



# CHIURO dal passato il futuro

Metodi e strategie per la  
documentazione digitale di centri storici minori

a cura di  
Luca Cipriani  
Filippo Fantini

Edizioni  
Quasar

**SCUOLA SUPERIORE DI STUDI SULLA CITTÀ E IL TERRITORIO  
ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA  
ARCHIVIO DELLA CITTÀ CONTEMPORANEA**

La Scuola Superiore di Studi sulla Città e il Territorio è una struttura speciale dell'Università di Bologna, punto di riferimento internazionale per gli studi, i progetti, le attività formative e culturali che hanno come oggetto la città e il territorio.

L'Archivio della Città Contemporanea è un progetto di ricerca della Scuola Superiore per la documentazione dei "monumenti della contemporaneità" con l'obiettivo di formare e sviluppare una cultura architettonica fondata sulla memoria del presente.

"Chiuro, dal passato il futuro" (2016-2017) nasce come progetto per la ricerca e la documentazione digitale del borgo, promosso dall'associazione culturale "Il viale della Formica" in collaborazione con il Comune di Chiuro e la Scuola Superiore di Studi sulla Città e il Territorio, struttura dell'Alma Mater Studiorum Università di Bologna. Il progetto è finanziato dalla Fondazione Pro Valtellina (bando "cultura e ambiente 2016").

A partire dal 2017, fino alla conclusione nel 2022, parte della ricerca è stata realizzata grazie al contributo del progetto "Le Radici di una identità. Temi, strumenti e itinerari per la (ri)scoperta del mandamento di Sondrio tra preistoria e medioevo" (Bando emblematici maggiori di Fondazione Cariplo, realizzato anche con il supporto di Regione Lombardia, soggetto capofila: Comunità Montana Valtellina di Sondrio - Rif. Pratica: n. 2017-1241). La documentazione digitale di Chiuro compone l'azione "Il centro storico di Chiuro: un laboratorio di architettura" (<https://www.radicidentita.it/il-progetto/>).

Il presente volume rappresenta una sintesi delle attività svolte, successivamente rielaborate e sviluppate ulteriormente.

# CHIURO

## dal passato il futuro

Metodi e strategie per la  
documentazione digitale di centri storici minori

a cura di

Luca Cipriani  
Filippo Fantini

*Presentazione di*  
Tiziano Maffezzini

*Saggi di*  
Paolo Agostini, Massimo Ballabeni, Giorgio Baruta,  
Federica Bergamini, Silvia Bertacchi, Gianna Bertacchi,  
Stefano Caselli, Luca Cipriani, Luca Dalcò, Andrea Dresseno,  
Filippo Fantini, Marco Foppoli, Sara Gonizzi Barsanti,  
Pietro Maspes, Barbara Paruscio, Simona Pedrazzi

Edizioni  
Quasar

*Immagini e referenze fotografiche*

I crediti delle immagini, delle tavole e delle fotografie inserite nel testo sono indicati nelle rispettive didascalie. In assenza di indicazioni si intendono proprie degli autori dei contributi.

*In copertina*

Viste della nuvola di punti del borgo di Chiuro. Immagine: Silvia Bertacchi

*In quarta di copertina*

Vista del modello 3D della chiesa dei Santi Giacomo e Andrea. Immagine: Filippo Fantini

Chiuro, dal passato il futuro. Metodi e strategie per la documentazione digitale di centri storici minori / a cura di Luca Cipriani, Filippo Fantini, Roma 2025

ISBN 978-88-5491-604-3

© Roma 2025, Autori e Edizioni Quasar di S. Tognon srl  
via Ajaccio 41-43, I-00198 Roma  
tel. 0685358444, fax 0685833591  
[www.edizioniquasar.it](http://www.edizioniquasar.it)

Finito di stampare nel mese di giugno 2025

## Sommario

**Presentazione** ..... p. 9  
*Tiziano Maffezzini*

**Chiuro, verso un laboratorio di architettura** ..... » 11  
*Luca Cipriani, Filippo Fantini*

### 1. Chiuro, un esempio emblematico

**Chiuro, borgo medioevale** ..... » 25  
*Giorgio Baruta*

**Elementi dell'architettura medievale a Chiuro** ..... » 39  
*Barbara Paruscio*

**Lo stemma del Principe Vescovo di Coira a Palazzo Gatti di Chiuro. Araldica istituzionale nella Valtellina baliaggio delle Tre Leghe** ..... » 63  
*Marco Foppoli*

### 2. Rilievi digitali per la documentazione del centro storico di Chiuro

**Il ruolo della sensoristica attiva per la documentazione dei centri storici minori** ..... » 73  
*Silvia Bertacchi*

**L'ausilio della fotografia e della tecnica fotogrammetrica per la documentazione di centri storici minori** ..... » 93  
*Sara Gonizzi Barsanti*

**Rilievi digitali come strumenti di disseminazione e didattica** ..... » 109  
*Gianna Bertacchi*

**Fronti urbani di Chiuro: esperienze di rilievo tra fotogrammetria, fotopiani e modelli 2.5D** ..... » 121  
*Massimo Ballabeni*

### 3. Modelli digitali e tecniche di *game engine* per la documentazione dei Beni Culturali

**Modelli 3D, strumenti polifunzionali per la documentazione e la valorizzazione** ..... » 151  
*Luca Cipriani*

**Modelli 3D polifunzionali: ottimizzazione e caratterizzazione per il *game engine*** ..... » 167  
*Filippo Fantini*

**Metodi e tecniche di *game engine* nella costruzione di modelli 3D per l'esplorazione di centri storici minori** ..... » 187  
*Luca Dalcò*

**Videogiocare tra spazi reali e spazi virtuali** ..... » 193  
*Stefano Caselli e Andrea Dresseno*

#### 4. Chiuro, laboratorio di architettura - Prospettive di rigenerazione urbana in Valtellina

**Il rilievo architettonico come strumento fondamentale per la conoscenza del patrimonio culturale: l'esempio di Chiuro in Valtellina e le prospettive di tutela** ..... » 203  
*Federica Bergamini*

**Indagine progettuale sulla rigenerazione urbana e territoriale di Chiuro: dalla formazione di un Laboratorio Partecipativo a un possibile sviluppo socio-economico comprensoriale** ..... » 209  
*Paolo Agostini*

**Rigenerazione urbana e territoriale nelle aree alpine, tra opportunità di sviluppo e rischio di perdita di identità** ..... » 223  
*Pietro Maspes*

**Recupero del patrimonio urbano e territoriale in Lombardia. La legislazione regionale fra obiettivi e incentivi** ..... » 231  
*Simona Pedrazzi*

# Modelli 3D, strumenti polifunzionali per la documentazione e la valorizzazione

Luca Cipriani

## Sintesi

Il progetto di documentazione digitale del centro storico di Chiuro rappresenta un caso studio significativo nell'ambito della valorizzazione del patrimonio costruito attraverso modelli 3D. L'iniziativa ha previsto un rilievo dettagliato dell'area urbana mediante tecniche di fotogrammetria e scansione laser, con l'obiettivo di creare modelli digitali interattivi integrabili in piattaforme VR e applicazioni videoludiche. Oltre a fornire una base per la conservazione e la gestione del patrimonio, questi modelli polifunzionali permettono una fruizione innovativa da parte di cittadini e visitatori, offrendo percorsi tematici ed esperienze immersive. L'utilizzo di modelli 3D ottimizzati per dispositivi mobili e web consente di rendere accessibili informazioni storiche, tipologiche e stilistiche anche a un pubblico non specialistico. Infine, la collaborazione tra esperti del rilievo digitale e sviluppatori di ambienti interattivi ha permesso di coniugare rigore scientifico e accessibilità, delineando un modello metodologico applicabile ad altri contesti di valorizzazione del patrimonio.

## Abstract

The digital documentation project of Chiuro's historic centre represents a significant case study in the enhancement of built heritage through 3D models. The initiative involved a detailed survey of the urban area using photogrammetry and laser scanning techniques, aiming to create interactive digital models that can be integrated into VR platforms and video game applications. Besides serving as a foundation for heritage conservation and management, these multifunctional models enable innovative engagement for citizens and visitors, offering thematic routes and immersive experiences. The use of 3D models optimised for mobile and web devices ensures accessibility to historical, typological, and stylistic information even for non-specialist audiences. Finally, the collaboration between digital survey experts and interactive environment developers has successfully combined scientific accuracy with accessibility, defining a methodological framework applicable to other heritage enhancement contexts.

