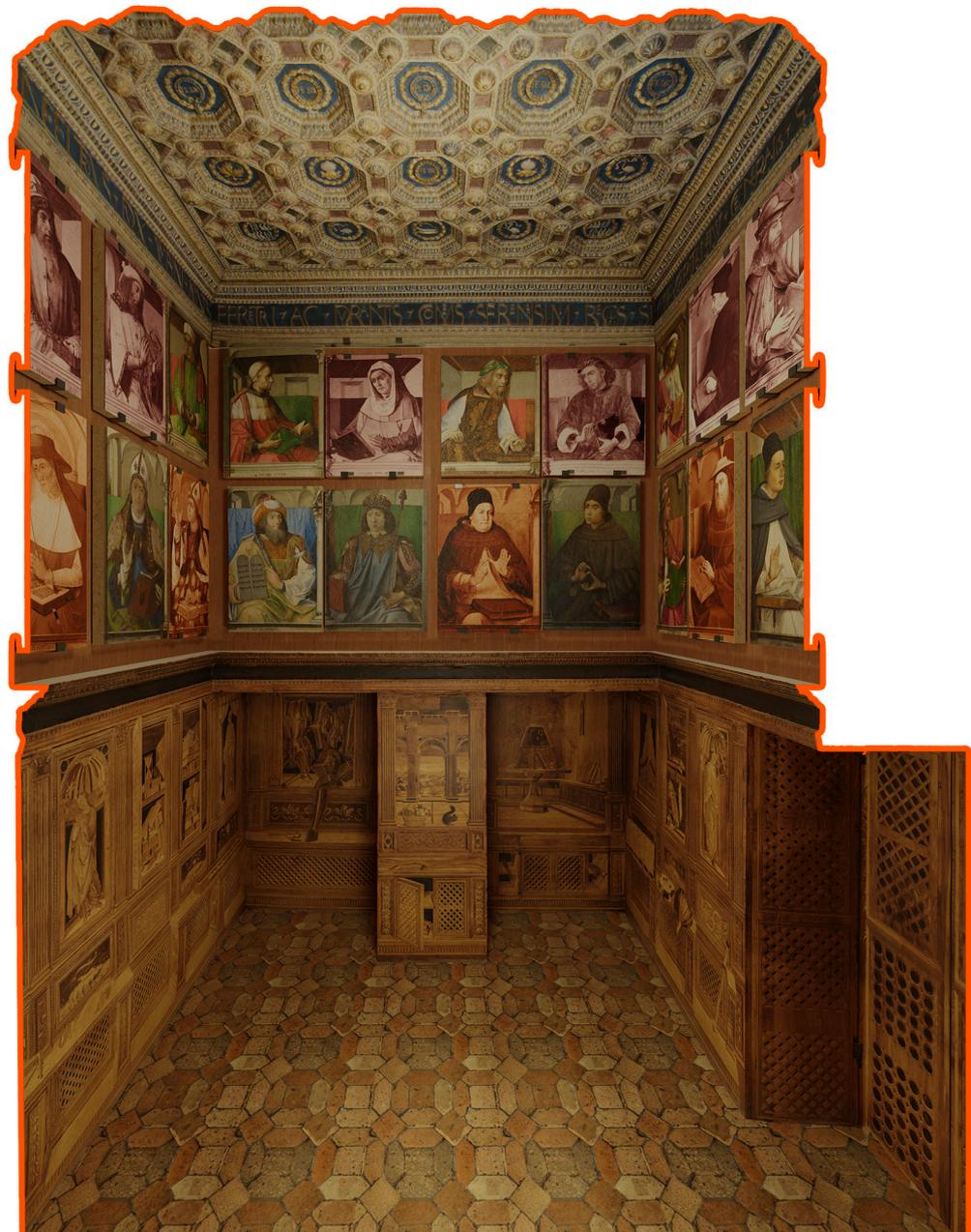


Fig. 6. Perspective section of the digital replica processed for the virtual experience of the Duke's studiolo.

on the walls of the Studiolo. By immersing themselves in this virtual environment, the visitor is guided by an audio that offers a general introduction to the architectural style of the Renaissance study and its highly symbolic value. The user can then move freely in space and, using their hands, intuitively call up content dedicated to the allegorical figures carved in wood and portraits of the 28 Illustrious Men (fig. 7).

To understand the effectiveness of the developed ITVE, a user experience evaluation test was conducted based on the four areas of experience theorized in [Pine, Gilmore 1998],



Fig. 7. Schematic representation of the expected interaction for the VR experience: the user, thanks to controllers, can recall audio content and in-depth information labels related to the depictions on the walls of the studiolo.

