

Confronto tra tecnologie LiDAR per la digitalizzazione di precisione del Patrimonio Culturale. Il caso studio di Porta Pia, Ancona

Lucrezia Gorgoglione¹, Eva Savina Malinverni¹, Roberto Pierdicca¹

¹ DICEA, Università Politecnica delle Marche, Ancona (Italia),
l.gorgoglione@pm.univpm.it, e.s.malinverni@staff.univpm.it, r.pierdicca@staff.univpm.it

Keywords: LiDAR, TLS, MMS, UAS, Patrimonio Culturale, Digitalizzazione.

Abstract

La conservazione e valorizzazione del Patrimonio Culturale richiede l'utilizzo di tecnologie avanzate per la documentazione dettagliata degli elementi spaziali e materiali. Tra queste, la rappresentazione 3D si è affermata come uno strumento essenziale, consentendo la creazione di modelli digitali accurati per scopi di restauro, analisi e divulgazione (Campi et al., 2022). Questo studio si concentra sulle più recenti innovazioni per l'acquisizione e la digitalizzazione del patrimonio culturale (DCH) tangibile, con l'obiettivo di contribuire alla definizione di procedure standard, definiti da protocolli internazionali, per l'acquisizione e la valutazione dei dati, sostenendo la conservazione, il restauro e la valorizzazione dei beni culturali. Come caso studio è stato scelto Porta Pia ad Ancona, costruita tra il XVI e il XIX secolo, esempio di architettura rinascimentale e barocca. Progettata per celebrare l'ingresso monumentale alla città, la digitalizzazione di Porta Pia offre l'opportunità di preservare digitalmente dettagli architettonici unici, proteggendo al contempo il monumento dai rischi di deterioramento fisico. Monumenti come Porta Pia non solo simboleggiano l'identità culturale della comunità locale, ma costituiscono anche un patrimonio condiviso a livello nazionale e internazionale. La loro conservazione è fondamentale per le generazioni future e per il mantenimento della memoria storica collettiva. Di fronte a queste sfide, diverse organizzazioni internazionali come UNESCO (2003) e ICOMOS (1994), nonché enti nazionali e regionali, hanno promosso protocolli, standard e linee guida che sottolineano l'importanza della ricerca e del trasferimento delle conoscenze da altre discipline per migliorare i metodi di intervento, conservazione e gestione del patrimonio culturale tangibile (Ioannides, 2022). Tuttavia, esistono ancora lacune nelle linee guida che definiscono quali strumenti, metodi, sensori e dati siano necessari per raggiungere gli obiettivi prefissati in diversi progetti dedicati al patrimonio architettonico tangibile (Carta di Londra, 2009; Carta di Siviglia, 2011). Questa carenza complica la scelta delle tecnologie geomatiche più appropriate da utilizzare nel rispetto degli standard, considerando che tali tecnologie variano per tipologia di sensore, livello di precisione, grado di risoluzione, tempi e costi (Di Stefano et al., 2021a). Inoltre, le condizioni ambientali possono influire sull'uso dei sensori e sulle tecniche di acquisizione, così come la disponibilità di risorse, tempi e costi possono influenzare la scelta della tecnologia da utilizzare (Di Stefano et al. 2021b).

Metodologia. Per valutare l'uso di diverse tecnologie LiDAR con lo scopo di realizzare una digitalizzazione efficiente del patrimonio culturale, sono stati utilizzati i sensori di acquisizione dati più diffusi sul mercato. In particolare, sono stati considerati quattro sensori: il Mobile Mapping System FARO Orbis, i Laser Scanner Terrestri FARO FOCUS e REALSEE Galois M2 e il Sistema Laser Aereo DJI Matrice 350 RTK con Zenmuse L2 (Fig. 1). Questi strumenti sono stati selezionati per la loro versatilità di applicazione e modalità

operative e per valutarne le prestazioni ed evidenziarne i vantaggi e gli svantaggi sugli aspetti qualitativi e quantitativi in termini di accuratezza metrica, densità della nuvola di punti, qualità del dataset, costi, tempi di acquisizione ed elaborazione dei dati.

L'indagine eseguita ha considerato i dati acquisiti con il TLS FARO FOCUS Premium come *ground truth* per le successive analisi qualitative e quantitative, in quanto le caratteristiche del sensore sono più accurate. Successivamente le nuvole di punti, ottenute dai quattro strumenti, sono state convertite nel formato di interscambio *.e57*, allineate manualmente e perfezionate con l'algoritmo ICP (Iterative Closest Point), esaminate e valutate secondo le metriche tipiche e le diverse strategie utilizzate in letteratura (Tanduo et al., 2023; Maté-González et al., 2022) attraverso il software open-source *Cloud Compare*. L'utilizzo del DJI Matrice 350 RTK con Zenmuse L2, ha permesso inoltre di acquisire un doppio dataset: oltre ai dati LiDAR, grazie alla presenza del sensore ottico integrato, è possibile ottenere immagini ad alta risoluzione per la fotogrammetria UAV. Questa caratteristica consente di combinare l'accuratezza metrica del LiDAR con la ricchezza cromatica delle immagini fotogrammetriche, migliorando la qualità e la completezza della digitalizzazione del bene culturale. Per analizzare le caratteristiche geometriche dell'oggetto rilevato, sono state definite come aree campione le porzioni di ingresso della Porta e sono stati calcolati i valori di densità e rumore utilizzando rispettivamente gli algoritmi matematici *number of neighbours* e *roughness* implementati in *CloudCompare*, considerando una sfera di raggio 0,02 m. Infine, sono state estratte sezioni trasversali dalle nuvole di punti per valutare la capacità degli strumenti di ricostruire le caratteristiche geometriche significative per le rappresentazioni bidimensionali, essenziali negli interventi di restauro e nella documentazione architettonica. Questa analisi ha permesso di capire come gestire le rappresentazioni 2D generalmente richieste nel campo del patrimonio culturale.