## Premessa

I numerosi studi e ricerche svolti sul centro storico di Chiuro, confluiti e sviluppati nel progetto “*Il centro storico di Chiuro. Un laboratorio di Architettura*” e poi riassunti nel volume presente, si sono posti vari obiettivi, a partire dalla documentazione “capillare” in 3D del borgo antico di Chiuro, passando dalla valorizzazione del patrimonio costruito mediante soluzioni di disseminazione in VR e piattaforme web fino a costruire un'applicazione videoludica abilitante vari percorsi di conoscenza e approfondimento integrabili con l'esperienza *in situ* della località<sup>1</sup>.

Queste azioni, iniziate ormai alcuni anni or sono, possono considerarsi quantomeno dal punto di vista tematico in linea con gli indirizzi delle recenti politiche che si esprimono nel Piano Nazionale di Recupero e Resilienza<sup>2</sup> con il quale sono stanziati consistenti risorse finanziarie nell'ottica di sviluppare strategie e piattaforme digitali per i Beni Culturali; azioni che peraltro necessitavano, ormai da tempo, di una codifica metodologica e più in generale di un'ufficializzazione a livello nazionale.

1. Sull'argomento esiste una vasta letteratura multidisciplinare: per un quadro sinottico del problema si veda Bococ et alii (2022), per l'ampia disamina bibliografica Zhang et alii (2024). Fra i numerosi casi di studio italiani si segnalano Bellini (2019) e Bertocci et alii (2023) per l'ampia panoramica di soluzioni AR, VR, MR applicate al patrimonio costruito storico con l'intento della valorizzazione e promozione anche con finalità turistiche ed economiche.

2. Governo della Repubblica Italiana (2021).

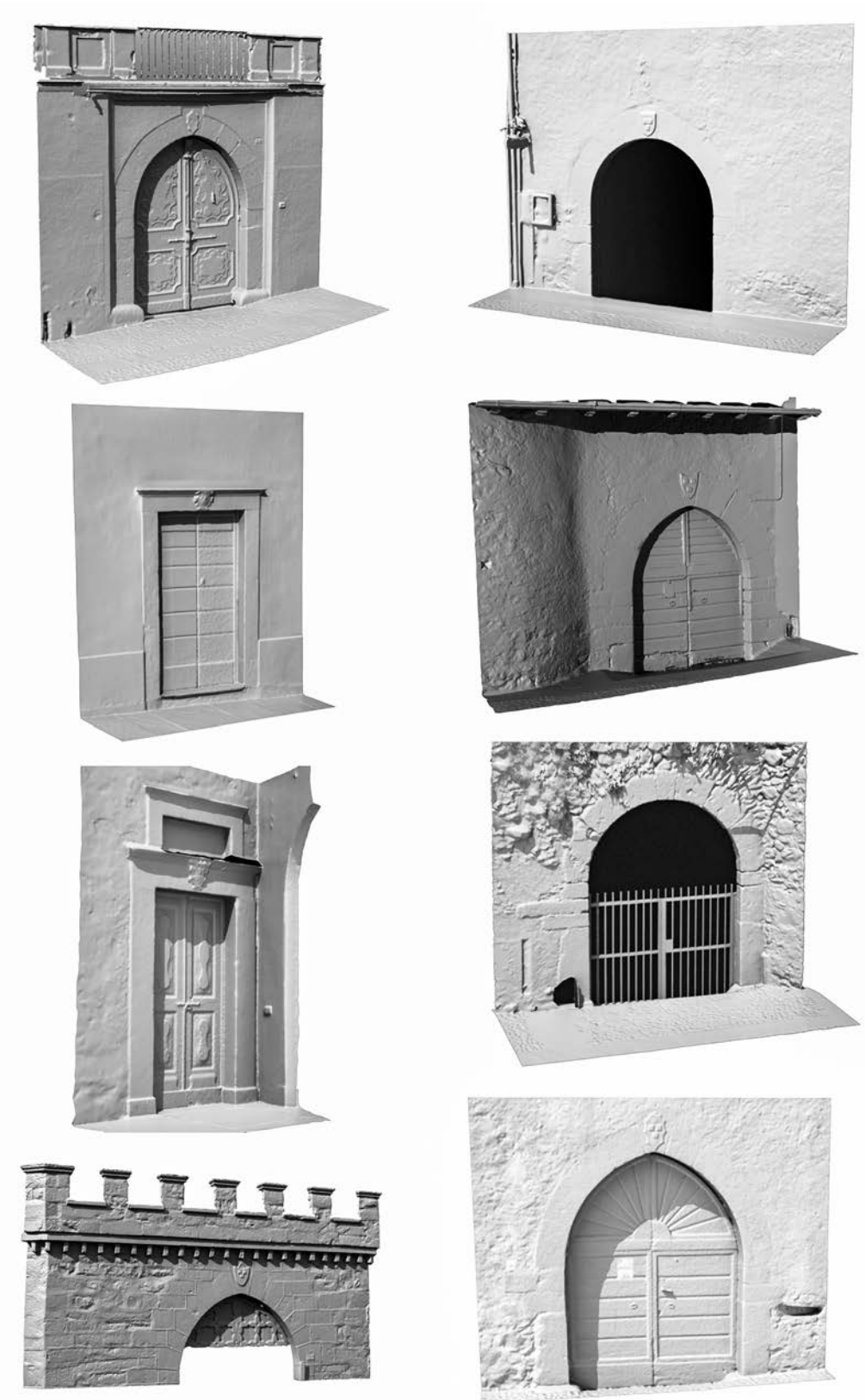


Figura 1. Portali emblematici del centro storico di Chiuro. Immagini estratte dai modelli 3D mesh, visibili nella piattaforma online Sketchfab™.

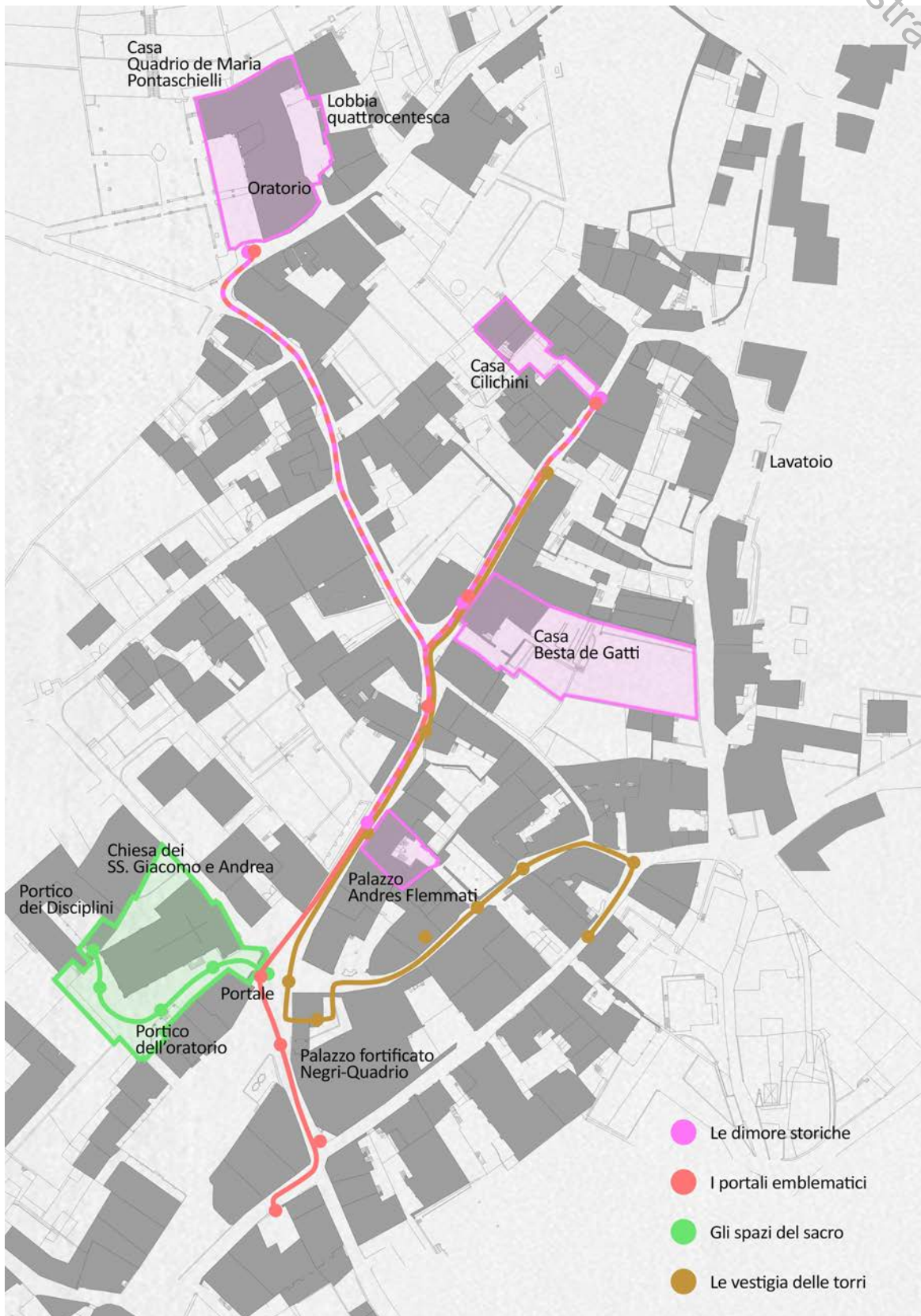


Figura 2. Percorsi tematici a Chiuro: architettura.

