

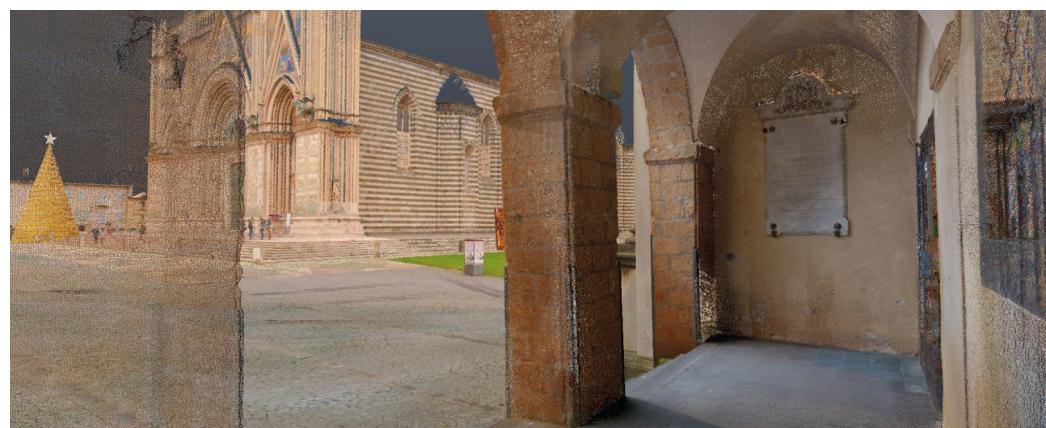
Il Duomo di Orvieto e il suo territorio: Storia, Paesaggio e transizione digitale

Daniele Calisi
Alessandro Cannata
Maria Grazia Cianci
Andrea Gullotta

Abstract

Il contributo proposto esamina la funzione identitaria del Duomo di Orvieto nel paesaggio umbro, ponendo la costruzione di un *digital twin* quale dispositivo di tutela e valorizzazione. Si evince come la cattedrale e la piazza siano polarità iconografico-urbane. L'approccio critico sullo stato dell'arte sulla digital documentation dei beni culturali ha evidenziando la necessità di modelli 3D ad alta densità integrati nel tessuto cittadino. L'indagine adotta un protocollo multi-scala che integra rilievo aero-fotogrammetrico con UAS e laser-scanner statici e mobili basati su SLAM; la data-fusion ha generato una nuvola di 1,2 miliardi di punti per la fabbrica gotica e oltre 900 milioni per il centro storico, sintetizzata in un modello texturizzato di 51 milioni di facce. Il corpus metrico-radiometrico costituisce una infrastruttura conoscitiva per diagnosi conservative, simulazioni d'intervento, *virtual heritage* e applicazioni ludico-educative, assicurando monitoraggi replicabili a costi contenuti. Lo studio argomenta che un *digital twin* territoriale configura un paradigma operativo per la gestione sostenibile del patrimonio, fondato su approcci interdisciplinari e capace di alimentare percorsi formativi avanzati e sperimentazioni tecnologiche.

Parole chiave
Digital twin, duomo di Orvieto, progetto di digitalizzazione, tutela del patrimonio, rilievo integrato.



Nuvola di punti del
contesto del Duomo di
Orvieto generata con
Laser Scanner Mobile
NavVis VLX 3 (immagine a
cura degli autori).

L'Umbria, il territorio orvietano, il Duomo di Orvieto: radici storiche e sviluppo iconografico

È evidente come l'Umbria, regione dalle radici storico culturali plurimillenarie, abbia forgiato la propria identità su una geomorfologia eterogenea: colline, vallate fluviali, altopiani; che ha favorito la nascita di centri urbani di primaria rilevanza quali Perugia, Spoleto, Gubbio e Orvieto (fig.1) [Andreani 2014, pp. 177–188; Franchetti Pardo 2014; Della Valle 1791, pp. 91–101].



Fig.1 La *Chorographia Tusciae*, opera di Girolamo Bellarmato pubblicata a Roma nel 1536. Fonte: www.gallica.bnf.fr

Quest'ultima, arroccata su una rupe di tufo vulcanico, costituì sin dall'età etrusca un nodo strategico, cultuale e commerciale; nel XIII secolo, in fase comunale, conobbe un'intensa prosperità economico artistica [Fumi 1891a, pp. 167–185; Luzi 1866, pp. 1–18; Stopponi 2012, pp. 631–654].

In tale contesto si colloca la fondazione del Duomo (1290), ambizioso progetto civico spirituale innescato dal Miracolo di Bolsena (1263). La cattedrale, dedicata a S. Maria Assunta, si distingue per la facciata tricuspidale, il rosone centrale e la raffinata sintesi, di matrice gotica, fra plasticità scultorea e cromie musive, configurandosi quale *unicum* nell'architettura italiana.

Sin dal regolamento municipale del 1285 fu prescritta la creazione di una vasta piazza antistante e il divieto di nuove edificazioni, a tutela del 'respiro urbano' necessario alla piena percezione monumentale; principi riaffermati dal D.M. 1924 e dai vincoli del 1955, che hanno scongiurato trasformazioni speculative e mantenuto l'egemonia visiva del Duomo sull'impianto urbano. L'integrità di tale vuoto scenografico ha consolidato la centralità identitaria dell'edificio, chiaramente attestata nelle cartografie fra XVI e XVIII secolo, dove la sagoma della cattedrale emerge nitida sul tessuto abitativo e diviene cardine iconografico dell'intero territorio orvietano (fig.2) [Cimbolli Spagnesi 2020, pp. 113–165; Manfredi 2018, pp. 25–48; Zampi 1889, pp. 5–29].

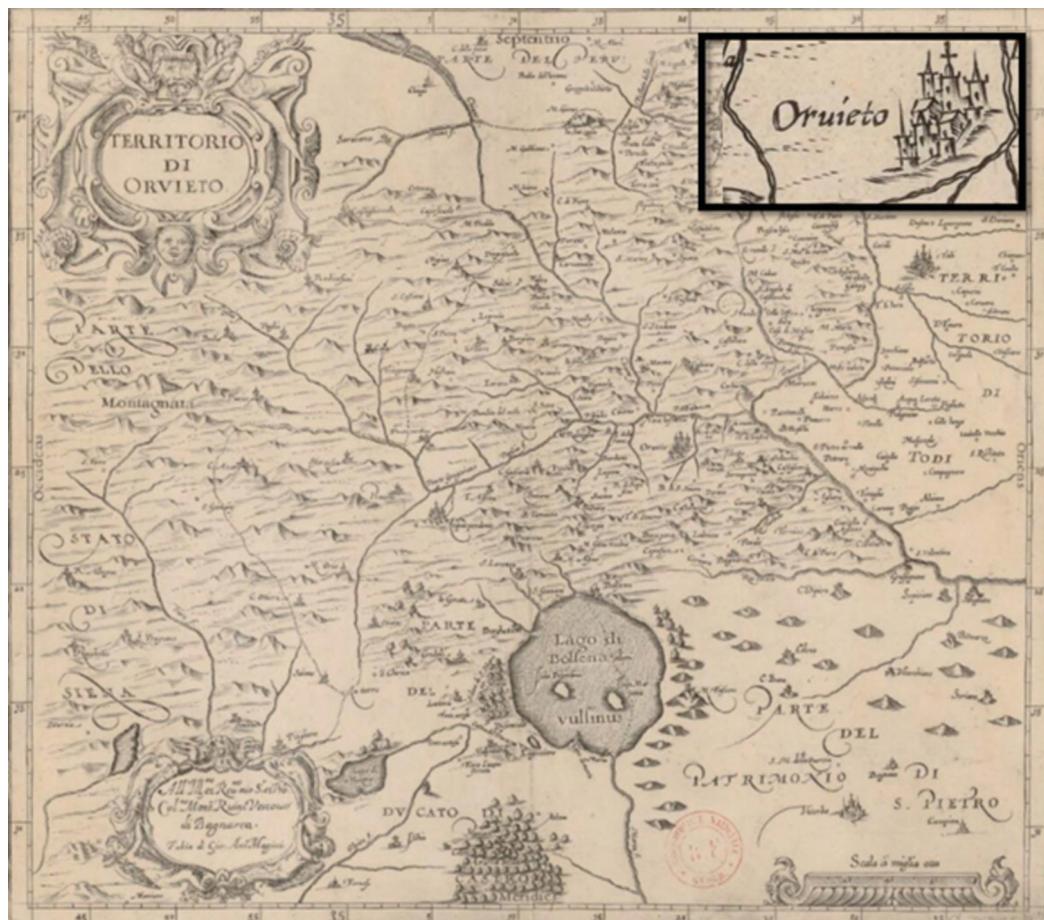


Fig.2 La carta Territorio di Orvieto, realizzata da Giovanni Antonio Magini tra il 1599 e il 1600.
Fonte: www.gallica.bnf.fr



Fig.3 Litografia in seppia raffigurante una veduta panoramica di Orvieto realizzata da G.B. Moore a partire da un disegno di E. Lear; è tratta dall'opera 'The Ecclesiastical Architecture of Italy' di H.G. Knight, Londra 1843. Fonte: www.idealaramaps.com

Questa monumentalità, ponte estetico simbolico fra spazio urbano e paesaggio, giustifica oggi interventi di tutela e di un progetto di digitalizzazione atti a preservare, monitorare e comprendere un territorio tanto significativo e per proteggere l'anima del paesaggio, che nel Duomo riconosce un'autentica radice identitaria (fig.3) [Marini 2012, pp. 34–107].

