



Potenzialità e limiti di sistemi *mobile* per il rilievo 3D

Carlo Battini
Rita Vecchiattini

Abstract

La documentazione del patrimonio culturale ha visto negli ultimi anni un forte incremento dovuto anche al continuo sviluppo di sistemi di acquisizione sempre più performanti e di facile utilizzo. Rilievi di alta precisione tramite fotografie e sensori capaci di acquisire il minimo dettaglio sempre più performanti permettono di creare, in tempi brevissimi, modelli di altissima precisione fornendo la base documentale necessaria ed indispensabile per studi specialistici e la divulgazione del patrimonio. Fino a pochi anni fa i costi che dovevano essere sostenuti per l'acquisizione metrica di un bene erano molto elevati. Oggi sono presenti sul mercato nuove soluzioni che possono essere un valido aiuto alla creazione di modelli digitali affidabili e gestibili anche da utenti non particolarmente esperti del settore. Il contributo vuole analizzare le potenzialità e le criticità del rilievo tramite strumenti mobile come Ipad che integra al suo interno una sensoristica particolare capace di creare rilievi tridimensionali di ambienti ed oggetti. I dati registrati tramite questo strumento saranno messi a confronto con la ormai consolidata tecnica della Structure From Motion e verranno fatte considerazioni sull'effettive potenzialità che questo strumento può esprimere.

Parole chiave

Ipad Pro, structure from motion, solid state LiDAR, statue tattili, stampa 3d

Topic

Sperimentare



Modelli 3D della statua
Madonna Immacolata: a
sinistra la fitta rete di mesh
del rilievo SfM; a destra vi-
sione wireframe del rilievo
eseguito con Ipad Pro.

Introduzione

Lo sviluppo di sistemi di acquisizione 3D, a livello amatoriale o specialistico, ha reso possibile l'incremento delle soluzioni applicabili al campo dei beni culturali. Sensori affidabili, facilmente trasportabili e impiegabili, sono utilizzati oggi per svariati scopi non più solo nel campo industriale (Page et al. 2008, pp. 11-32) ma anche nel mondo dei beni culturali (Barsanti et al. 2014, pp. 141-158; Munumer et al. 2015, pp. 83-86). La miniaturizzazione dei sensori e la facilità di utilizzo delle applicazioni favoriscono l'avvicinamento degli utenti a quello che prima era un settore di nicchia. A tale evoluzione si deve aggiungere la facilità sempre maggiore di eseguire rilievi tramite la tecnica della fotogrammetria, considerata ormai un valido ed economico strumento alternativo ai sistemi *laser scanner*. Tra le soluzioni di nuova generazione è da annoverare l'impiego di smartphone e tablet, in grado di eseguire rapidamente calcoli complessi e dotati di fotocamere ad alta risoluzione. A questi si possono aggiungere accessori che permettono nuove funzionalità utili alla definizione di spazi, anche di notevoli dimensioni, oltre all'acquisizione tridimensionale di oggetti. I pacchetti software disponibili sia gratuitamente sia a pagamento sono numerosi, ognuno con caratteristiche differenti, impiegabili sia in autonomia sia tramite i servizi *cloud* sempre più diffusi. Nuove funzionalità sono state aggiunte da *Apple* ai suoi prodotti di fascia alta: *Ipad Pro* e *Iphone Pro*. Questi implementano al loro interno sensori di nuova generazione capaci di acquisire tridimensionalmente oggetti e superfici anche di notevole dimensione. Un nuovo sensore, con tecnologia che non dichiara l'accuratezza del dato metrico, permette inediti scenari d'impiego anche nel campo della documentazione dei beni culturali. Nel 2020 *Apple* ha, infatti, presentato una nuova versione di tablet e smartphone equipaggiata con un sensore *Solid State LiDAR (SSL)* capace di misurare distanze fino a 5 metri. Sfruttando il principio del *Time-of-Flight (ToF)*, *Apple* ha inserito un sensore economico LiDAR in grado di rilevare ambienti e oggetti per rendere più affidabile la visualizzazione in Realtà Aumentata. Ricercatori e sviluppatori di software hanno subito compreso le potenzialità di questo strumento testando e sviluppando applicazioni semplici, ma molto efficaci, capaci di rendere più agevoli e meno costose misurazioni di ambienti e oggetti. Alcuni studi mostrano come l'impiego di sensori SSL, anche se ancora all'inizio, possa essere utile in ambito industriale (Murtiyoso 2021, pp. 599-604) o in ambito ambientale (Luetzenburg et al. 2021, pp. 1-9) raggiungendo risultati confrontabili con quelli di altri sistemi di rilievo standardizzati ma più costosi.