Quanto svolto su Chiuro può quindi considerarsi un progetto pilota di un settore di applicazione del digitale il cui fine è documentare e valorizzare città e territorio contemporaneamente incamerandone aspetti paradigmatici e complessi spesso dati per scontati, anche quando riguardavano vere e proprie emergenze patrimoniali. Come molte realtà italiane cosiddette “minori”, Chiuro presenta uno scenario urbano articolato che contiene, al suo interno, eccellenze naturali unite a quelle prodotte dal lavoro dell’uomo, dall’elevato valore simbolico, identitario e patrimoniale: un paesaggio sapientemente progettato in funzione della produzione agricola, che mette in evidenza dimore storiche, torri, portali, stemmi, ecc. Per conseguenza il progetto si è posto la finalità di impiegare la digitalizzazione come base di partenza per aprire ai cittadini, ai turisti e agli operatori del settore dei Beni Culturali, nuove modalità di fruizione e di visita, con uno sfondo prospettico verso lo sviluppo di possibili integrazioni sul piano sociale ed economico.

Nella direzione della ricerca, sotto il profilo scientifico, molti sono stati i progetti sviluppati nel corso degli ultimi due decenni che hanno avuto come obiettivo la comprensione delle potenzialità derivanti dalla conversione di realtà urbane minori – non per rilevanza storica o patrimoniale – in simulacri digitali da esperire online o in luoghi opportunamente predisposti attraverso l’allestimento di postazioni informatiche, *touch screen* e chioschi multimediali che sfruttassero le potenzialità di applicativi basati su tecnologie di *real-time rendering*<sup>3</sup>. Certamente oggi il panorama di software e hardware per raccogliere informazioni e restituirle in modo aperto e condiviso è molto cambiato rispetto alle prime sperimentazioni che avevano per oggetto la visualizzazione interattiva in 3D di una intera realtà urbana<sup>4</sup>. Oggi, peraltro, stanno prevalendo linee di ricerca incentrate sull’utilizzo del modello 3D come vettore di informazioni associate a database, superando il suo impiego quale mera raffigurazione tridimensionale di una città o parte di essa: rispetto a restituzioni fotorealistiche, effettivamente spesso fini a se stesse, oggi si preferisce indirizzare gli sforzi in una direzione multidisciplinare al cui centro troviamo l’uso prevalentemente gestionale dei simulacri digitali senza ricercare un elevato, e oneroso, livello di aderenza visiva al costruito<sup>5</sup>. Inoltre, il concetto di gemello digitale, più recentemente introdotto nella letteratura scientifica specialistica, costituisce un ulteriore avanzamento dei temi di ricerca sopra elencati a cui ne aggiunge uno ulteriore relativo all’utilizzo di dati in tempo reale per simulare, monitorare e ottimizzare il complesso dei fenomeni che interessano il Patrimonio Culturale<sup>6</sup>.

In questo contesto ampio e diversificato si colloca lo studio su Chiuro, che tuttavia ha visto l’avvio del suo progetto conclusivo poco prima della pandemia Covid-19 e che nel biennio di durata ha comportato una sostanziale ricalibrazione delle modalità di lavoro e anche degli obiettivi iniziali dell’intero progetto. Una prima strategia di promozione dei valori rappresentati nel progetto era prevista attraverso la disseminazione pubblica dei risultati delle diverse fasi, tramite workshop e conferenze da svolgersi a Chiuro in collaborazione con Enti, scuole e imprese del territorio. Necessariamente questa si è spostata interamente online, facendo emergere fin da subito la necessità di sfruttare al massimo tutti i materiali prodotti in occasione delle campagne di rilevamento pre-pandemiche; la difficoltà di comunicazione ha anche portato alla decisione di rendere pubblici gli stati di avanzamento del progetto mano a mano che venivano prodotti, compresi i “semilavorati”, per rendere partecipi gli enti coinvolti, i partner e la popolazione locale, mostrando il lavoro svolto attraverso piattaforme online dedicate alla visualizzazione dei modelli digitali da condividere mediante social network<sup>7</sup>. L’isolamento forzato, oltre a incrementare l’interesse del grande pubblico rispetto alle visite virtuali – basti pensare alle realtà museali

3. La letteratura scientifica sul tema è molto vasta, e documentata nella bibliografia dei recenti Merlo e Lavoratti (2024), Merlo e Dipasquale (2023).

4. Si veda in tal senso Bertocci et alii 2014.

5. Sul tema si veda Arroyo Ogori et alii (2017) e Bertacchi et alii (2021). Per una bibliografia aggiornata su CityGML, il cui fine è l’integrazione dei geodati urbani (pianificazione urbana, catasto 3D, viabilità e traffico, ecc.) si veda Tan et alii 2023.

6. Vd. Felicetti e Niccolucci 2023.

7. Si vedano, fra i diversi contenuti online presenti sulla pagina Facebook “Le Radici di una Identità” il video sullo stato di avanzamento del progetto del 21/04/2020: <https://www.facebook.com/RadiciSondrio/videos/il-centro-storico-di-chiuro-un-laboratorio-di-architettura/229946288095163>.

sostanzialmente private della propria funzione<sup>8</sup> – ha portato il gruppo di lavoro ad adottare forme di collaborazione a distanza, anche ai fini della formazione dei collaboratori al progetto sulle tematiche dell’informatica grafica. Le realtà amministrative (Comune di Chiuro, Comunità Montana), gli esperti e professionisti locali, i ricercatori e gli studenti universitari coinvolti a vario titolo nell’estensiva campagna di documentazione dei luoghi maggiormente rappresentativi della realtà di Chiuro, hanno dovuto interrompere le modalità abituali di lavoro per convertirle in riunioni online caratterizzate da lunghe sessioni di formazione sui temi del trattamento dei dati 3D finalizzate a rendere la loro portabilità compatibile con le risorse disponibili e con gli standard sviluppati specificatamente nell’ambito di questa azione. Fortunatamente a febbraio 2020 era conclusa una buona parte delle acquisizioni mediante Terrestrial Laser Scanner (TLS), e anche i risultati delle campagne fotogrammetriche realizzate precedentemente in occasione di workshop per la didattica e la ricerca avevano già documentato i caratteri cromatici di una serie consistente di edifici di rilevanza storica del borgo. Ciò ha permesso di indirizzare la disseminazione dei modelli digitali prodotti attraverso una nota piattaforma web<sup>9</sup>, che ha anche consentito di aggiungere alle rappresentazioni dei singoli edifici una serie di informazioni eterogenee mappate in 3D (informazioni storiche, tipologiche, stilistiche, percorsi di visita tematici, ecc.).

Questi modelli, opportunamente ottimizzati per il rapido download su smartphone ed altri *device*, sono da considerarsi polifunzionali: a partire dal loro utilizzo come prima disseminazione presso un pubblico eterogeneo, hanno costituito la base operativa di sperimentazione per individuare metodi e procedure necessarie alla loro fruizione interattiva, svolta anche in collaborazione con gli sviluppatori dell’applicazione interattiva di Chiuro, con l’obiettivo di far confluire la sommatoria dei singoli asset 3D e delle relative informazioni all’interno dell’*engine* impiegato per realizzare una esperienza immersiva ampia e ricca di suggestione.

### Protocolli di lavoro

L’individuazione di metodi e procedure che possano rendere compatibili e integrabili i dati provenienti dalla documentazione digitale del patrimonio costruito con le necessità operative e le modalità di lavoro di una azienda che sviluppa applicazioni videoludiche è ancora oggi un tema affrontato da una ampia schiera di ricercatori. In questo senso il progetto di Chiuro ha costituito una interessante sperimentazione, grazie alla collaborazione con LKA<sup>10</sup>, da sempre sensibile alle tematiche del rilevamento fotogrammetrico e all’ottimizzazione dei modelli che ne derivano avendo da anni implementato tali tecniche nel proprio flusso operativo. Del resto fin dal 2016 con una celebre presentazione<sup>11</sup> alla *Game Developers Conference*, Andrew Hamilton e Ken Brown di DICE (*Digital Illusions Creative Entertainment*) evidenziarono come i nuovi standard di qualità e rapidità di esecuzione di asset 3D per i videogiochi di classe tripla A sarebbero, da allora in poi, passati attraverso tecniche fotogrammetriche, evidenziando alcuni temi ricorrenti quali l’abbattimento dei tempi di modellazione, la parametrizzazione, il *texturing*.