Verso un *digital twin* del Centro Storico di Orvieto: il rilievo aero-fotogrammetrico del Duomo

Il progetto di rilievo e digitalizzazione nasce dall'esperienza maturata nella realizzazione di un primo *virtual tour* immersivo della nuvola di punti relativa al Museo Emilio Greco e alle sue opere, ospitato al piano terra del trecentesco Palazzo Soliano, situato accanto al Duomo di Orvieto. Da tale esperienza è emersa la volontà di ampliare la visione progettuale verso la costruzione di un *digital twin* esteso, capace di restituire non solo l'architettura del Duomo ma anche il suo contesto urbano, evitando una decontestualizzazione dell'opera architettonica e storica. L'obiettivo principale è dunque quello di digitalizzare in maniera sistemica il tessuto urbano di Orvieto, capendo le modalità e gli strumenti più efficaci e ponendo le basi per future applicazioni che spaziano dalla divulgazione interattiva e dal *virtual heritage* alla diagnostica edilizia. Tale modello tridimensionale può infatti essere impiegato in ambiti eterogenei: dalla valorizzazione turistica tramite piattaforme immersive e *gaming*, fino a forme di analisi comparative per il monitoraggio dello stato conservativo delle superfici murarie e per interventi mirati in ambito architettonico. Inoltre, la conoscenza metrico-morfologica derivabile da questi modelli consente di analizzare in maniera approfondita le relazioni spaziali tra il Duomo e il suo intorno, costituendo una base solida per studi futuri e per una progettazione urbana più consapevole.

Il racconto storico e architettonico del Duomo di Orvieto ci restituisce l'immagine di un monumento simbolo che, da secoli, domina la rupe e il territorio umbro circostante. Tuttavia, la piena comprensione del suo stato di conservazione e delle sue caratteristiche spaziali richiede oggi un progetto di digitalizzazione con l'apporto di tecnologie moderne, capaci di integrare i metodi di studio tradizionali con tecniche e tecnologie di indagine innovative e tali da consentire analisi estremamente accurate, economiche, rapide e soprattutto facilmente ripetibili e confrontabili. È in questo contesto che si inserisce il rilievo integrato fotogrammetria/scansione laser del Duomo e del contesto circostante.

L'impiego integrato dei sistemi UAS (*Unmanned Aerial System*) consente di acquisire dati in modo rapido, sicuro e ad alta risoluzione. L'interesse per queste tecnologie nasce dall'esigenza di studiare, documentare e monitorare porzioni del territorio, architetture o monumenti di grande rilievo storico, come Orvieto ed il suo Duomo, spesso difficili da raggiungere o invasivi con i metodi tradizionali.

I droni, dotati di fotocamere ad alta definizione, acquisiscono immagini multiple con sovrapposizione adeguata, in modo da coprire l'intero perimetro del monumento o dell'area di interesse. Gli algoritmi di *Structure from Motion* (SfM) individuano punti omologhi all'interno delle varie foto e consentono la generazione di nuvole di punti rade e dense, cioè insiemi costituiti da coordinate spaziali e informazioni di colore. A partire da queste nuvole di punti, si possono derivare ortofoto, sezioni, piante, prospetti e modelli 3D texturizzati, che assumono una grande utilità nella digitalizzazione, nel restauro e nella divulgazione di paesaggi e beni culturali [Docci 2005, pp. 77–152; Remondino 2010, pp. 85–100].

Oltre alla praticità e alla sicurezza, l'uso di UAS nel rilievo del Duomo e del contesto urbano di Orvieto offre il vantaggio di minimizzare le tempistiche e permette anche l'accesso a zone elevate o, più in generale, complicate da indagare con piattaforme terrestri. Le attrezzature più recenti consentono inoltre di georeferenziare i dati con precisione centimetrica, grazie a sistemi di posizionamento differenziale associati a tradizionali o a ricevitori GNSS (*Global Navigation Satellite System*) integrati nella strumentazione.

In seguito alla campagna fotografica strutturata per il rilievo si procede all'allineamento delle immagini e la generazione del modello digitale, includendo fasi di calibrazione interna della fotocamera, correzione delle distorsioni dell'obiettivo e associazione dei *marker* (punti di controllo), utili per incrementare ulteriormente la precisione assoluta del rilievo. Il risultato

finale è un “Modello Digitale Tridimensionale” del Duomo di Orvieto e dell’area circostante. Nel caso di Orvieto, il rilievo fotogrammetrico del Duomo, della Piazza, degli edifici circostanti, dei Palazzi Papali, del Palazzo Soliano, della Torre dell’Orologio e del contesto urbano, si è svolto in una giornata dedicata interamente alle operazioni di volo e di acquisizione fotografica. Sono state scattate circa 8.800 fotografie ad alta risoluzione con sensori *Full Frame* da 48Mpx, organizzate secondo procedure di volo completamente manuali che garantissero la necessaria sovrapposizione e copertura integrale dell’edificio. L’elaborazione e la gestione dei dati, successivamente, hanno richiesto tempi più lunghi a causa della grande mole di immagini da processare. I risultati ottenuti evidenziano la *dense cloud*, cioè la nuvola di punti densa generata dagli algoritmi SfM, formata da oltre un miliardo e duecento milioni di punti, un numero significativo che esprime l’accuratezza e la definizione del rilievo. Da questa nuvola è stato poi derivato, attraverso un processo di *meshing*, un modello 3D con oltre 51 milioni di facce, capace di riprodurre con notevole realismo le forme e i dettagli architettonici del Duomo (fig.4).

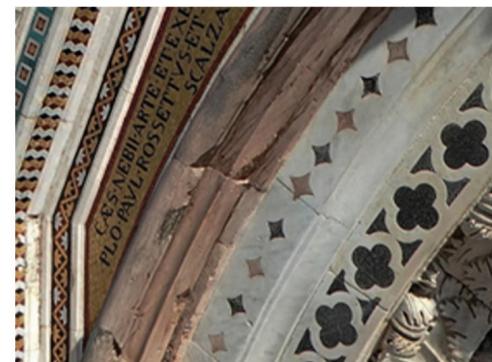


Fig.4 Nuvola di punti densa del duomo di Orvieto e dei dettagli generata dal rilievo aero-fotogrammetrico effettuato con sistemi UAS (l’immagine a cura degli autori).

Tecnologia laser statica e mobile per la mappatura del Duomo di Orvieto ed il suo contesto

L’ultima tappa delle indagini svolte a Orvieto si è concentrata sull’utilizzo e integrazione di tecnologie a scansione laser per acquisire dati geometrici e cromatici degli interni e del contesto urbano, integrando sistemi laser statici quali il Faro Focus S70 e sistemi laser *mobile*

a tecnologia SLAM quali il NavVis VLX 3, uno strumento (attualmente solo 3 in uso nel territorio italiano) di mappatura mobile capace di acquisire dati in modo continuo e ad altissima densità. Questa tecnologia, che combina sensori LiDAR e fotocamere panoramiche integrate, permette di generare in breve tempo una nuvola di punti completa e georiferita, offrendo una visione dettagliata del tessuto urbano e delle architetture intorno al Duomo, in grado di coprire anche gli spazi di minori dimensioni e le strade più strette del centro storico (fig.5).



Fig.5 A sinistra: scansione della Cappella di San Brizio con Faro Focus S70. A destra: scansione della piazza del Duomo con NavVis VLX 3 (Immagini di proprietà degli autori).