Negli anni, altri progetti come *Microsoft Kinect* (Lachat et al. 2015, pp. 93-100), *Google Tango* (Froehlich et al. 2017, pp. 864-871) e *Sony [1]* (Santagati et al. 2017, pp. 221-228) hanno sviluppato hardware e software per rendere più accessibile la scansione 3D, non raggiungendo però la popolarità di *Apple*. In ambiente *Apple* sono presenti sul mercato numerose applicazioni, a pagamento e gratuite, capaci di rilevare oggetti e ambienti sia sotto forma di nuvole di punti, sia come modelli mesh con texture del colore applicata. La letteratura presenta già sperimentazioni con questi sistemi di rilevamento: Wang et al. [2] hanno sperimentato l'uso di un *Ipad* per misurare il diametro degli alberi; Murtiyoso et al. [3] hanno comparato l'uso del sistema SSL con strumenti e tecniche consolidate, sia per oggetti di piccole dimensioni sia per ambienti, evidenziando la possibilità di eseguire rilievi a basso costo raggiungendo comunque risultati sufficienti per alcuni scopi di rilievo come la virtualizzazione e la stampa 3D a bassa definizione.

Obiettivi e oggetti del rilievo

La sperimentazione di rilievo proposta si inserisce nell'ambito di un progetto di valorizzazione del patrimonio culturale diffuso costituito dalle numerose edicole votive del centro storico di Genova. Il progetto, finanziato dal Comune - Direzione Attività e Marketing del Turismo, si sviluppa in due parti: una prima di conoscenza e restauro, conclusa nel 2021, e una seconda di divulgazione e valorizzazione, attualmente in corso [4]. Tra le altre cose, il progetto prevede la realizzazione di un percorso espositivo accessibile presso il Museo di Sant'Agostino, dove sono conservate alcune pregevoli statue rimaste decontestualizzate a seguito

della demolizione delle rispettive edicole o rimosse dalla originaria localizzazione in occasione dei restauri degli anni Duemila (Fondazione CaRiGe 2000). Non è facile rendere accessibile, con i criteri dell'Universal Design, il patrimonio costituito dalle circa 300 edicole votive che si trovano sparse tra le case del centro storico. Per questo motivo, sono state individuate due possibili, ma ancora parziali, soluzioni: un percorso accessibile nel centro storico che possa essere praticato in autonomia da disabili motori; un percorso espositivo accessibile presso il Museo che possa permettere anche a disabili sensoriali di comprendere e apprezzare il suddetto patrimonio. Si lavorerà su più aspetti inserendo contenuti multimediali e supporti audio, qui presentiamo alcune prove eseguite per la realizzazione della stampa 3D di due statue. Molteplici sono gli allestimenti museali che ormai espongono anche "opere tattili", cioè rappresentazioni 3D di oggetti e sculture che possono essere toccate e conosciute dai disabili visivi. Esse sono il prodotto a stampa di rilievi tridimensionali degli oggetti originali. Ma quale accuratezza è necessaria per poter realizzare una statua tattile in scala 1:1 fruibile in modo corretto? Sappiamo che la sensibilità tattile di disabili visivi è molto più sviluppata rispetto a quella di persone normovedenti ma non riesce comunque ad apprezzare in una statua a tutto tondo un errore distribuito medio nell'ordine del millimetro. Non sono stati trovati studi in tal senso mentre sarebbe utile chiarire l'aspetto che non è affatto capzioso bensì sostanziale per definire limiti e potenzialità dei metodi. A fronte di una certa tolleranza per l'accuratezza delle misure, riveste importanza poter operare in modo agile, all'interno di un museo allestito, e operare a basso costo in modo da poter eseguire più di un rilievo e già prevedere l'aggiornamento delle statue tattili con il procedere dell'evoluzione delle tecniche e degli strumenti.



Fig. 01. Madonna Immacolata (1610-20). L'illuminazione e la presenza della ringhiera ravvicinata alla statua complicano le fasi di rilievo.



Fig. 02. Madonna con il Bambino e San Giovannino (1617).

Per la sperimentazione sono state scelte due statue: la Madonna Immacolata (fig. 01) (1610-20) che proviene dalla grande edicola votiva che campeggiava sulla facciata della casa di Niccolò Paganini in passo Gattamora, demolita nel 1968; la Madonna con il Bambino e San Giovannino (fig. 02) (1617) che proviene da un'edicola votiva in piazza dei Truogoli di Santa Brigida, dove nel 2000 è stato posto un calco.