Resta tuttavia nello sfondo una sostanziale dicotomia: la documentazione digitale prodotta per finalità tecniche (amministrazione, gestione, restauro del patrimonio costruito) presenta come elemento caratterizzante un elevato rigore metrico e cromatico, anche derivante dalla formazione dei rilevatori-modellatori sui temi legati ai concetti di errore, affidabilità, deviazione, ecc., mentre la raffinata *pipeline* produttiva dei modelli in ambito videoludico è caratterizzata da un elevato rigore topologico, una perfetta ombreggiatura in ogni condizione di

8. Vd. Apollonio et alii 2021.

9. I risultati del processo di rilievo e ottimizzazione sono confluiti nella pagina del CTLab del sito internet Sketchfab ([https://sketchfab.com/CTLAB\\_RAVENNA](https://sketchfab.com/CTLAB_RAVENNA)) che ha raggiunto 5340 visualizzazioni per i soli modelli relativi a Chiuro. Per dare un parametro che aiuti a collocare questa quantità di visualizzazioni rispetto a contesti museali di grande importanza nazionale come il Museo Archeologico Nazionale di Napoli dalla cui pagina ufficiale di Sketchfab è possibile ricavare l’informazione che la famosa scultura ellenistica del Toro Farnese (inv. 6002) presenta 347 visualizzazioni; il ritratto di Ramses II dalla pagina del British Museum conta 1565 visualizzazioni, mentre la Porta Maggiore di San Giacomo a Chiuro 1919 (consultazione 20 Aprile 2024).

10. <https://www.lka.it>

11. <https://www.ea.com/frostbite/news/photogrammetry-and-star-wars-battlefront>

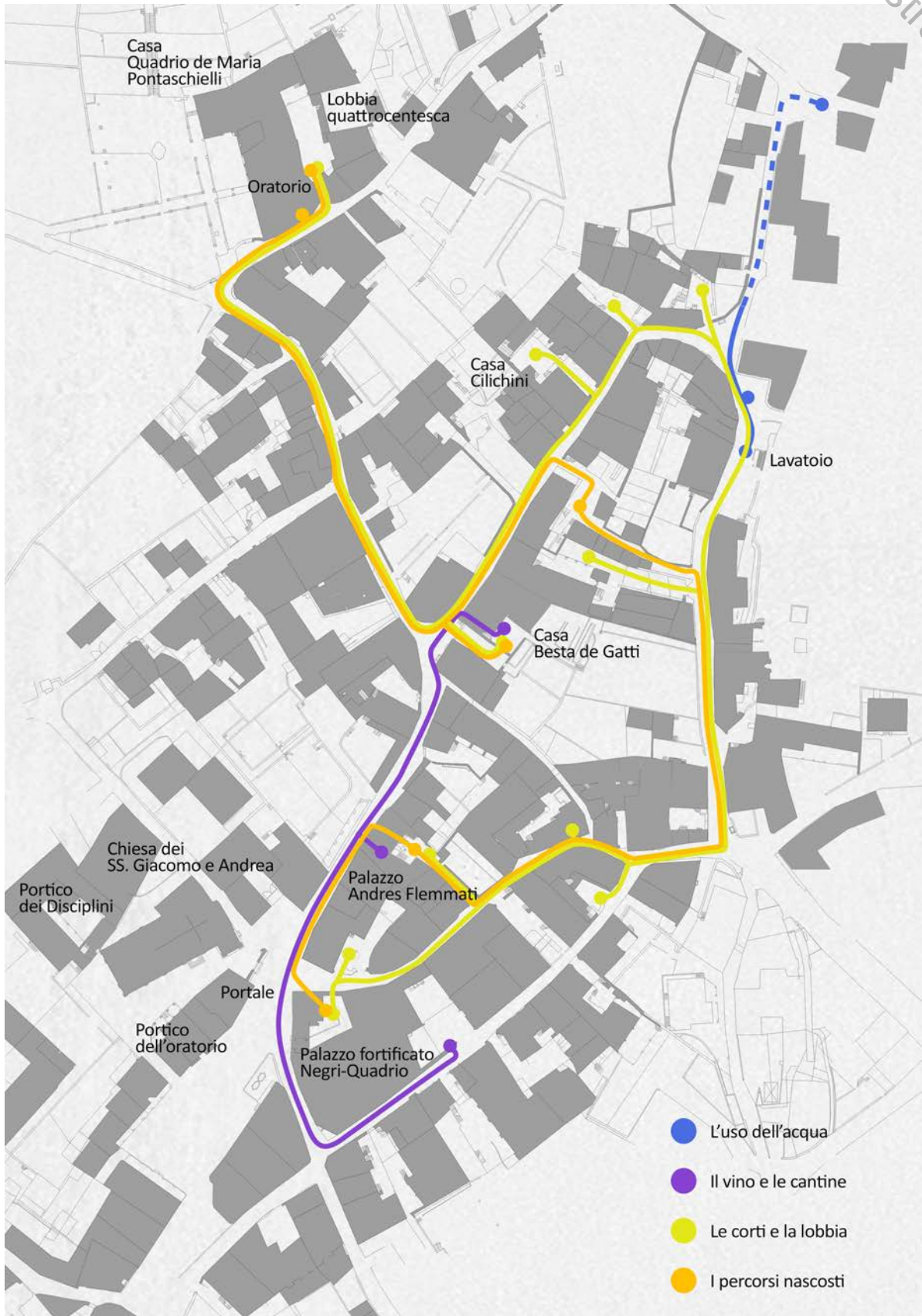




Figura 4. Pagina iniziale dell'applicazione esplorativa.

Nella pagina precedente

Figura 3. Percorsi tematici a Chiuro: società e produzione.

illuminazione, una parametrizzazione ottimizzata, ma con una limitata sensibilità rispetto al tema della misura. La percezione, spesso enfatizzata mediante stratagemmi<sup>12</sup>, è “al centro”, e la misura è un tema marginale o comunque secondario.

Un modello polifunzionale come quello sviluppato nella ricerca su Chiuro è stato progettato con l'obiettivo di operare una sintesi, quasi una sommatoria, di entrambe le sensibilità: l'alta densità della documentazione metrica è “compressa” grazie alle tecniche sviluppate nell'ambito dei *game engine* con il fine di garantire realismo ed elevata performatività visiva.

Un mutuo avvicinamento ai rispettivi problemi disciplinari si è quindi reso indispensabile per costruire un flusso controllato per l'elaborazione degli asset 3D, coerente con i protocolli di archiviazione e condivisione dei file 3D e delle relative texture. Realizzare un “gemello digitale” fotorealistico di una città, adatto ad una esperienza interattiva percettivamente coerente con il reale e anche capace di mantenere un'elevata aderenza al rilevamento analitico di partenza, passa attraverso un adattamento di entrambi i protocolli di elaborazione dei materiali di partenza. Se spesso in ambito videoludico si utilizzano asset derivanti da processi fotogrammetrici per aumentare la complessità visiva di scene che altrimenti risulterebbero troppo semplici, nel progetto si è perseguito un obiettivo pressoché opposto: partire da realtà complesse per procedere attraverso semplificazioni locali, a livello ad esempio di dettaglio o di tipologia di *texture*, tenendo conto dei caratteri che rendono un manufatto di rilevanza storica. Si individuano quindi gli elementi che sono per qualche ragione “semplificabili”, riducibili nella loro complessità morfologica, cercando di unire a semplificazioni locali del manufatto il ricorso, dove possibile, a texture replicabili (*seamless tiling*) per vaste aree caratterizzate da materiali omogenei, come ad esempio pavimentazioni, tetti, intonaci.

12. Un esempio è il ricorso a superfici denominate *bumped-specular*, cioè, corrugate e al tempo stesso speculari (riflettenti la fonte di illuminazione presente in scena). Dato che tale soluzione conferisce elevato impatto visivo senza comportare calcoli onerosi per la scheda video, è spesso impiegato per enfatizzare la forma di muri, pavimenti e altre superfici indipendentemente dalla realtà (<https://docs.unity.cn/Manual/shader-NormalBumpedSpecular.html>). Nel progetto è stato utilizzato lo shader di tipo *principled*, poiché consente di ottenere un elevato realismo visivo e offre il vantaggio di essere compatibile con vari motori di rendering (Hill et alii 2020; Burley 2012).



Figura 5. Alcune viste estratte dall'applicazione che permette l'esplorazione virtuale del borgo. Nelle immagini la chiesa dei SS. Giacomo e Andrea.