La fase di pianificazione della scansione mobile del contesto urbano, nello specifico, è stata condotta con particolare cura, considerando le caratteristiche morfologiche delle vie e la presenza di dislivelli, nonché il livello di affluenza turistica tipico di una giornata invernale. È stato definito un diametro di circa 400 metri attorno alla cattedrale, così da ottenere un raggio d'azione sufficientemente ampio da documentare i fronti esterni del Duomo, i vicoli antistanti e le aree limitrofe di maggiore interesse. Sono stati inoltre valutati i possibili effetti legati alle condizioni meteorologiche: la scelta di una mattinata con cielo coperto ma privo di precipitazioni ha consentito di evitare ombre troppo marcate, favorendo una registrazione uniforme delle superfici. Il percorso di rilievo, stimato in circa 1,5 chilometri di cammino, è stato tracciato con l'obiettivo di restituire una visione a 360 gradi di piazze, vicoli e punti panoramici. In questo modo, chi conduceva la scansione ha potuto mantenere un passo lento e costante, concedendo al NavVis VLX 3 il tempo necessario per catturare dati tridimensionali e immagini panoramiche a intervalli regolari. L'avvio dell'acquisizione è avvenuto in Piazza del Duomo 26, sul lato sud-est della cattedrale, dopo una rapida procedura di calibrazione e sincronizzazione dello strumento (fig.6).

Durante il tragitto si è attraversata una serie di strade e vicoli che offrivano differenti viste sul Duomo, talvolta a quote diverse rispetto al piano della piazza. È stato possibile documentare non solo la parte frontale della cattedrale, ma anche le aree retrostanti, integrando nel rilievo le porzioni del tessuto urbano che, in precedenza, erano state coperte soltanto in modo parziale. In circa 38 minuti di rilevazione effettiva, si sono registrati milioni

di coordinate che, una volta importate in un software specializzato, hanno generato una nuvola di punti di eccezionale ricchezza: circa 900 milioni di punti.

La fase di post-elaborazione, avviata nei giorni successivi, ha richiesto un accurato processo di pulizia e registrazione della nuvola di punti. I dati raccolti, provenienti dalle diverse posizioni assunte dallo strumento lungo il percorso, sono stati dapprima allineati, sfruttando riferimenti topologici e *match* visivi tra zone adiacenti. Successivamente, con l'aiuto di un algoritmo automatizzato integrato nel programma di elaborazione dati si è proceduto alla correzione degli artefatti dovuti a soggetti in movimento o superfici riflettenti. L'esito finale si configura come una nuvola di punti di elevatissima definizione, in cui la componente cromatica, ottenuta dalle fotocamere integrate, contribuisce a migliorare la lettura del territorio e a supportare eventuali analisi su fenomeni di degrado, cromie dei materiali o incidenze di agenti atmosferici (figg.7-10).

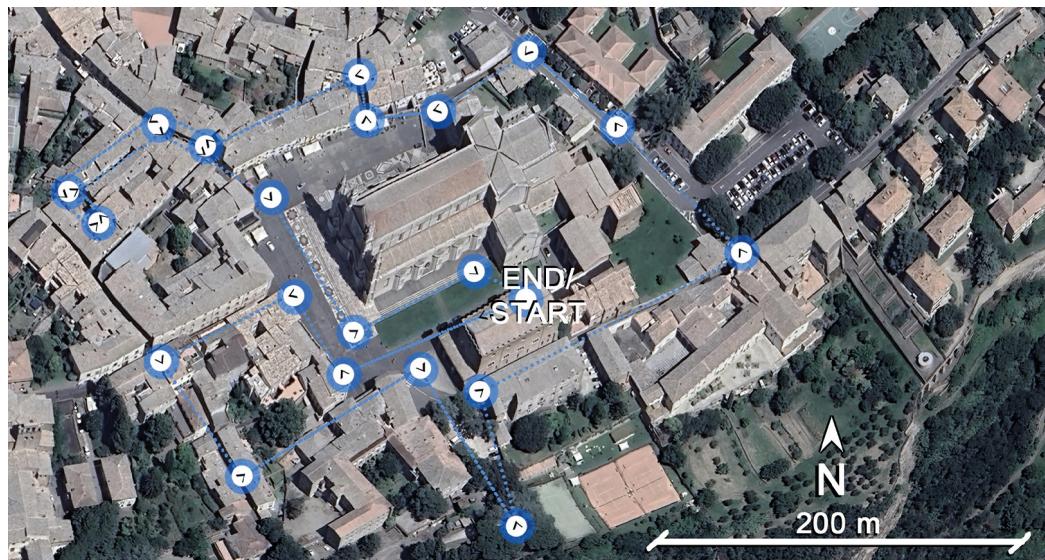


Fig.6 Progetto planimetrico della campagna di rilievo dell'area circostante il Duomo di Orvieto (immagine a cura degli autori).



Fig. 7 Nuvola di punti densa che rappresenta l'interno del Duomo sezionato, scansionato tramite il laser scanner Faro Focus S70 inserito nel contesto di Orvieto acquisito con drone e NavVis VLX3 (immagine a cura degli autori).



Fig.8 Nuvola di punti densa complessiva del centro storico di Orvieto e dettaglio di un vicolo generata dal rilievo effettuato con NavVis VLX 3 (immagine a cura degli autori).



Fig.9 Risultato del rilievo integrato tra sistemi UAS (esterno Duomo), Faro Focus S70 (interno Duomo), NavVis VLX 3 (contesto) (immagine a cura degli autori).



Fig.10 Risultato del rilievo integrato tra Sistemi UAS (esterno Duomo), Faro Focus S70 (interno Duomo), NavVis VLX 3 (contesto). A confronto con Primo catasto particolare dello Stato Pontificio, promosso da Pio VII nel 1816 e attivato da Gregorio XVI nel 1835. Dettaglio della tavola del Catasto Gregoriano del duomo di Orvieto. Fonte: immagine a cura degli autori e www.imagoarchiviodistatoroma.cultura.gov.it

Verso una digitalizzazione integrata: opportunità di valorizzazione e prospettive future

La ricchezza metrica e radiometrica prodotta dall'integrazione delle varie tecniche di telelavoramento dimostra come un programma di digitalizzazione rigoroso possa costituire un *corpus* informativo solido, indispensabile per la gestione, la tutela e la valorizzazione del patrimonio: dal medesimo impianto dati nascono ortofoto, modelli 3D texturizzati, analisi morfologiche, simulazioni di restauro, piani di conservazione, monitoraggi multitemporali,