Rilievo di sculture con iPad Pro

Il rilievo delle due statue è stato eseguito tramite *lpad Pro* per la documentazione dei beni culturali. Le statue hanno dimensioni comparabili (circa 80 centimetri), sono entrambe in marmo bianco, ma hanno complessità geometriche differenti. La presenza di tre figure nella Madonna col Bambino e San Giovannino (Test1 = T1) è una delle caratteristiche che può complicare il rilievo tridimensionale.

L'intreccio del panneggio e la vicinanza delle figure a tutto tondo creano problemi di riconoscibilità delle superfici e difficoltà nel raggiungere tutte le parti. Nel caso invece della Madonna Immacolata (Test2=T2), la figura unica a tutto tondo permette di raggiungere tutte le aree indagabili senza particolari problemi, a meno della parte degli avambracci leggermente staccati dal corpo. Per testare l'affidabilità della strumentazione, è stata utilizzata l'applicazione gratuita *Scaninverse* [5], presente in *Apple Store*, che permette di acquisire modelli 3D e di esportarli nei formati più diffusi per elaborazioni di *post processing*, implementando anche funzioni di realtà aumentata e di condivisione tramite *social media*.



Fig. 03. A sinistra Madonna con il Bambino e San Giovannino; a destra in alto errori di rilievo vicino alla testa; a destra in basso poligoni non reali tra le gambe di San Giovannino ed in prossimità della veste della Madonna.



Fig. 04. Modello della statua della Madonna Immacolata realizzato con Scaniverse.



Fig. 06. Modello della statua della Madonna Immacolata realizzato con Metashape.



Fig. 05. Errori di generazione della superficie mesh in prossimità delle mani e dei polsi.

L'applicazione utilizza la combinazione di immagini fotografiche ottimizzate tramite la tecnica della *Structure from Motion* (SfM), e di misurazioni, effettuate con il sensore SSL, per ricostruire in 3D l'oggetto da rilevare. Tra le numerose applicazioni presenti, *Scaniverse* si distingue per la possibilità di salvare, assieme alle scansioni elaborate, anche i dati in formato *raw* in modo da poterli processare in momenti differenti con impostazioni potranno essere implementate dallo sviluppo dell'applicazione.

L'applicativo, installato su *IPad Pro 13"* con processore M1, ha generato per le due statue due modelli con texture di colore applicata. È importante sottolineare che le operazioni di rilievo sono state eseguite senza creare alcun set particolare, cercando di testare le potenzialità del sistema dove l'illuminazione ambientale e il posizionamento era quello dell'allestimento.

Nel caso di T1 sono visibili alcuni difetti dovuti alla complessità morfologica della rappresentazione. Il sistema ha, infatti, qualche difficoltà nel riconoscere parti molto in aggetto (i piedi del bambino rispetto alla mano e alle vesti della Madonna) e porzioni troppo ravvicinate (la testa di San Giovannino e le vesti della Madonna) (fig. 03). Per quanto riguarda T2 (fig. 04) si evidenzia un'unica difficoltà all'altezza delle mani giunte, leggermente distanti dal corpo (fig. 05).

Analizzando più nel dettaglio i due modelli acquisiti: in T1 sono presenti 85.785 vertici che generano 171.263 poligoni, mentre per T2 il modello è composto da 181.845 vertici e 363.103 poligoni. Numeri così alti denotano una buona definizione delle superfici che viene poi visivamente migliorata con l'applicazione delle texture di colore.

Oltre ad essere immediatamente misurabili, le geometrie acquisite presentano altre caratteristiche importanti come la localizzazione tramite le coordinate GPS e l'orientamento rispetto a una orizzontale. Soprattutto quest'ultima caratteristica può essere particolarmente interessante per la valutazione di inclinazioni rispetto alla verticale.

Definita la geometria tridimensionale del modello, per la sola statua T2, è stato eseguito il rilievo con la tecnica, ormai consolidata, della SfM tramite *Agisoft Metashape* [6]. Utilizzando la fotocamera Nikon D750, con sensore da 24,5 Mpx, sono state acquisite 296 fotografie attorno alla statua. Per poter velocizzare e rendere più affidabile la ricostruzione fotogrammetrica della geometria, le immagini sono state elaborate, con un apposito *script* [7], all'interno del software Adobe Photoshop.