### Contesto tecnologico: vincoli e opportunità

La sintesi che occorre operare per rendere la consistente massa di dati eterogenei frutto delle campagne di rilevamento compatibile e aderente alle nozioni teoriche generali – indirizzi politici e metodologici su standard, usi corretti di risorse digitali, ecc. – non è una questione facilmente risolvibile e nemmeno riducibile a flussi di lavoro standardizzati, in ragione degli obiettivi posti a base del progetto di valorizzazione su Chiuro. In particolare, un tema che occorre sottolineare è come ad una campagna di acquisizione massiva, con sistemi eterogenei di acquisizione dati, non possa corrispondere un output meramente semplificato come quelli che, talvolta anche passivamente, vengono proposti da realtà commerciali come quelle di *software house* operanti a livello internazionale. In questo senso, un esempio paradigmatico è costituito da quelle procedure che prevedono la riduzione della complessità del patrimonio costruito acquisito digitalmente, mediante una strategia di modellazione che partendo da una serie di sezioni ottenute tramite piani di riferimento applicati sulle nuvole di punti al fine di estrarne profili 2D prevede la loro estrusione in applicativi parametrici, solidi o basati su NURBS: nonostante alcuni tentativi in tal senso<sup>13</sup>, effettuati durante la sperimentazione di progetto, tale soluzione è risultata non accettabile. La direzione di ricerca attuale maggiormente percorsa è quella di restituire rappresentazioni estremamente dettagliate<sup>14</sup>, ma indirizzate ad un pubblico di professionisti con formazione verticale, in grado cioè di “controllare” flussi di lavoro complessi. Queste vere e proprie filiere sono il risultato della conoscenza di numerosi applicativi afferenti al campo del *point cloud processing*, della fotogrammetria basata su tecnologie *SfM* e *DVS* e del *reverse modelling*, e i prodotti che ne derivano sono caratterizzati da una elevata qualità e densità di informazioni morfologiche, che tuttavia presentano un evidente limite di usabilità che costringe ad interrogarsi sul significato della “fedeltà” della rappresentazione che possono fornire proprio in ragione dei loro possibili utilizzi. Il limite, infatti, non è legato alla “triade” geomatica costituita da risoluzione, accuratezza e precisione<sup>15</sup> che tradizionalmente certifica la bontà del rilievo, ma alle sue reali possibilità di essere sfruttato pienamente in una restituzione interattiva; e la stessa domanda può essere ragionevolmente estesa a restituzioni HBIM di edifici o *cluster* di fabbricati.

Tornando al progetto, la risoluzione pianificata risulta, come per analoghe ricerche, sub-centimetrica; quindi ragionando su un esempio tipico di rilievo urbano si può facilmente dedurre che ad una facciata di circa 100 m<sup>2</sup> corrispondano dai 4 ai 6 milioni di punti a seconda che si usino scanner a tempo di volo o a variazione di fase (ma la densità dei dati potrebbe risultare anche maggiore senza grande sforzo). Mediante fotogrammetria, nel caso dei paramenti murari storici, caratterizzati da varietà di pigmentazioni e degrado, si possono ottenere analoghe risoluzioni senza dover ricorrere ad elaborati processi di filtratura delle immagini<sup>16</sup>. Questa mole di dati deve essere letteralmente eliminata in percentuali notevoli, con una decimazione dell'ordine di circa il 90-95%, affinché gli asset 3D possano essere compatibili con la gran parte dei *game engine* (o applicazioni web) al fine

13. Vd. Bertacchi et alii 2021.

14. Vd. Remondino 2011.

15. Vd. Guidi et alii 2010.

16. Vd. Gaiani et alii 2016.



Figura 6. Vista sintetica relativa al processo di creazione ed elaborazione dei modelli.

di ottenere una fluidità di movimento accettabile, con *frame rate* pari o superiore a 30 fotogrammi al secondo. Queste diverse esigenze stanno in ogni caso cercando una sintesi comune, come dimostrano ad esempio i recenti sviluppi del software di Epic Games che hanno portato all'implementazione della tecnologia "Nanite" all'interno di Unreal 5<sup>17</sup>, e che possono essere considerati come una svolta riguardo la quantità di informazioni geometriche elaborabili e velocemente visualizzabili all'interno di un *engine* per videogiochi. Nel caso specifico del rilievo urbano tramite sensori attivi e fotogrammetria, appare utile aggiungere qualche considerazione sulla tipologia di modelli adatti a questo genere di elaborazione automatica del LOD (*Level Of Detail*). Come spesso accade nel lavoro congiunto di modelli mesh da sensori (integrati o semplicemente mappati con tecniche fotogrammetriche) si presentano due condizioni che li rendono non perfettamente calzanti con l'utilizzo all'interno di *game engine* evoluti come quello di Epic Games:

- la prima è che i modelli ad alto dettaglio provenienti da fotogrammetria o da scanner sono morfologicamente e metricamente corretti, ma spesso incompleti presentando frequentemente aree di occlusione. La loro integrazione mediante applicativi di *reverse modelling* è un'operazione lunga e non sempre in grado di fornire risultati ottimali: ad esempio operare la chiusura del modello, cioè renderlo *watertight*, è spesso un'attività discrezionale che, se gestita interamente via software mediante chiusura di fori automatica può portare anche ad evidenti alterazioni formali; diversamente se si decide di optare per soluzioni ibride, parte manuali e parte automatiche, i risultati possono essere coerenti morfologicamente con l'oggetto reale ma non verificabili metricamente, e soprattutto estremamente laboriosi, tanto da risultare spesso non convenienti nell'economia complessiva di un progetto;
- una seconda condizione riguarda la parametrizzazione dei modelli da sensori attivi e passivi, dove questi ultimi possono risultare morfologicamente e metricamente coerenti rispetto all'oggetto rilevato, raggiungendo mesh di elevata qualità metrica ed elevata risoluzione, a cui può tuttavia corrispondere una pessima mappatura<sup>18</sup>. Il problema è legato alla parametrizzazione delle mesh ad alta risoluzione, dove i sistemi automatici di ri-proiezione dei fotogrammi e del loro *blending* nello spazio parametro ( $u,v$ ) si basano su

17. Per un approfondimento della tecnologia sviluppata da Epic Games si veda: [https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/nanite-virtualized-geometry-in-unreal-engine?application\\_version=5.0](https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/nanite-virtualized-geometry-in-unreal-engine?application_version=5.0) (consultazione 22/04/2024)

18. Vd. Cipriani et alii 2014.



Figura 7. Una vista dall'alto di Piazza Stefano Quadrio, scattata con un drone che mette in evidenza l'uniformità dei materiali di pavimentazioni e coperture (foto Geom. Ermes Folini, 28/02/2014).

soluzioni chiamate “atlas” che di fatto segmentano il modello in numerose isole caratterizzate dal medesimo andamento (medio) delle normali all'interno di specifiche soglie<sup>19</sup>. Su oggetti morfologicamente complessi e dettagliati l'“atlas” può presentare errori anche gravi, e non sanabili, di sovrapposizione fra poligoni che porta alla ri-proiezione dei medesimi pixel su più superfici. Per conseguenza, mancando la condizione di corrispondenza biunivoca fra immagine e modello, si presentano errori di attribuzione delle texture e quindi evidenti mancanze riguardo la coerenza con l'oggetto da rappresentare.

Queste due ragioni di per sé non hanno portato ad una esclusione a priori della tecnologia *Nanite* o comunque a LOD sviluppati sulla base dello studio di Hoppe<sup>20</sup> relativo alle *progressive meshes* e seguenti migliorie<sup>21</sup>, ma hanno indirizzato il gruppo di ricerca alla ricerca di soluzioni idonee a preservare l'autenticità delle opere e degli edifici rilevati.