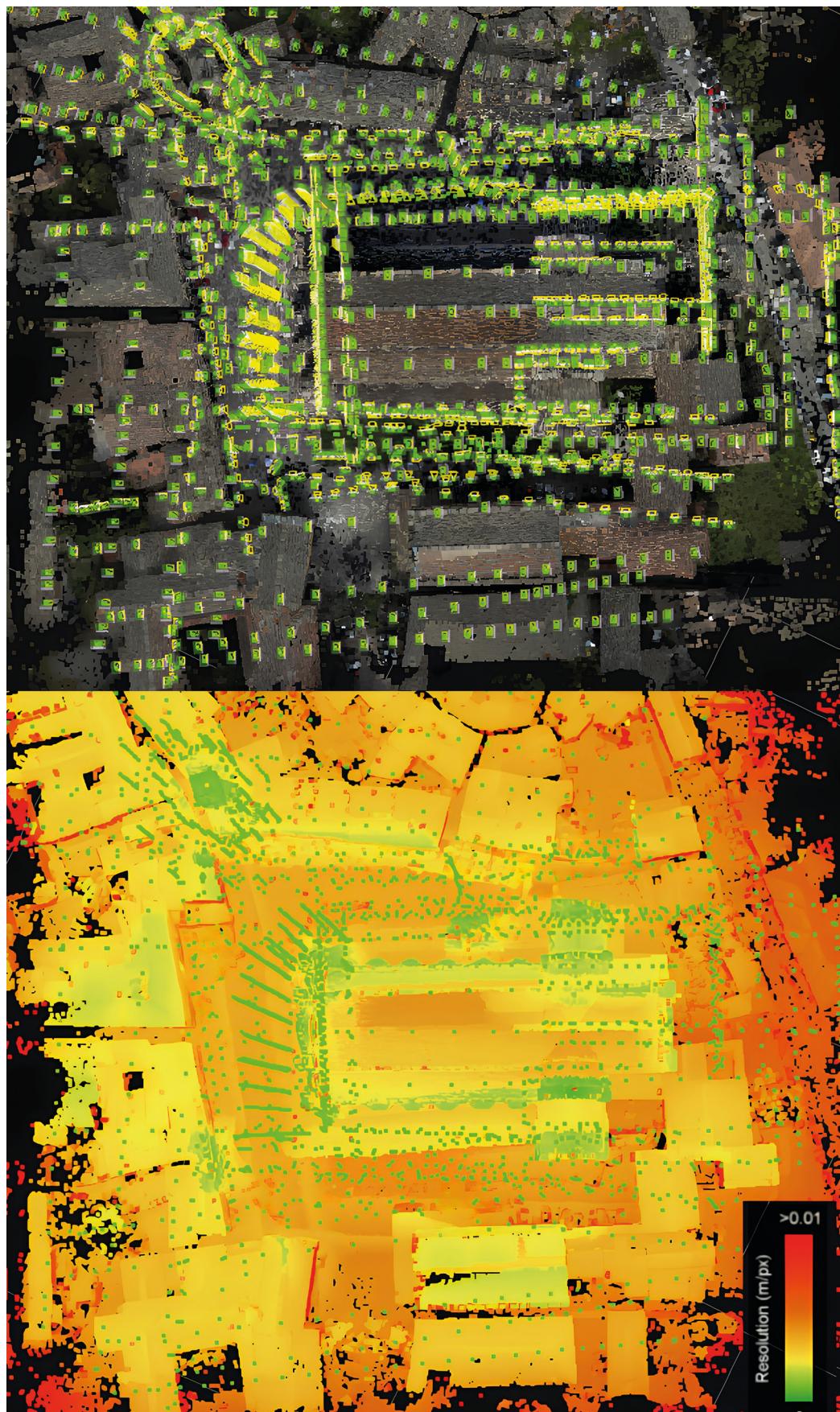


Fig.11 Risultato del rilievo integrato tra Sistemi UAS (esterno Duomo), Faro Focus S70 (interno Duomo), NavVis VLX 3 (centro) con evidenziata la risoluzione della nuvola di punti (immagine a cura degli autori).

valutazioni del rischio, *serious game* e ricostruzioni virtuali (figg. 11-12). Il confronto tra i dataset rivela divergenze sostanziali: la fotogrammetria ravvicinata del Duomo fornisce un GSD elevato, ideale per letture stratigrafiche e diagnosi precoce del degrado, mentre il laser-scanner dinamico urbano restituisce una nuvola omogenea perfetta per modellazioni volumetriche e analisi cinematiche di larga scala, ma meno efficace sul dettaglio materico; tale eterogeneità impone strategie di *data-fusion* multilivello, nelle quali i modelli ad alta definizione vengono gerarchicamente innestati nel contesto a densità inferiore tramite LOD e *mesh simplification*. La visualizzazione *point-based* priva di *texture* assume, poi, una valenza ecrastica: la navigazione immersiva della nuvola densa diventa una 'passeggiata visiva' capace di restituire forme naturali e componenti paesaggistiche spesso neutralizzate dai processi di *meshing*, amplificando la dimensione narrativa del bene culturale e consentendo di 'abitare con la luce' lo spazio digitale. Affinché tale potenziale si dispieghi appieno, è imprescindibile un approccio multidisciplinare capace di coniugare competenze tecnico-scientifiche, sensibilità progettuale e saperi umanistici, così da salvaguardare l'identità storica e paesaggistica di Orvieto proiettandola nel futuro.

In quest'ottica, la ricerca rimane deliberatamente aperta e si configura come un processo incrementale destinato a evolversi in stretta sinergia con il Comune di Orvieto. Tra le iniziative già programmate si annoverano i *workshop in situ* previsti per maggio 2025 nell'ambito del Dottorato di Ricerca in 'Architettura Città Paesaggio' del Dipartimento di Architettura di Roma Tre, nonché lo sviluppo di tesi afferenti al Master biennale internazionale di secondo livello 'ARPA' del medesimo Ateneo. A tali attività si affiancheranno ulteriori convenzioni e accordi di collaborazione con l'Amministrazione comunale, volti ad ampliare il quadro conoscitivo, sperimentare metodologie innovative e tradurre i risultati scientifici in strategie operative di tutela e valorizzazione duratura.



Fig.12 Risultato del rilievo integrato tra Sistemi UAS (esterno Duomo), Faro Focus S70 (interno Duomo), NavVis VLX 3 (contesto). Prospetto - sezione con quote altimetriche e scala metrica (immagine a cura degli autori).

Crediti

La ricerca presentata è stata resa possibile grazie al contributo dell'Opera del Duomo di Orvieto, in particolare al Consiglio di Amministrazione rappresentato dal Presidente Ing. Andrea Taddei, per l'accoglienza nel Palazzo dell'Opera e la possibilità di accedere a documenti storici, nonché per le concessioni nell'esecuzione dei rilievi, sia esterni che interni, della Cattedrale. L'impegno dell'Opera nella tutela e valorizzazione del patrimonio dimostra una visione lungimirante volta a preservarne e diffonderne l'eredità. Grazie a questa collaborazione il capitale identitario del Duomo si traduce in un percorso condiviso di studio e innovazione, in continuità con la tradizione dell'istituzione.

Riferimenti bibliografici

- Andreani, L. (2014). Cronotassi. In V. F. Franchetti Pardo, *La cattedrale di Orvieto: origine e divenire. Scritti editi e inediti* (pp. 177–188). Orvieto–Perugia: Deputazione di Storia Patria per l'Umbria.
- Cimboroli Spagnesi, P. (2020). Il duomo di Orvieto prima e dopo i restauri del XIX e XX secolo. Problemi aperti e implicazioni storiografiche. In P. Cimboroli Spagnesi (a cura di), *Studi sull'architettura del Duomo di Orvieto* (pp. 113–165). Roma: Sapienza Università Editrice.
- Della Valle, G. (1791). *Storia del Duomo di Orvieto* (pp. 91–101). Roma: Tipografia Pagliarini.
- Docci, M. (2005). *Metodologie innovative integrate per il rilevamento dell'architettura e dell'ambiente* (pp. 77–152). Roma: Gangemi Editore.
- Franchetti Pardo, V. F. (2014). *La cattedrale di Orvieto: origine e divenire. Scritti editi e inediti*. Perugia: Deputazione di Storia Patria per l'Umbria.
- Fumi, L. (1891a). *Il Duomo di Orvieto e i suoi restauri; monografie storiche condotte sopra i documenti*. (pp. 167–185). Roma: Società Laziale Tipografica.
- Fumi, L. (1891b). *Orvieto. Note storiche e biografiche* (pp. 1–22). Città di Castello: Tipografia dello Stabilimento S. Lapi.
- Luzi, L. (1866). *Il Duomo di Orvieto descritto e illustrato* (pp. 1–18). Firenze: Tipografia Galletti.
- Manfredi, C. V. (2018). Nuove precisazioni sull'architettura perduta del Duomo di Orvieto. *Quaderni dell'Istituto di Storia dell'Architettura*, pp. 25–48.
- Marini, V. (2013). *Immagini, percezioni e realtà dell'Umbria tra età moderna e contemporanea* (pp. 34–107). Progetto cofinanziato dal Fondo Sociale Europeo (FSE) nell'ambito del Programma Operativo Regionale Umbria 2007–2013. Perugia: Regione Umbria.
- Remondino, F., Rizzi, A. (2010). Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites—techniques, problems, and examples. *Applied Geomatics*, 2(3), pp. 85–100. <https://doi.org/10.1007/s12518-010-0025-x>
- Stopponi, S. (2012). Orvieto, Campo della Fiera – *Fanum Voltumnae*. In N. Thomson De Grummond, I. Edlund-Berry (a cura di), *The Archaeology of Sanctuaries and Ritual in Etruria* (Supplementary Series 81, Journal of Roman Archaeology, pp. 631–654). Portsmouth: Journal of Roman Archaeology.
- Zampi, P. (1889). Notizie sui lavori di restauro eseguiti per la copertura del Duomo di Orvieto. *L'Ingegneria Civile e le Arti Industriali*, XV, pp. 5–29.