Questions	
Learning	1.1 The experience aroused my interest in the subject.
	1.2 The experience increased my knowledge of the subject.
	1.3 The information was clearly provided.
Entertainment	2.1 The experience was fun.
	2.2 The experience was emotionally engaging.
	2.3 I would like to experience other similar experiences.
Immersion	3.1 During the experience I lost the sense of time.
	3.2 During the experience I lost the sense of space.
	3.3 During the experience I felt completely immersed in the virtual environment.
Aesthetics	4.1 The digital replica was very close to the real environment.
	4.2 The use of technological devices has not compromised the authenticity of the experience.
	4.3 The virtual experience was better than the real one.

Tab. 2. Satisfaction questionnaire.

already applied to the museum field in [Radder 2015], and here specifically declined for a VR experience: learning, entertainment, immersion, and aesthetics (table 2). The results obtained from a sample of people who had already physically visited the *Studiolo* of the Duke of Urbino highlight the effectiveness of the representation offered by the digital replica, capable of faithfully reproducing the architectural environment and details of the decorations. From an educational point of view, the scores demonstrate how the virtual experience stimulates the user's curiosity, offering the possibility of conveying didactic content with different levels of depth. Finally, about the aspects of evasion and aesthetics, it is important to underline that the success of the proposed experience was helped by the reduced size of the *Studiolo*, which allows the user a full freedom of natural movement for the user, without the need to simulate virtual movement using teleportation or similar functions.

Conclusions

This contribution describes three exemplary applications of three fundamental actions in the complex process of a museum's digital transition: the documentation phase, necessarily seen as three-dimensional and multi-scale; the informed modeling phase, which is preliminary to management; and, finally, the generation of a satisfactory virtual user experience. The common thread of these actions is the scenario, but also, and above all, the possibility of innovating the practices inherent to the mission of a contemporary museum. Additionally, within the broader framework of the CIVITAS project, all the digitisations carried out have already proven useful as a reference dataset for further multidisciplinary research. One of the main objectives of the project is namely to facilitate innovative processes of knowledge, management, and curation at different scales, while also satisfying different levels of use is therefore largely achieved. However, there are weak points to be analysed and understood, among which is the formation of the different professional figures that must be the core of the digital transition process in cultural institutions. It has often been pointed out that many of the professionals currently working in public institutions are not adequately trained, which affects both technical and managerial figures. Therefore, it is essential to incentivize the development of such skills, so that the digital transition can be organically rooted in the complex management strategy of a cultural institution whose sustainability depends on defining comprehensive actions on its assets of competence.

Acknowledgments

The research presented here is funded by Univpm in the framework of Strategic University projects. The project CIVITAS (Chain for excellence of reflective Societies to exploit digital cultural heritage and museumS) involves seven departments and several researchers of the Polytechnic University of Marche. The group of researchers would like to thank the Galleria Nazionale delle Marche of Urbino and its director dr. Luigi Gallo for the interest and the support in the CIVITAS implementation. The authors also thanks Leica Geosystems and UNIVPM technicians: Floriano Capponi, Gianni Plescia and Luigi Sagone, who took part in the data capturing phase.

References

- Angeloni, R. (2022). Digitization and virtual experience of museum collections. The Virtual Tour of the Civic Art Gallery of Ancona. In *SCIRES-IT*, Vol. 12, No. 2, pp. 29-42.
- Apollonio F.I., Fantini F., Garagnani S., & Gaiani M. (2021). A photogrammetry-based workflow for the accurate 3D construction and visualization of museums assets. In *Remote Sensing*, 13(3), 486.
- Aubin F. P., Milburn A. (2013). *Renaissance Revit: Creating Classical Architecture with Modern Software*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Balletti C., Guerra F., Scocca V., Gottardi C. (2015). 3D integrated methodologies for the documentation and the virtual reconstruction of an archaeological site. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, pp. 215-222.
- Barozzi da Vignola G. (1563). *Regola delli cinque ordini d'architettura*. Roma <https://archive.org/details/gri_33125008229409/mode/2up>. (accessed 2 February 2023).