### Soluzioni smart per la diffusione

La densità di informazioni disponibili mediante rilevamento digitale e la qualità della restituzione mediante sistemi di visualizzazione in *real-time* risulta quindi un binomio problematico sebbene gli avanzamenti di hard-

19. Vd. Zhang et alii 2020.

20. Vd. Hoppe 1996.

21. Vd. Scopigno et alii 2015.

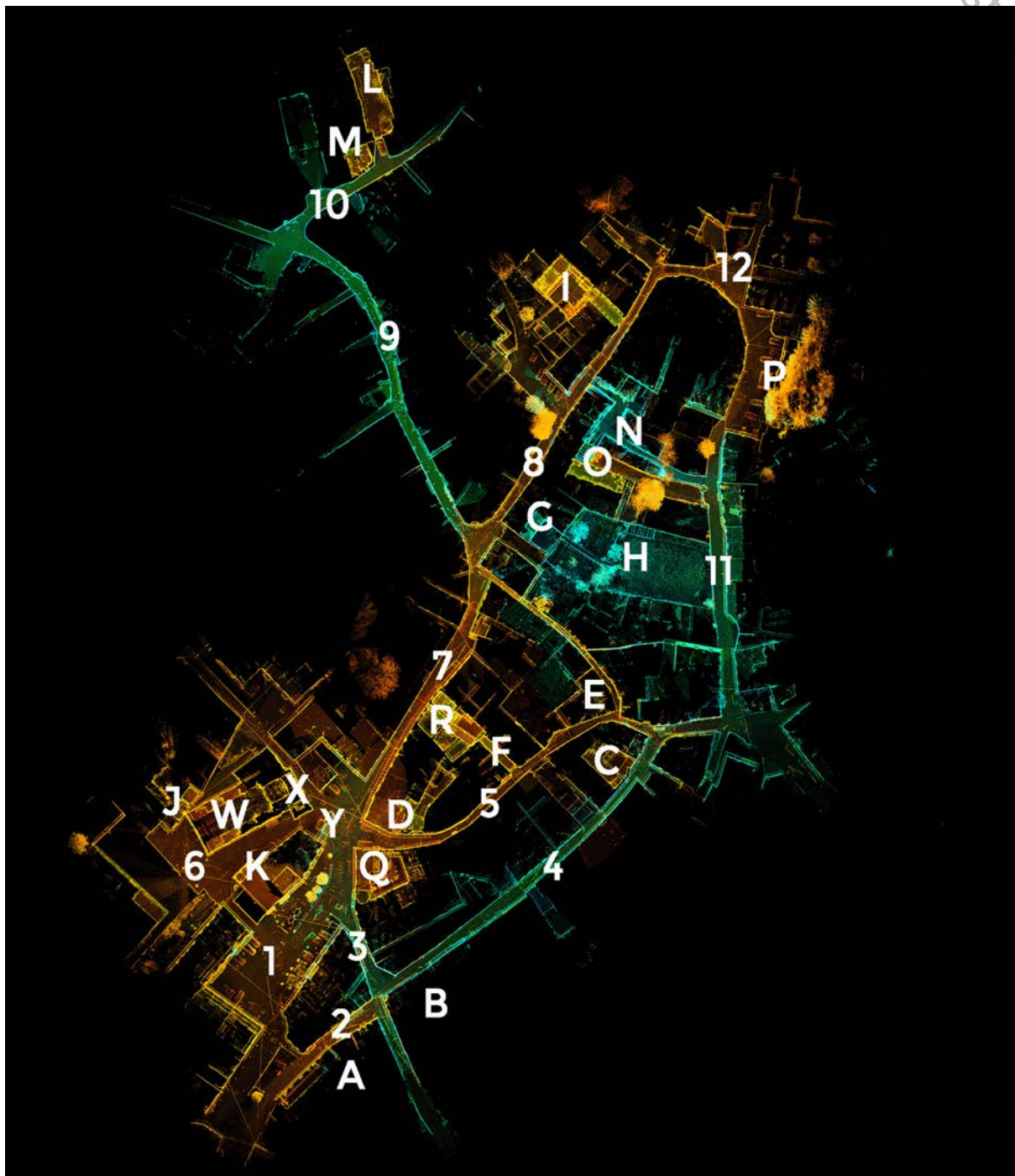


Figura 8. Planimetria con indicazione dei principali punti di interesse e punti emblematici presenti nell'applicazione.

ware e software consentano di avvicinare progressivamente il mondo dei modelli di rilievo, o *master model*<sup>22</sup>, alla fluidità della visualizzazione fotorealistica su *device* di fascia medio-alta.

Gli obiettivi del progetto prevedevano di utilizzare i modelli anche in funzione di attività di visualizzazione finalizzate alla promozione dei luoghi verso un pubblico vasto, e pertanto i rilievi ad alto dettaglio sono stati

22. Vd. Apollonio et alii 2012.

ottimizzati in modo da non risultare “chiusi”, o comunque limitati, a soluzioni che prevedessero l’impiego di hardware dedicato (*workstation, laptop high-end, ecc.*). I partner territoriali di progetto hanno ritenuto che la disseminazione attraverso smartphone avrebbe potuto raggiungere con maggiore facilità sia la popolazione locale quanto il possibile bacino turistico interessato al Patrimonio Culturale chiurasco.

Da qui la necessità di limitare il più possibile la dimensione digitale dei modelli dei singoli edifici e, allo stesso tempo, di preservare la densità di informazioni cromatiche e geometriche derivanti dai rilievi.

Il processo di “compressione” dei modelli digitali è stato analizzato in numerosi studi, teorici e applicativi, nell’ambito della *computer science*, con il risultato che ad oggi esistono fondamentalmente due tipologie di processo che operano diversamente sui modelli di partenza ad alto dettaglio: da un lato i modelli vengono decimati (passaggio da *high-poly* a *low-poly*) per ottenere una versione a dettaglio bloccato costituita da triangoli o quadrangoli, dall’altro i modelli *high-poly* vengono lasciati invariati per demandare al software il compito di semplificare la forma (LOD) sulla base di parametri come la prossimità dal punto di vista.

Il primo metodo di ottimizzazione, successivamente affinato e sviluppato a partire dagli studi di Cohen della fine degli anni ’90<sup>23</sup>, prevede il ripristino della sola ombreggiatura del modello ad alto dettaglio su quello a basso dettaglio costituito da triangoli o quadrangoli.

I modelli a dettaglio variabile (LOD), quando non sono utilizzati applicando sistemi evoluti di *morphing*, ossature e simulazione della dinamica dei corpi rigidi o deformabili, sono visualizzati attraverso sistemi di fusione dei bordi dei modelli poligonali (*edge collapse*) che consentono, all’allontanarsi dalle zone di interesse, di abbassare la risoluzione del modello 3D. Quest’ultima tecnologia, implementata in applicativi quali 3D HOP<sup>24</sup>, non consente tuttavia di adottare soluzioni raffinate per la simulazione del rapporto luce-materia che invece caratterizza i *game engine*. Un altro metodo finalizzato al ripristino del dettaglio geometrico è stato introdotto da Lee<sup>25</sup> e opera sulle superfici di suddivisione (SubD) con l’applicazione di *displacement map*; le soluzioni che ne derivano ottengono una elevatissima compressione della geometria e una capacità di aderire totalmente al modello master, risultando probabilmente le più eleganti sotto il profilo dei modelli LOD; tuttavia, richiedono sessioni di lavoro manuale abbastanza prolungate, soprattutto per la realizzazione di maglie quadrangolari di poligoni. Gli ambiti applicativi nei quali le *displaced subD* forniscono le migliori performance è quello dell’animazione di personaggi all’interno delle filiere degli effetti visuali (VFX), mentre l’analisi del rapporto tempi di elaborazione / benefici rende tale soluzione sfocata rispetto agli obiettivi del progetto.

Sulla base di tali considerazioni di carattere metodologico nella ricerca è stata sviluppata una filiera incentrata sul basso dettaglio selettivo dei modelli attraverso procedure semiautomatiche<sup>26</sup>. Il dettaglio bloccato dei modelli *low-poly* consente di ottenere buone performance anche su smartphone e quindi ottempera ad una delle richieste principali della committenza che intendeva consentire la visualizzazione e la condivisione dei modelli attraverso i canali social. D’altro canto, l’impiego di una tecnica ibrida di modellazione, in sinergia con mappe di normali, avrebbe consentito di preservare buona parte delle informazioni catturate da scanner e fotogrammetria, comprimendole in texture di largo uso all’interno di ogni programma di *real-time rendering*, compreso quello implementato nel sito internet Sketchfab<sup>TM</sup> dove i modelli parziali, finali e le fasi di elaborazione sono tuttora disponibili ad un largo pubblico.