Autori

Daniele Calisi, Università degli Studi di Roma Tre, daniele.calisi@uniroma3.it
Alessandro Cannata, Università degli Studi di Roma Tre, alessandro.cannata@uniroma3.it
Maria Grazia Cianci, Università degli Studi di Roma Tre, mariagrazia.cianci@uniroma3.it
Andrea Gullotta, MG Servizi di Ingegneria S.r.l., andrea.gullotta.01@gmail.com

Per citare questo capitolo: Daniele Calisi, Alessandro Cannata, Maria Grazia Cianci, Andrea Gullotta (2025). Il Duomo di Orvieto e il suo territorio: Storia, Paesaggio e transizione digitale. In L. Carlevaris et al. (A cura di), *èkphrasis. Descrizioni nello spazio della rappresentazione/èkphrasis. Descriptions in the space of representation*. Atti del 46° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione. Milano: FrancoAngeli, pp. 2405–2428. DOI: 10.3280/oa-1430-c881.

The Cathedral of Orvieto and its Territory: History, Landscape and the Digital Transition

Daniele Calisi
Alessandro Cannata
Maria Grazia Cianci
Andrea Gullotta

Abstract

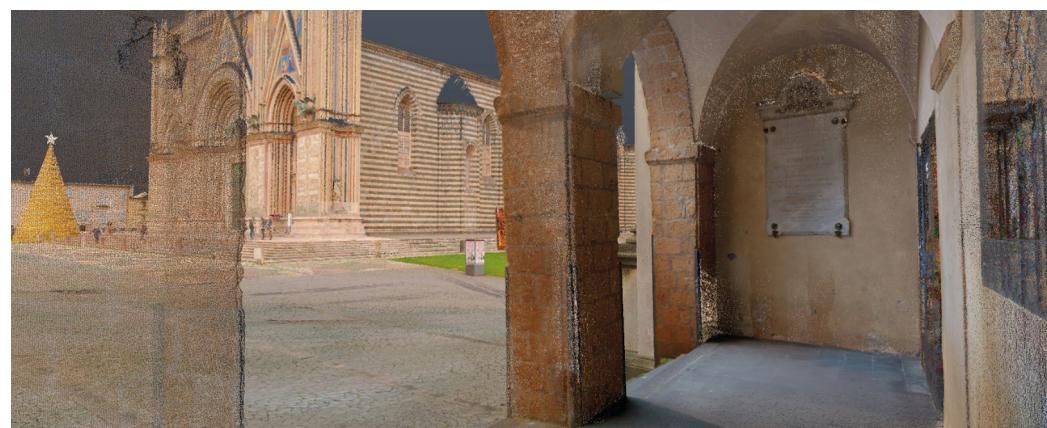
This paper explores the identity shaping role of Orvieto Cathedral within the Umbrian landscape, proposing the construction of a digital twin as a tool for protection and enhancement. The cathedral and its square emerge as true iconographic urban poles. A critical review of the state of the art in the digital documentation of cultural heritage highlights the need for high density 3 D models embedded in the urban fabric.

The study adopts a multi scale protocol that combines aerial photogrammetric survey with UAS and both static and mobile SLAM based laser scanners. Data fusion produced a point cloud of 1.2 billion points for the Gothic edifice and over 900 million for the historic centre, synthesised into a textured model of 51 million faces.

The resulting metric–radiometric corpus forms a knowledge infrastructure for conservation diagnostics, intervention simulations, virtual heritage experiences and edu gaming applications, enabling repeatable, low cost monitoring. The research argues that a territorial digital twin offers an operational paradigm for sustainable heritage management, grounded in interdisciplinary approaches and capable of powering advanced training and technological experimentation.

Keywords

digital twin, Orvieto Cathedral, digitisation project, heritage conservation, integrated survey.



Point cloud of the Orvieto Cathedral context generated with the NavVis VLX 3 mobile laser scanner (image by the authors).

Umbria, the Orvieto territory, and Orvieto Cathedral: historical roots and iconographic development

It is evident that Umbria, a region whose cultural and historical roots stretch back millennia, has forged its identity upon a varied geomorphology of hills, river valleys, and high plateaus. This landscape encouraged the emergence of major urban centres such as Perugia, Spoleto, Gubbio, and Orvieto (fig.1) [Andreani 2014; pp. 177–188; Franchetti Pardo 2014; Della Valle 1791, pp. 91–101].



Fig.1 *Chorographia Tusciae*, by Girolamo Bellarmato, published in Rome in 1536. Source: www.gallica.bnf.fr

Perched on a volcanic tuff cliff, Orvieto has served as a strategic, religious and commercial hub since Etruscan times; during the communal phase of the thirteenth century it enjoyed marked economic and artistic prosperity [Fumi 1891a, pp. 167–185; Luzzi 1866, pp. 1–18; Stopponi 2012, pp. 631–654].

Within this context came the foundation of the Cathedral (1290), an ambitious civic spiritual venture sparked by the Miracle of Bolsena (1263). Dedicated to St Mary of the Assumption, the cathedral is distinguished by its triple gabled façade, its central rose window and a refined Gothic inspired blend of sculptural plasticity and polychrome mosaics, making it a unique landmark in Italian architecture.

As early as the municipal by law of 1285, the creation of a broad square in front of the church was prescribed, together with a ban on new building, so as to preserve the “urban breathing space” needed for full monumental perception. These principles were reaffirmed by the Ministerial Decree of 1924 and by heritage restrictions imposed in 1955, which thwarted speculative transformation and maintained the cathedral’s visual dominance over the city layout.

The integrity of this scenographic void has cemented the building’s identity forming centrality, clearly documented in sixteenth to eighteenth century cartography, where the cathedral’s silhouette stands out sharply against the urban fabric and becomes the iconographic pivot of the entire Orvieto territory (fig.2) [Cimbolli Spagnesi 2020, pp. 113–165; Manfredi 2018, pp. 25–48; Zampi 1889, pp. 5–29].

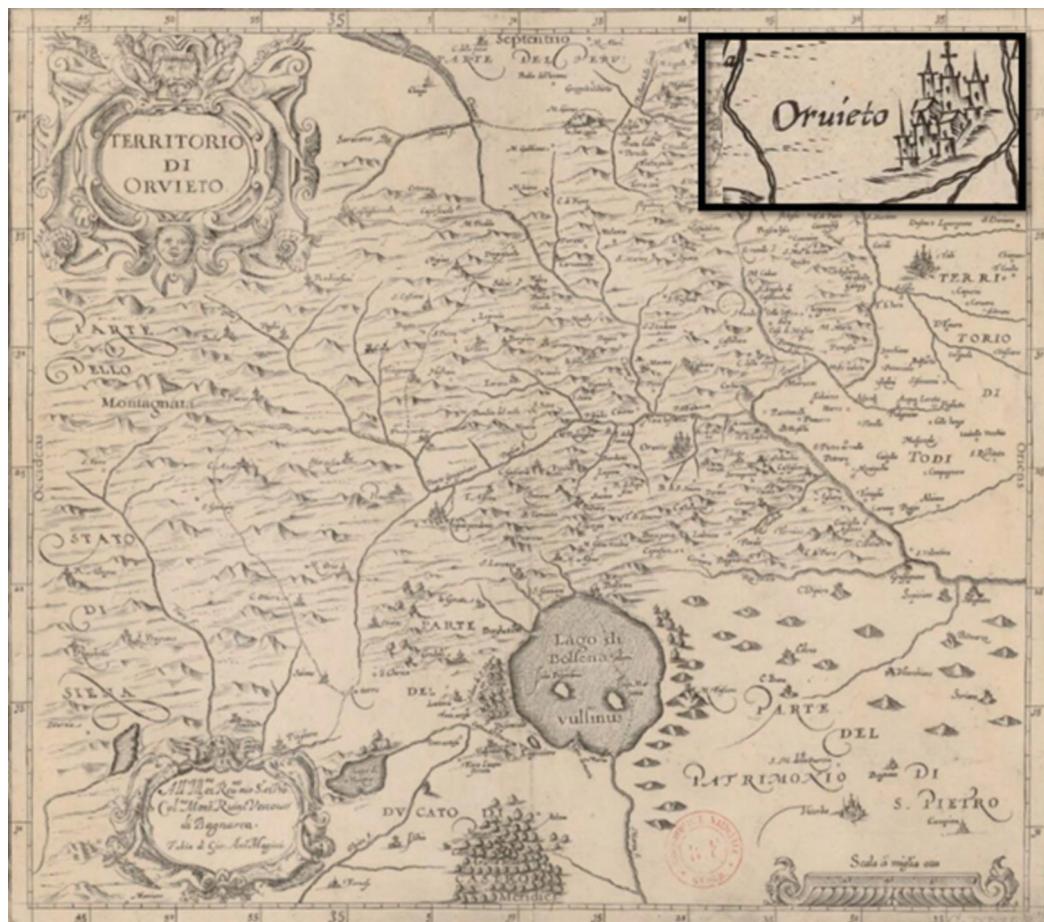


Fig.2 Territorio di Orvieto, map drawn by Giovanni Antonio Magini between 1599 and 1600. Source: www.gallica.bnf.fr



Fig.3 Sepia lithograph showing a panoramic view of Orvieto, produced by G. B. Moore from a drawing by E. Lear, taken from H. G. Knight's The Ecclesiastical Architecture of Italy, London 1843. Source: www.ideararemaps.com

This monumentality—an aesthetic and symbolic bridge between urban space and landscape—today calls for protective measures and a digitisation project aimed at preserving, monitoring and understanding such a significant territory, and at safeguarding the very soul of the landscape, which sees in the Cathedral an authentic root of identity (fig.3) [Marini 2012, pp. 34–107].