Utilizzando il metodo di selezione tramite Intelligenza Artificiale (AI) è stato possibile isolare ogni statua dallo sfondo e generare le maschere necessarie per il calcolo SfM. In questo modo, nelle fasi di allineamento delle immagini, il software ha potuto concentrare la ricerca dei punti notevoli [8] esclusivamente sulla superficie della statua, migliorando il rinvenimento della posizione spaziale del punto di presa.

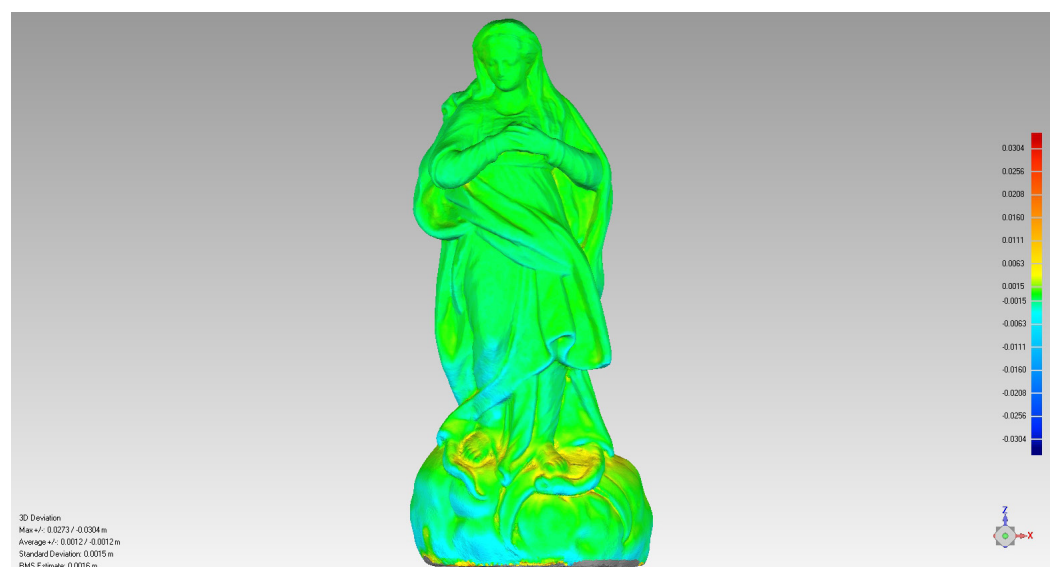


Fig. 07. Confronto tra modello realizzato con Scaniverse e modello ottenuto da Metashape.

Al termine del processo di ricostruzione tridimensionale, utilizzando due misure prese sulla statua, il modello 3D generato è risultato composto da 1.697.110 vertici e 843.589 poligoni, valori molto elevati che consentono di avere un'ottima definizione della superficie (fig. 06). I modelli così creati della statua T2 sono stati successivamente messi a confronto utilizzando il software *Geomagic Wrap* come strumento di analisi.

L'algoritmo utilizzato ha evidenziato una deviazione standard di 1,5 millimetri.

In fig. 07 è evidente che l'errore è maggiore nella parte della statua e dove sono presenti lavorazioni con curvature accentuate, mentre dove le superfici sono più omogenee l'errore è quasi irrilevante. Le possibili cause sono forse da ricondurre alle condizioni di illuminazione dell'ambiente, in questa sperimentazione volutamente non controllate, particolarmente importanti sul marmo, composto da piccoli cristalli in grado di deviare il fascio luminoso.

Conclusioni

La sperimentazione presentata in questo articolo è chiaro segno di come la tecnologia si sia evoluta e come possa portare nuovi e più semplici modi per acquisire modelli tridimensionali. Sebbene la tecnologia SSL sia ancora da considerare agli inizi, l'integrazione di metodologie differenti può indubbiamente essere d'aiuto. Probabilmente servirà ancora tempo prima di vedere sistemi *mobile* a basso costo con elevate prestazioni.

Allo stato attuale tali tecnologie possono però essere un valido aiuto nel momento della documentazione di un bene per la divulgazione. La realizzazione, ad esempio, di un museo virtuale interattivo non necessita dello stesso grado di accuratezza di modelli 3D creati per monitoraggi di tipo strutturale.

Possiamo anzi affermare che, in alcuni casi, modelli visivamente corretti e composti da pochi poligoni possono essere il miglior modo per condividere informazioni e cultura, a patto di non scambiare l'informazione digitale con la realtà delle cose, sempre più ricca, complessa e certamente unica.