### Struttura narrativa e applicazioni

Il progetto di ricerca si è sviluppato in un tempo relativamente lungo, con numerosi azioni di disseminazione di risultati parziali, ampiamente documentate dalla stampa locale, che hanno generato un insieme di relazioni in grado di collegare le realtà politiche operanti sul territorio con la varietà di professionisti operanti nel ramo

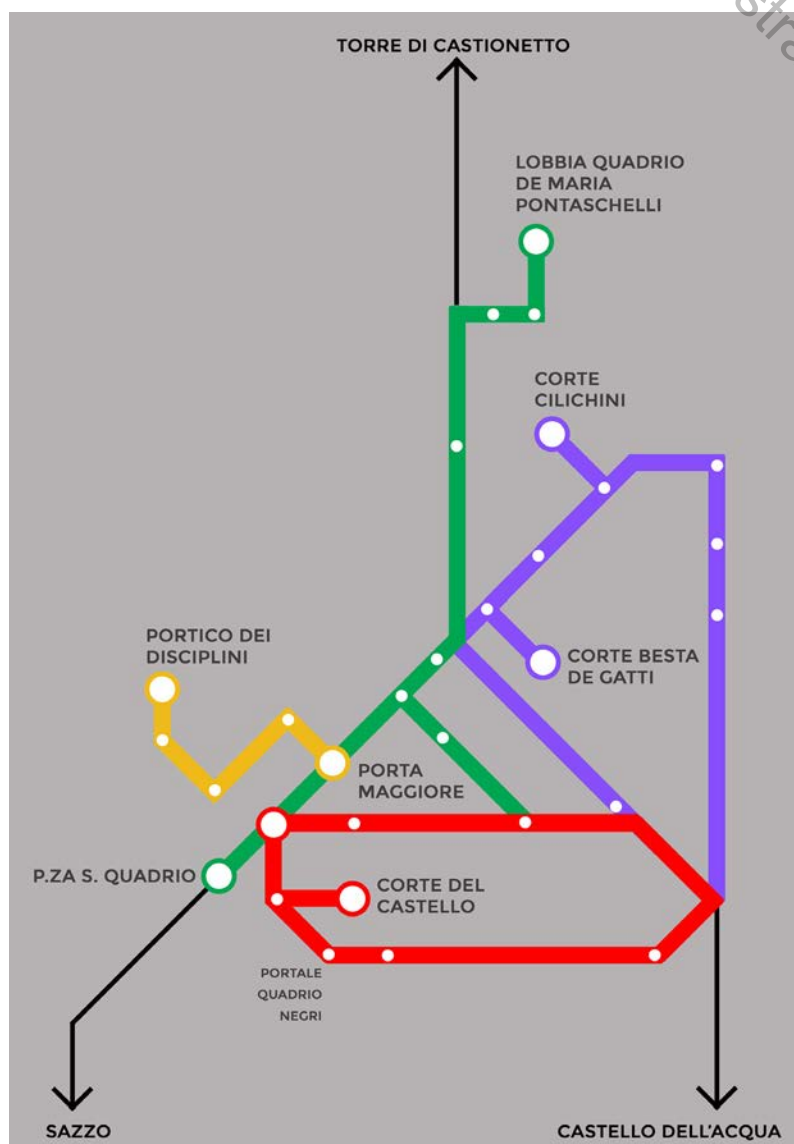
23. Vd. Cohen et alii 1998.

24. Vd. Potenziani et alii 2015.

25. Vd. Lee et alii 2000.

26. Vd. Apollonio et alii 2023.

Figura 9. Schema dei percorsi tematici sviluppati nell'applicazione esplorativa.



della formazione e della ricerca applicata; collaborazione che si è poi estesa anche a quelle componenti di cultura immateriale che stanno alla base del rapporto fra la cittadinanza ed i propri contesti di appartenenza. In questo senso la documentazione oltre ad includere il patrimonio costruito, si è ulteriormente estesa fino ad includere la registrazione di componenti tradizionali, tramandate oralmente, che permettono di esplicitare e rendere significativi i caratteri peculiari e distintivi nascosti, e custoditi, nel palinsesto murario delle singole abitazioni: dalle decorazioni architettoniche dei portali, agli elementi nobilitanti degli intonaci ottenuti con tecnica a sgraffito, agli affreschi, agli architravi decorati con stemmi dalla complessa simbologia, e ancora, le rappresentazioni pittoriche che popolano tanto i palazzi nobiliari quanto il patrimonio edilizio ecclesiastico. La digitalizzazione si è poi sviluppata verso la documentazione delle tecniche costruttive dei terrazzamenti coltivati a vite, in simbiosi con il prezioso e delicato sistema di approvvigionamento e gestione delle acque costituito dalle rogge, mettendo in stretto rapporto il territorio costruito con le risorse naturali presenti.

Chiuro è una realtà caratterizzata da una notevole varietà e ricchezza di temi e tracce di cultura materiale e immateriale da valorizzare, spesso difficili da rendere evidenti e comprensibili perché legati all'economia di epoche passate e ai relativi sistemi di vita. Per questo una delle sfide che il gruppo di ricerca ha affrontato è stata la messa a punto di un sistema di valorizzazione aperto, sempre implementabile, flessibile verso tematizzazioni oggi non

previste e che, pur impiegando metodi e media contemporanei, non finisse per svilire o impoverire, con semplificazioni troppo radicali, i caratteri profondi di un contesto costruito fondamentale per il territorio valtellinese. Da qui la volontà di evitare l'alterazione percettiva dei luoghi mediante l'impiego di forme di rappresentazione e narrazione digitali non coerenti con le peculiarità racchiuse nel sedime urbano, ma che, al contrario, traessero da queste la fonte di ispirazione. Numerosissimi sono infatti i suggerimenti che possono animare la visita virtuale di un luogo come Chiuro: opere d'arte racchiuse in dimore fortificate o nei suoi spazi pubblici come il "recinto sacro" costituito dal *temenos* di Largo Valorsa, o in spazi privati a uso pubblico quali le corti interne e le cantine, peraltro indissolubilmente legate alla realtà agraria della produzione vinicola e quindi espressione concreta dell'economia del territorio.

La costruzione di una narrazione corretta e trasparente è ancora oggi oggetto di numerosi studi e ricerche scientifiche, frutto di una non facile riflessione che dura da ormai alcuni anni, ispirata dalle raccomandazioni provenienti dalla più nota letteratura sul tema della valorizzazione di siti di interesse culturale mediante le ICT, come la London Charter<sup>27</sup> o la ICOMOS-Ename Charter for the Interpretation of Cultural Heritage Sites<sup>28</sup>. Un ragguardevole numero di pubblicazioni scientifiche hanno specificato e approfondito i problemi di coerenza, trasparenza e appropriatezza nell'uso delle tecnologie in rapporto alla valorizzazione del patrimonio costruito<sup>29</sup>, anche in relazione a differenziati casi di studio.

Nel caso di Chiuro, dove è la struttura urbana, e soprattutto il rapporto tra spazi pubblici e privati, unita all'uniformità delle soluzioni morfologiche espresse a costituire un unicum di grande interesse, si rende necessario e indispensabile un uso attento e consapevole delle ICT, con la messa a punto di un flusso di lavoro che consenta di individuare, preservare e comunicare correttamente i caratteri distintivi dei luoghi. Da questa ipotesi operativa sono stati sviluppati quattro differenti percorsi di visita, e gioco, strutturati secondo la duplice categoria dei punti di Interesse (PI) e dei punti Emblematici (PE): i primi stabiliti come estremi del percorso, i secondi come tappe indispensabili per sintetizzare la conoscenza attraverso un approfondimento degli elementi di cultura materiale e immateriale presenti nel sedime urbano e nei territori circostanti. La terminazione dei circuiti di visita, a seconda delle situazioni, può puntare verso elementi del territorio chiurasco che consentano di comprendere la relazione con altre emergenze urbane, architettoniche, paesaggistiche. I percorsi selezionabili rappresentano un sottoinsieme delle categorie generali di comprensione di Chiuro: dimore storiche, corti rurali e spazi aperti, luoghi della difesa, spazi del sacro, ambienti della produzione, sistema delle acque, portali emblematici. È così che la visita virtuale porta a circuiti chiusi o a percorsi lineari con le relative diramazioni, funzionali alla tipologia approfondita:

- torri, castelli e luoghi difensivi;
- luoghi del sacro, individuati nel recinto sacro che ruota attorno alla Chiesa dei SS. Giacomo e Andrea;
- cantine e luoghi della produzione vinicola;
- portali emblematici e lobbia cinquecentesca di Palazzo Quadrio De Maria Pontaschelli.

Le modalità di interazione con i PI ed i PE sono tali da consentire un approfondimento induttivo che permette di comprendere il senso complessivo di un edificio a partire dalla lettura sui punti portatori di interesse che sono abilitati avvicinandosi ai singoli edifici.

Il progetto ha messo in evidenza come attraverso la digitalizzazione e l'uso di tecnologie VR si possano sviluppare nuove forme di valorizzare del patrimonio costruito; adattandosi a mutate condizioni di interazione sociale e professionale, conseguenti alle restrizioni imposte dalla pandemia, ha approfondito modalità di collaborazione e disseminazione dei risultati del tutto nuove, sfruttando al massimo i materiali digitalizzati in momenti diversi e precedenti. In questo senso ha anticipato una tendenza attuale, prevalentemente caratteristica dell'ambito museografico, che utilizza i prodotti derivanti dalla digitalizzazione del patrimonio per creare repository facilmente navigabili e fruibili. Nel caso di Chiuro il tessuto urbano e le emergenze presenti sono stati trattati come se fossero una sorta di "collezione" di esempi emblematici da valorizzare, e da "ricucire" all'interno di una narrazione sviluppata attraverso collaborazioni multidisciplinari.