Towards a Digital Twin of Orvieto's Historic Centre: the aerial photogrammetric survey of the Cathedral

The survey-and-digitisation project grew out of experience gained while creating an initial immersive virtual tour of the point cloud of the Emilio Greco Museum and its artworks, housed on the ground floor of the fourteenth-century Palazzo Soliano next to Orvieto Cathedral. That experience sparked the ambition to broaden the vision toward an extended digital twin capable of representing not only the Cathedral itself but also its urban context, thus avoiding the architectural and historical work's de-contextualisation.

The main goal is therefore to digitise Orvieto's urban fabric systematically, determining the most effective methods and tools and laying foundations for future applications ranging from interactive dissemination and virtual-heritage experiences to building diagnostics. Such a 3-D model can in fact serve diverse purposes: from tourist enhancement through immersive platforms and gaming to comparative analyses for monitoring the conservation state of masonry surfaces and for targeted architectural interventions. Moreover, the metric-morphological knowledge these models provide allows in-depth analysis of the spatial relationships between the Cathedral and its surroundings, offering a solid basis for future studies and more informed urban design.

The historical and architectural narrative of Orvieto Cathedral presents a symbolic monument that for centuries has dominated the cliff and the Umbrian landscape around it. Yet fully understanding its conservation state and spatial characteristics today demands a digitisation project that harnesses modern technologies—integrating traditional study methods with innovative investigative techniques—to enable analyses that are extremely accurate, economical, rapid and, above all, easily repeatable and comparable. It is within this framework that the integrated photogrammetry/laser-scanning survey of the Cathedral and its environs is situated.

The combined use of UAS (Unmanned Aerial Systems) allows data to be captured rapidly, safely and at high resolution. Interest in these technologies stems from the need to study, document and monitor portions of territory, architectures or monuments of great historical importance—such as Orvieto and its Cathedral—that are often hard to reach or intrusive to measure with traditional methods.

Drones equipped with high-definition cameras record multiple overlapping images to cover the entire perimeter of the monument or area of interest. Structure-from-Motion (SfM) algorithms identify homologous points within the photographs, enabling the generation of sparse and dense point clouds—sets of spatial coordinates enriched with colour information. From these point clouds one can derive orthophotos, sections, plans, elevations and textured 3-D models, which prove extremely valuable in the digitisation, restoration and dissemination of landscapes and cultural assets [Docci 2005, pp. 77–152; Remondino 2010, pp. 85–100].

Beyond practicality and safety, deploying UAS for surveying the Cathedral and urban fabric of Orvieto offers the advantage of drastically reducing acquisition time while giving access to elevated or otherwise hard-to-reach areas that terrestrial platforms cannot easily cover. The latest equipment also allows centimetre-level georeferencing thanks to differential positioning, achieved with traditional ground control points or GNSS receivers integrated into the sensors.

After the photographic campaign is completed, the images are aligned and the digital model is generated. This workflow includes internal camera calibration, lens-distortion correction and the use of markers (control points) to raise the survey's absolute

accuracy. The final product is a three-dimensional digital model of Orvieto Cathedral and its surroundings.

For Orvieto, the photogrammetric survey of the Cathedral, its square, the adjoining buildings, the Papal Palaces, Palazzo Soliano, the Clock Tower and the wider urban context was carried out in a single day devoted entirely to flight operations and image capture. Roughly 8,800 high-resolution photographs were taken with 48-Mpx full-frame sensors, following fully manual flight procedures that ensured the required overlap and complete coverage of the monument. Data processing subsequently took longer because of the large volume of images involved.

The outcome is a dense point cloud –generated by SfM algorithms– containing more than 1.2 billion points, a figure that speaks to the survey's accuracy and level of detail. From this cloud a 3-D mesh of over 51 million faces was produced, faithfully reproducing the architectural forms and details of the Cathedral (fig.4).

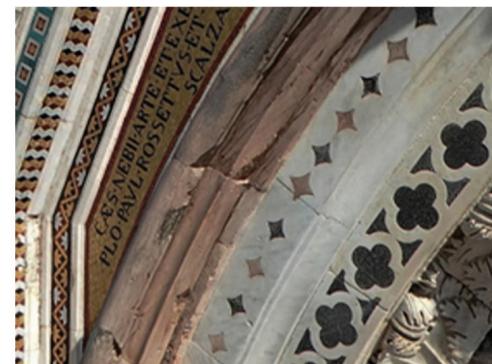


Fig.4 Dense point cloud of Orvieto Cathedral and its details, generated by the aerial photogrammetric survey carried out with UAS systems (image by the authors).

Static and mobile-laser technology for mapping Orvieto Cathedral and its context

The final phase of the investigations in Orvieto focused on using and integrating laser-scanning technologies to capture geometric and chromatic data for both the cathedral's interiors and the surrounding urban context. Two systems were combined: static laser scanners such as the Faro Focus S70 and mobile SLAM-based scanners such as the NavVis VLX 3

—a cutting-edge mobile-mapping unit (only three are currently in use in Italy) capable of acquiring data continuously and at extremely high density.

This technology, which couples LiDAR sensors with built-in panoramic cameras, can swiftly generate a complete, georeferenced point cloud, offering a detailed view of the urban fabric and the architectures around the Cathedral, while also covering the smaller spaces and narrow streets of the historic center (fig.5). The planning phase for the mobile scan of the urban context was carried out with particular care, taking into account the streets' morphological



Fig.5 Left: scan of the Chapel of San Brizio with a FARO Focus S70. Right: scan of the cathedral square with a NavVis VLX 3 (images owned by the authors).

features and their changes in elevation, as well as the level of tourist traffic typical of a winter day. A diameter of roughly 400 metres was traced around the cathedral to provide a sufficiently wide operating range for documenting the Duomo's exterior façades, the facing alleys, and the neighbouring areas of greatest interest.

Possible weather-related effects were also considered: choosing an overcast morning with no precipitation avoided excessively sharp shadows and favoured even surface recording. The survey route - estimated at about 1.5 kilometres on foot - was plotted to deliver a 360-degree record of squares, lanes and vantage points. This allowed the operator to maintain a slow, steady pace, giving the NavVis VLX 3 enough time to capture three-dimensional data and panoramic images at regular intervals. Data acquisition began at Piazza del Duomo 26, on the south-east side of the cathedral, after a rapid calibration and synchronisation of the instrument (fig.6).

During the route a succession of streets and alleys was traversed, offering different viewpoints of the Cathedral, sometimes at levels higher or lower than the square itself. This made it possible to record not only the front of the church but also its rear portions, thereby extending the survey to parts of the urban fabric that had previously been covered only partially.

In about 38 minutes of effective recording the system logged millions of coordinates which, once imported into specialised software, produced an exceptionally rich point cloud of roughly 900 million points.

Post-processing, begun in the following days, required a careful workflow of cleaning and registration. The data collected from the various positions along the path were first aligned by exploiting topological references and visual matches between adjoining areas. An automated algorithm built into the processing software was then used to correct artefacts caused by moving subjects or reflective surfaces. The end product is an ultra-high-definition point cloud whose chromatic component – captured by the scanner's integrated cameras – enhances the reading of the site and supports analyses of deterioration phenomena, material colouration or the impact of atmospheric agents (figs.7-10).