- Bozzelli G., Raia A., Ricciardi S., de Nino M., Barile N., Perrella M., Tramontano M., Pagano A., Palombini A. (2019). An integrated VR/AR framework for user-centric interactive experience of cultural heritage: The ArkaeVision project. In *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, Vol. 24, March 2022, e00211.
- Castagnetti C., Mancini F., Rivola R., Rossi P., Oppici S., Albano V., Formentini M. (2016). Potenzialità dei nuovi sistemi indossabili per la scansione 3D. Una sperimentazione del Pegasus Backpack di Leica Geosystems presso il Palazzo Ducale di Modena. In *Archeomatica*, 7(4) dicembre, pp. 34-37. <<http://mediageo.it/ojs/index.php/archeomatica/article/viewFile/1344/1273>>. (accessed 2 February 2023).
- Castiglione, B. (1987). *Il libro del Cortegiano*. Edited by G. Carnazzi, preface of S. Battaglia. Milan: Biblioteca universale Rizzoli.
- Charef R., Emmitt S., Alaka H., Fouchal F. (2019). Building Information Modelling adoption in the European Union: An overview. In *Journal of Building Engineering*, 25.
- Clini P., Quattrini R., Angeloni R., D'Alessio M., Cappucci R. (2020). Realtà virtuale e potenzialità dei facsimili digitali per i musei. Il caso dello Studiolo del Duca di Urbino. In *Disegnare Idee Immagini Issue 61*, p.56-67.
- Clini P., Quattrini R., Bonvini P., Nespeca R., Angeloni R., Mammoli R., Dragoni A. F. Morbidoni, C., Sernani P., Mengoni M. (2020). Digit(al)isation in Museums: Civitas Project-AR, VR, Multisensorial and Multiuser Experiences at the Urbino's Ducal Palace. In G. Guazzaroni, A.S. Pillai (Eds.). *Virtual and Augmented Reality in Education, Art, and Museums*, pp. 194-228, IGI Global.
- Clini P., Quattrini R., Frontoni E., Nespeca R. (2015). A new cloud library for integrated surveys: The ancient via flaminia and the nextone project. In S. Brusaporci (Ed.). *Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation*, pp. 579-606, IGI Global.
- Croce V., Bevilacqua M.G., Caroti G., Piemonte A. (2021). Connecting geometry and semantics via artificial intelligence: From 3D classification of heritage data to H-BIM representations. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 43(B2-2021).
- Curuni S.A. (1985). Il nuovo rilievo del palazzo e la precedente documentazione grafica. In M.L. Polichetti (Ed.) *Il Palazzo di Federico da Montefeltro. Restauri e Ricerche*. Vol. I, pp. 437-452, Urbino: Edizione Quattroventi.
- Ferretti U., Quattrini R., D'Alessio M. (2022). A Comprehensive HBIM to XR Framework for Museum Management and User Experience in Ducal Palace at Urbino. In *Heritage*, 5(3), pp. 1551-1571.
- Giandebiaggi P., Ghiretti A., Roncella R., Vernizzi C., Zerbi A. (2015). Integrated survey methodologies for the multi-scale knowledge of archaeology of architecture: the survey of the amphitheatre in Durrës. In *SCIRES-IT* 5(2), pp. 3-14.
- Lo Turco M., Calvano M., Giovannini E. C. (2019). data modeling for museum collections. In *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(2/W9), pp. 433-440.
- López F. J., Lerones P.M., Llamas J., Gómez-García-Bermejo J., Zalama E. (2018). A review of heritage building information modeling (H-BIM). In *Multimodal Technologies and Interaction* 2, 21.
- Morbidoni C., Pierdicca R., Paolanti, M., Quattrini, R., & Mammoli, R. (2020). Learning from synthetic point cloud data for historical buildings semantic segmentation. In *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 13(4).
- Nespeca R. (2018). Towards a 3D digital model for management and fruition of Ducal Palace at Urbino. An integrated survey with mobile mapping. In *SCIRES-IT*, 8(2), pp. 1-14.
- Pine B.J., Gilmore J.H. (1998). *Welcome to the experience economy*, Harvard Business Review, July-August, pp. 97-105.
- Polichetti M. L. (1985). Nuovi elementi per la storia del Palazzo: restauri e ricerche. In M.L. Polichetti (Ed.) *Il Palazzo di Federico da Montefeltro. Vol. I: Restauri e Ricerche*. pp. 137-174, Urbino: Edizione Quattroventi.
- Radder L. (2015). An Examination Of The Museum Experience Based On Pine And Gilmore's Experience Economy Realms. In *The Journal of Applied Business Research*, Vol. 31, Issue 2.
- Rivière G.H. (1989). *La muséologie selon Georges Henri Rivière: cours de muséologie: textes et témoignages*. Paris: Dunod.
- Tucci G., Conti A., Fiorini L., Corongiu, M. Valdambrini, N., Matta C. (2019). M-BIM: A new tool for the Galleria dell'Accademia di Firenze. In *Virtual Archaeology Review*, 10(21), pp. 40-55.

Authors

Ramona Quattrini, Università Politecnica delle Marche, r.quattrini@univpm.it
 Romina Nespeca, Università Politecnica delle Marche, r.nespeca@univpm.it
 Renato Angeloni, Università Politecnica delle Marche, r.angeloni@univpm.it
 Mirco D'Alessio, Università Politecnica delle Marche, m.dalessio@univpm.it

To cite this chapter: Quattrini Ramona, Nespeca Romina, Angeloni Renato, D'Alessio Mirco (2023). Processi di transizione digitale per i musei: il Palazzo Ducale di Urbino nel progetto CIVITAS/ Museum Digital Transition Processes the Ducal Palace of Urbino within the CIVITAS Project. In Cannella M., Garozzo A., Morena S. (eds.), *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Transitions. Proceedings of the 44th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 3023-3044.