27. Vd. Denard 2012.

28. Vd. Silberman 2006.

29. Vd. Brusaporci e Trizio 2013.

Le sfide tecnologiche affrontate vanno quindi ben oltre il problema gestionale dell'organizzare e "comprimere" grandi quantità di dati poiché hanno aperto nuovi orizzonti di ricerca: dall'ambito della formazione a quello dell'impiego del medium videoludico con finalità di sviluppo economico (filiera turistica) e non ultimo quello del miglioramento della fruizione di documentazione tecnica da visualizzare interattivamente (modelli polifunzionali).

## Bibliografia

F.I. Apollonio, F. Fantini, S. Garagnani, S., *Lux in Tenebris: un flujo de trabajo para digitalizar y visualizar obras de arte pictóricas en contextos museísticos complejos*, in *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica*, vol. 28, n. 49, 2023, pp. 76-89. doi: 10.4995/ega.2023.19530.

F.I. Apollonio, F. Fantini, S. Garagnani, M. Gaiani, *A Photogrammetry-Based Workflow for the Accurate 3D Construction and Visualization of Museums Assets*, in *Remote Sensing*, vol. 13, 2021, pp. 486.

F.I. Apollonio, M. Gaiani, B. Benedetti, *3D reality-based artefact models for the management of archaeological sites using 3D GIS: A framework starting from the case study of the Pompeii Archaeological area*, in *J. Archaeol. Sci.*, vol. 39, 2012, pp. 1271-1287.

R. Balzani, S. Barzaghi, G. Bitelli, F. Bonifazi, A. Bordignon, L. Cipriani, S. Colitti, F. Collina, M. Daquino, F. Fabbri, B. Fanini, F. Fantini, D. Ferdani, G. Fiorini, E. Formia, A. Forte, F. Giacomini, V.A. Girelli, B. Gualandi, I. Heibi, A. Iannucci, R. Manganeli Del Fà, A. Massari, A. Moretti, S. Peroni, S. Pescarin, G. Renda, D. Ronchi, M. Sullini, M.A. Tini, F. Tomasi, L. Travaglini, L. Vittuari, *Saving temporary exhibitions in virtual environments: The Digital Renaissance of Ulisse Aldrovandi - Acquisition and digitisation of cultural heritage objects*, in *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, vol. 32, 2024, e00309, ISSN 2212-0548, <https://doi.org/10.1016/j.daach.2023.e00309>.

F. Bellini (a cura di), *La basilica della Santa Casa di Loreto. La storia per immagini nell'età digitale*, Roma 2019.

S. Bertacchi, G. Bertacchi, L. Cipriani, *Chiuro laboratory: integration of workflows from digital survey to optimised 3D urban models for interactive exploration*, in *Appl Geomat*, vol. 14, n.1, 2021, pp. 131-150. <https://doi.org/10.1007/s12518-020-00352-1>

S. Bertocci, S. Bua, S. Parrinello, F. Picchio, *Montepulciano 3D virtual models for urban planning and development of the urban environment*, in *DISEGNARECON*, vol. 7, n. 13, 2014, pp. 1-20. <https://doi.org/10.6092/issn.1828-5961/4152>

S. Bertocci, F. Cioli, A. Cottini, 2023. *Unlocking cultural heritage: leveraging georeferenced tools and open data for enhanced cultural tourism experiences*, in *Proceedings of the 20th International Conference on Culture and Computer Science: Code and Materiality (KUI '23)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2023, articolo 6, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1145/3623462.3623474>

R.G. Boboc, E. Băutu, F. Gîrbacia, N. Popovici, D.M. Popovici, *Augmented Reality in Cultural Heritage: An Overview of the Last Decade of Applications*, in *Applied Sciences*, vol. 12, n. 19, 2022, pp. 9859. <https://doi.org/10.3390/app12199859>

S. Brusaporci, I. Trizio, I., *La "Carta di Londra" e il Patrimonio Architettonico: riflessioni circa una possibile implementazione*, in *SCIRES-IT*, vol. 3, n. 2, 2013, pp. 55-68, e-ISSN 2239-4303, DOI 10.2423/i22394303v3n2p55

B. Burley, *Physically-based shading at Disney*, in *SIGGRAPH Course*, 2012.

L. Cipriani, F. Fantini, S. Bertacchi, *3D models mapping optimization through an integrated parameterization approach: cases studies from Ravenna*, in *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, vol. XL-5, 2014, pp. 173-180, <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-173-2014>

J.D. Cohen, M. Olano, D. Manocha, *Appearance-preserving simplification*, in *Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, 1998.

A. Felicetti, F. Niccolucci, *Gemelli digitali e gestione dei dati del patrimonio culturale*, in *Conferenza GARR 2023 - Saperi interconnessi - Selected Papers, Firenze, 14-16 giugno 2023*. ISBN: 978-88-946629-2-4.

M. Gaiani, F. Remondino, F.I. Apollonio, A. Ballabeni, *An Advanced Pre-Processing Pipeline to Improve Automated Photogrammetric Reconstructions of Architectural Scenes*, in *Remote Sensing*, vol. 8, 2016, pp. 178. <https://doi.org/10.3390/rs8030178>

Governo della Repubblica Italiana. *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)*. 30 aprile 2021. Approvato dal Council of the European Union il 13 luglio 2021. <https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf>

G. Guidi, M. Russo, J.-A. Beraldin. *Acquisizione 3D e modellazione poligonale*. McGraw-Hill Education, 2010.

S. Hill, S. McAuley, L. Belcour, W. Earl, N. Harrysson, S. Hillaire, N. Hoffman, L. Kerley, J. Patry, R. Pieké, I. Skliar, J. Stone, P. Barla, M. Bati, I. Georgiev, *Physically based shading in theory and practice*, in *ACM SIGGRAPH 2020 Courses (SIGGRAPH '20)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, articolo 11, 2020, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1145/3388769.3407523>

H. Hoppe, *Progressive meshes*, in *Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. New York, New York, USA: ACM Press. 1996, pp. 99-108. doi:10.1145/237170.237216

A. Lee, H. Moreton, H. Hoppe, *Displaced subdivision surfaces*, in *Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '00)*. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., USA, 2000, pp. 85-94. <https://doi.org/10.1145/344779.344829>

A. Merlo, L. Dipasquale, *Gamification for community engagement in heritage and sustainability*, in L. Dipasquale, S. Mecca, L. Montoni (a cura di), *Heritage for people. Sharing vernacular knowledge to build the future*, Firenze, 2023, pp. 170-175, ISBN: 9788833382005

A. Merlo, G. Lavoratti, *Documenting Urban Morphology: From 2D Representations to Metaverse*, in *Land*, MDPI, Basel, Switzerland, vol. 13, n. 2, 2024, pp. 1-15, ISSN: 2073-445X, DOI: 10.3390/land13020136

K. Arroyo Oho, F. Biljecki, A. Diakité, T. Krijnen, H. Ledoux, J. Stoter, *Towards an integration of GIS and BIM data: what are the geometric and topological issues?*, in *ISPRS Ann Photogramm Remote Sens Spatial Inf Sci*, vol. IV-4/W5, 2017, pp. 1-8. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-4-W5-1-2017>.

M. Potenziani, M. Callieri, M. Dellepiane, M. Corsini, F. Ponchio, R. Scopigno, *3DHOP*, in *Comput. Graph.*, vol. 52, n. C, 2015, pp. 129-141. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2015.07.001>

F. Remondino, *Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning*, in *Remote Sensing*, vol. 3, 2011, pp. 1104-1138. <https://doi.org/10.3390/rs3061104>

N. Silberman, *The ICOMOS-Ename Charter Initiative: Rethinking the Role of Heritage Interpretation in the 21 st Century*, in *The George Wright Forum*, vol. 23, n. 1, 2006, pp. 28-33. <http://www.jstor.org/stable/43597973>

Y. Tan, Y. Liang, J. Zhu, *CityGML in the Integration of BIM and the GIS: Challenges and Opportunities*, in *Buildings*, vol. 13, 2023, pp. 1758. <https://doi.org/10.3390/buildings13071758>

C. Zhang, M.-F. Xu, S. Chai, X.-M. Fu, *Robust atlas generation via angle-based segmentation*, in *Comput. Aided Geom. Des.*, vol. 79, 2020, pp. 101854. <https://doi.org/10.1016/j.cagd.2020.101854>

J. Zhang, W.A.J. Wan Yahaya, M. Sanmugam, *The Impact of Immersive Technologies on Cultural Heritage: A Bibliometric Study of VR, AR, and MR Applications*, in *Sustainability*, vol. 16, n. 15, 2024, pp. 6446. <https://doi.org/10.3390/su16156446>