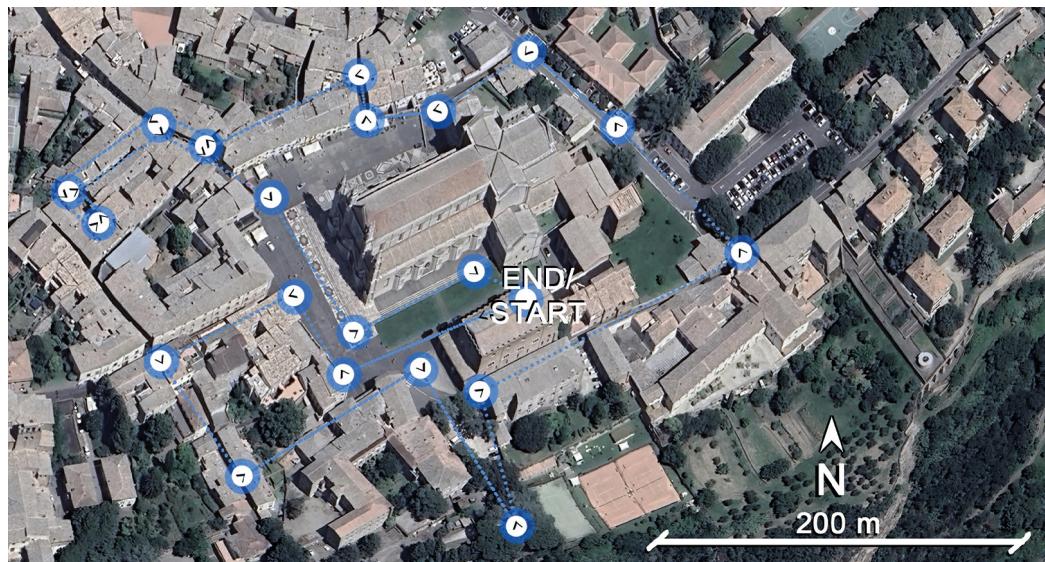


Fig.6 Plan view of the survey campaign around Orvieto Cathedral (image by the authors).



Fig.7 Dense point cloud of the Cathedral interior in section, scanned with a Faro Focus S70 and embedded within the wider Orvieto context captured by drone and NavVis VLX 3 (image by the authors).



Fig.8 Overall dense point cloud of Orvieto's historic centre and a close-up of a narrow lane, generated by the NavVis VLX 3 survey (image by the authors).



Fig.9 Outcome of the integrated survey combining UAS systems (Cathedral exterior), a Faro Focus S70 (Cathedral interior) and a NavVis VLX 3 (urban context) (image by the authors).



Fig.10 Result of the integrated survey combining UAS systems (Cathedral exterior), a Faro Focus S70 scanner (Cathedral interior) and a NavVis VLX 3 device (context). Compared with the first parcel cadastre of the Papal State, initiated by Pius VII in 1816 and enacted by Gregory XVI in 1835. Detail of the Gregorian Cadastre sheet for Orvieto Cathedral. Source: image by the authors and www.imagoarchiviodistatoroma.cultura.gov.it

Towards an integrated digitalisation: opportunities for enhancement and future prospects

The metric and radiometric richness obtained by integrating the various remote-sensing techniques demonstrates how a rigorous digitisation programme can constitute a solid information corpus, indispensable for the management, protection and valorisation of heritage. From the same data framework one can derive orthophotos, textured 3-D models, morphological analyses, restoration simulations, conservation plans, multitemporal monitoring

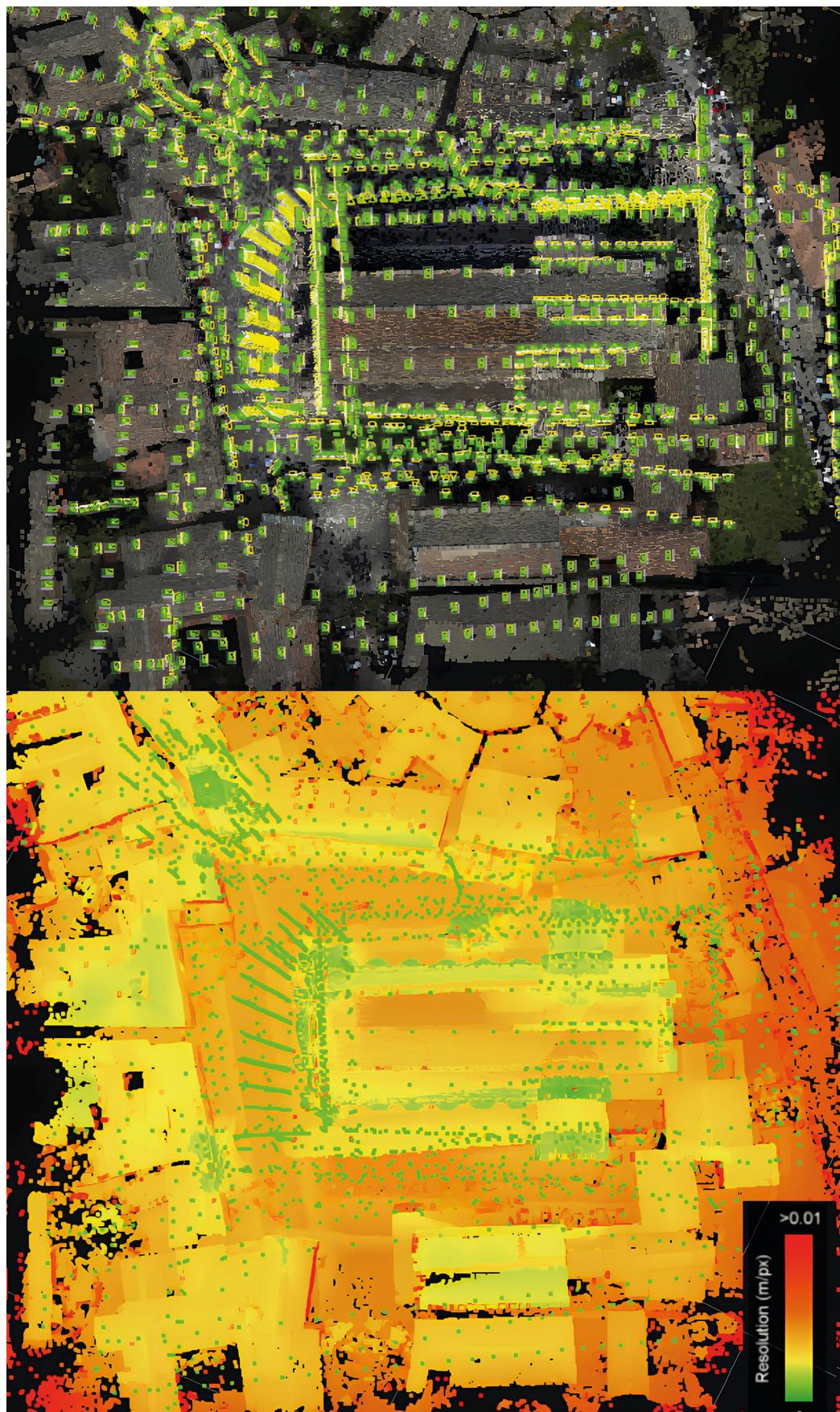


Fig.11 Result of the integrated survey combining UAS systems (Cathedral exterior), a Faro Focus S70 scanner (Cathedral interior), and a NavVis VLX 3 device (context), with the point-cloud resolution highlighted. Source: image by the authors.

risk assessments, serious-game environments and virtual reconstructions (figs.11-12). Comparison of the datasets reveals significant differences: close-range photogrammetry of the Cathedral provides a very high GSD, ideal for stratigraphic readings and early diagnosis of decay, whereas the dynamic urban laser scan yields a homogeneous cloud perfect for volumetric modelling and large-scale kinematic analyses, but less effective for material detail. Such heterogeneity demands multi-level data-fusion strategies, in which high-definition models are hierarchically embedded within lower-density contexts through LOD management and mesh simplification. Point-based visualisation without textures then acquires an ekphrastic value: immersive navigation of the dense cloud becomes a “visual promenade” capable of restoring natural forms and landscape components often neutralised by meshing processes, thereby amplifying the narrative dimension of the cultural asset and allowing one to “inhabit the digital space with light.” For this potential to be fully realised, a multidisciplinary approach is essential—one that blends technical-scientific expertise with design sensitivity and humanistic knowledge, so as to safeguard Orvieto’s historical and landscape identity while projecting it into the future. In this light, the research intentionally remains open-ended and is conceived as an incremental process that will evolve in close synergy with the Municipality of Orvieto. Among the initiatives already scheduled are on-site workshops planned for May 2025 within the PhD programme “Architecture City Landscape” of the Department of Architecture at Roma Tre University, as well as thesis projects linked to the two-year international second-level Master “ARPA” at the same institution. These activities will be complemented by further agreements and collaborations with the municipal administration, aimed at broadening the knowledge base, testing innovative methodologies, and translating scientific results into operational strategies for long-term protection and enhancement.