Risultati. Dall'analisi dei risultati ottenuti dai quattro strumenti sono emerse differenze significative in termini di costi e tempi di acquisizione, accuratezza metrica e densità delle nuvole di punti. In termini di costo-efficienza, FARO Orbis e REALSEE Galois M2 si sono dimostrati più vantaggiosi per la loro capacità di acquisire dati rapidamente e con un processamento relativamente veloce. FARO Orbis, in particolare ha offerto un buon compromesso tra accuratezza e velocità, con un tempo di processamento di 30 minuti. Il REALSEE Galois M2, ha mostrato un'accuratezza inferiore con un RMSE medio di 3,9 mm, ma ha compensato con tempi di acquisizione e processamento molto rapidi, per un totale di 90 minuti circa. FARO FOCUS Premium ha confermato la sua precisione nelle misurazioni in modalità statica con un RMSE medio di 2,3 mm. Tuttavia, il tempo di acquisizione e il tempo di processamento lo rendono la soluzione più lenta rispetto agli altri metodi e più dispendiosa dal punto di vista economico. Il drone DJI Matrice 350 RTK con Zenmuse L2, ha tempi di acquisizione e



Figura 1. Caratteristiche tecniche delle strumentazioni impiegate per il rilievo. Nuvola di punti densa. Dettaglio: Porta Pia, lato nord.

processamento sono contenuti: 15 minuti per la pianificazione del volo e l'acquisizione e 15 minuti per l'elaborazione dei dati. Questo strumento si è rivelato particolarmente efficace nel colmare le lacune presenti nei dataset degli altri sensori, specialmente in aree difficili da raggiungere con metodi tradizionali.

Conclusioni. Questo studio evidenzia la necessità di stabilire procedure standard per l'acquisizione e la valutazione dei dati nella digitalizzazione del patrimonio culturale. Tale ricerca si inserisce nelle attività degli autori all'interno di ICOMOS Italia - CIPA HD (Documentazione del Patrimonio Culturale), mirate a sviluppare linee guida attraverso il confronto e la collaborazione con altre realtà scientifiche specializzate nella digitalizzazione del patrimonio culturale tangibile.



Figura 2. Schema del percorso di acquisizione MMS. Dettaglio: Porta Pia, lato sud.

Ringraziamenti. Gli autori ringraziano il Comune di Ancona, per aver concesso l'opportunità di condurre gli studi su Porta Pia. Questo lavoro è stato finanziato nell'ambito della convenzione tra Microgeo srl e il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura (DICEA) - UNIVPM, "Testing e controllo con metodi di validazione statistici su dati geomatici multisorgente e multisensore per il rilevamento prossimale e remoto".

Riferimenti

Campi, M., Falcone, M., & Sabbatini, S.: Towards continuous monitoring of architecture. Terrestrial laser scanning and mobile mapping system for the diagnostic phases of the cultural heritage. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVI-2/W1-2022, 121–127. (2022)

Di Stefano, F., Chiappini, S., Gorreja, A., Balestra, M., & Pierdicca, R. (2021a). Mobile 3D scan LiDAR: A literature review. *Geomatics, natural hazards and risk*, 12(1), 2387–2429.

Di Stefano, F., Torresani, A., Farella, E. M., Pierdicca, R., Menna, F., & Remondino, F. (2021b). 3D surveying of underground built heritage: Opportunities and challenges of mobile technologies. *Sustainability*, 13(23), 13289.

ICOMOS. The NARA document on authenticity (1994). <https://www.icomos.org/en/179-articles-en-francais/ressources/charters-and-standards/386-the-nara-document-on-authenticity-1994>, ultimo accesso 2024/10/16.

Ioannides, M. (2022). Study on quality in 3D digitisation of tangible cultural heritage: mapping parameters, formats, standards, benchmarks, methodologies, and guidelines: final study report.

Maté-González, M. Á., Di Pietra, V., & Piras, M. (2022). Evaluation of different lidar technologies for the documentation of forgotten cultural heritage under forest environments. *Sensors*, 22(16), 6314.

Tanduo, B., Teppati Losè, L., & Chiabrando, F. (2023). Documentation of complex environments in cultural heritage sites. A SLAM-based survey in the Castello del Valentino basement. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, 489–496.

UNESCO. UNESCO Declaration Concerning the Intentional Destruction of Cultural Heritage. Paris, 17 October 2003. https://international-review.icrc.org/sites/default/files/irrc_854_unesco_eng.pdf, ultimo accesso 2024/10/16.