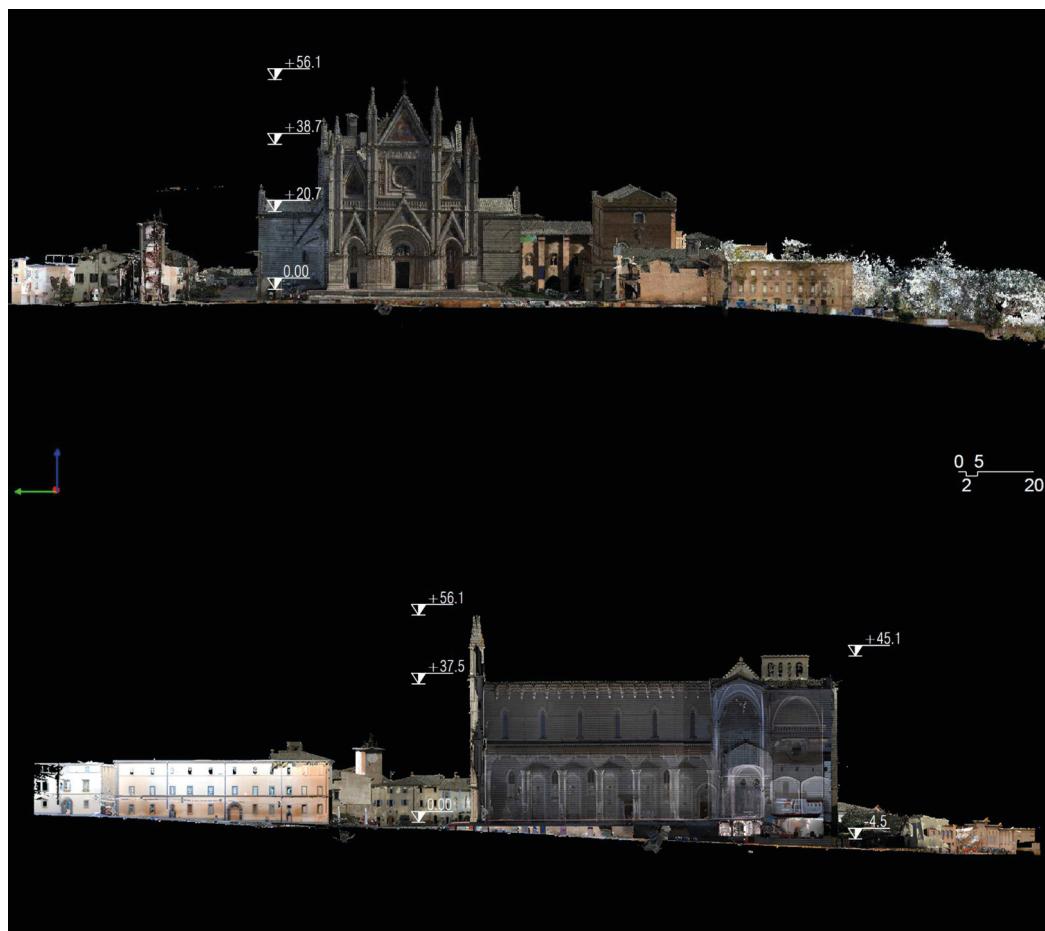


Fig.12 Result of the integrated survey combining UAS systems (Cathedral exterior), a Faro Focus S70 scanner (Cathedral interior), and a NavVis VLX 3 device (context). Elevation/section view with altitude levels and metric scale. Source: image by the authors.

Credits

The research presented here was made possible thanks to the support of the Opera del Duomo di Orvieto, in particular its Board of Directors represented by President Ing. Andrea Taddei, for welcoming the team to the Palazzo dell'Opera, granting access to historical documents, and authorising both exterior and interior surveys of the Cathedral. The Opera's commitment to the protection and promotion of this heritage reflects a forward-looking vision aimed at preserving and disseminating its legacy. Through this collaboration, the Cathedral's identity capital is being channelled into a shared path of study and innovation, in continuity with the institution's long-standing tradition.

Reference List

- Andreani, L. (2014). Cronotassi. In V. F. Franchetti Pardo, *La cattedrale di Orvieto: origine e divenire. Scritti editi e inediti* (pp. 177–188). Orvieto–Perugia: Deputazione di Storia Patria per l'Umbria.
- Cimbolli Spagnesi, P. (2020). Il duomo di Orvieto prima e dopo i restauri del XIX e XX secolo. Problemi aperti e implicazioni storiografiche. In P. Cimbolli Spagnesi (ed.), *Studi sull'architettura del Duomo di Orvieto* (pp. 113–165). Roma: Sapienza Università Editrice.
- Della Valle, G. (1791). *Storia del Duomo di Orvieto* (pp. 91–101). Roma: Tipografia Pagiarini.
- Docci, M. (2005). *Metodologie innovative integrate per il rilevamento dell'architettura e dell'ambiente* (pp. 77–152). Roma: Gangemi Editore.
- Franchetti Pardo, V. F. (2014). *La cattedrale di Orvieto: origine e divenire. Scritti editi e inediti*. Perugia: Deputazione di Storia Patria per l'Umbria.
- Fumi, L. (1891a). *Il Duomo di Orvieto e i suoi restauri; monografie storiche condotte sopra i documenti*. (pp. 167–185). Roma: Società Laziale Tipografica.
- Fumi, L. (1891b). *Orvieto. Note storiche e biografiche* (pp. 1–22). Città di Castello: Tipografia dello Stabilimento S. Lapi.
- Luzi, L. (1866). *Il Duomo di Orvieto descritto e illustrato* (pp. 1–18). Firenze: Tipografia Galletti.
- Manfredi, C. V. (2018). Nuove precisazioni sull'architettura perduta del Duomo di Orvieto. *Quaderni dell'Istituto di Storia dell'Architettura*, pp. 25–48.
- Marini, V. (2013). *Immagini, percezioni e realtà dell'Umbria tra età moderna e contemporanea* (pp. 34–107). Progetto cofinanziato dal Fondo Sociale Europeo (FSE) nell'ambito del Programma Operativo Regionale Umbria 2007–2013. Perugia: Regione Umbria.
- Remondino, F., Rizzi, A. (2010). Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites—techniques, problems, and examples. *Applied Geomatics*, 2(3), pp. 85–100. <https://doi.org/10.1007/s12518-010-0025-x>
- Stopponi, S. (2012). Orvieto, Campo della Fiera – *Fanum Voltumnae*. In N. Thomson De Grummond, I. Edlund-Berry (eds.), *The Archaeology of Sanctuaries and Ritual in Etruria* (Supplementary Series 81, Journal of Roman Archaeology, pp. 631–654). Portsmouth: Journal of Roman Archaeology.
- Zampi, P. (1889). Notizie sui lavori di restauro eseguiti per la copertura del Duomo di Orvieto. *L'Ingegneria Civile e le Arti Industriali*, XV, pp. 5–29.

Authors

Daniele Calisi, Università degli Studi di Roma Tre, daniele.calisi@uniroma3.it
Alessandro Cannata, Università degli Studi di Roma Tre, alessandro.cannata@uniroma3.it
Maria Grazia Cianci, Università degli Studi di Roma Tre, mariagrazia.cianci@uniroma3.it
Andrea Gullotta, MG Servizi di Ingegneria S.r.l., andrea.gullotta.01@gmail.com

Per citare questo capitolo: Daniele Calisi, Alessandro Cannata, Maria Grazia Cianci, Andrea Gullotta (2025). Il Duomo di Orvieto e il suo territorio: Storia, Paesaggio e transizione digitale. In L. Carlevaris *et al.* (Eds.), *ekphrasis. Descrizioni nello spazio della rappresentazione/ekphrasis. Descriptions in the space of representation*. Proceedings of the 46th International Conference of Representation Disciplines Teachers. Milano: FrancoAngeli, pp. 2405–2428. DOI: 10.3280/oa-1430-c881.