Note

[1] Lo smartphone utilizzato è, ad esempio, *Sony Xperia XZ1*, rilasciato in Italia nell'ottobre del 2017, capace di acquisire immagini ad alta definizione utilizzabili all'interno dell'applicazione 3D Creator presente nel dispositivo mobile.

[2] Wang et al. 2021, pp. 105-110.

[3] Murtiyoso et al, pp. 599-604.

[4] Il progetto di conoscenza e restauro è stato ideato e realizzato dal Dipartimento Architettura e Design (DAD) dell'Università di Genova, mentre il progetto di divulgazione e valorizzazione è stato affidato al DAD affiancato, per la parte di rilievo, dal Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA).

[5] Sito web di riferimento dell'applicazione *Scaniverse*: <https://scaniverse.com/> (visionato a luglio 2022).

[6] Sito web di riferimento per l'applicazione *Metashape*: <https://www.agisoft.com/> (visionato a luglio 2022).

[7] Lo *script* automatizza le operazioni: di apertura dell'immagine; di selezione in AI dell'oggetto in primo piano; creazione di un nuovo *layer*; riempimento con colore nero della sezione; salvataggio in formato PNG dell'immagine in una specifica cartella.

[8] L'algoritmo evidenzia punti notevoli all'interno di ogni immagine che vengono impiegati per determinare la posizione della fotocamera nello spazio virtuale. La matrice di punti rinvenuta per ogni immagine viene comparata con quelle individuate nelle altre immagini.

Riferimenti bibliografici

Barsanti S.G., Remondino F., Fernández-Palacios B.J., Visintini D. (2014). Critical factors and guidelines for 3D surveying and modelling in Cultural Heritage. In *International Journal of Heritage in the Digital Era* 3, n. 1, pp. 141-158.

Fondazione Cassa di Risparmio di Genova e Imperia, *Edicole Votive. Un percorso nel cuore antico di Genova*, Tipografia Microart's, Genova, 2000.

Froehlich M., Azhar S., Vanture M. (2017). An investigation of Google Tango® tablet for low cost 3D scanning. In *ISARC 2017 - Proceedings of the 34th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, pp. 864-871.

Lachat E., Macher H., Mittet M.A., Landes T., Grussenmeyer P. (2015). First experiences with Kinect V2 sensor for close range 3D modelling. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XL-5/W4, pp. 93-100.

Luetzenburg G., Kroon A., Bjørk A. A. (2021). Evaluation of the Apple iPhone 12 Pro LiDAR for an Application in Geosciences. In *Sci Rep*, n. 11, pp. 1-9.

Munumer E., Lerma J.L. (2015). Fusion of 3D data from different image-based and range-based sources for efficient heritage recording. In *2015 Digital Heritage*, pp. 83–86.

Murtiyoso A., Grussenmeyer P., Landes T., Macher H. (2021). First assessments into the use of commercial-grade solid state Lidar for low cost heritage documentation. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLIII-B2-2021, pp. 599-604.

Page D., Koschan. A., Abidi, M. (2008). Methodologies and Techniques for Reverse Engineering–The Potential for Automation with 3-D Laser Scanners. In Raja V., Fernandes K.J. (a cura di) *Reverse Engineering*, pp. 11–32. London: Springer.

Santagati C., Lo Turco M., Bocconcino M. M., Donato V., Galizia M. (2017). 3d models for all: low-cost acquisition through mobile devices in comparison with image based techniques. Potentialities and weaknesses in cultural heritage domain. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-2/W8, pp. 221-228.

Wang X., Singh A., Pervysheva Y., Lamatungga K. E., Murtinová V., Mukarram M., Zhu Q., Song K., Surový P., Mokroš M. (2021). Evaluation of ipad pro 2020 lidar for estimating tree diameters in Urban forest. In *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume VIII-4/W1-2021 6th International Conference on Smart Data and Smart Cities, 15–1, Stuttgart, Germany, pp.105-110.

Autori

Carlo Battini, Università di Genova, Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA), carlobattini@unige.it
Rita Vecchiattini, Università di Genova, Dipartimento Architettura e Design (DAD), rita.vecchiattini@unige.it

Per citare questo capitolo: Carlo Battini, Rita Vecchiattini (2022). Potenzialità e limiti di sistemi mobile per il rilievo 3D / Potential and limitations of mobile systems for 3D surveying. In Battini C., Bistagnino E. (a cura di). *Dialoghi. Visioni e visualità. Testimoniare Comunicare Sperimentare. Atti del 43° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Dialogues. Visions and visuality. Witnessing Communicating Experimenting. Proceedings of the 43rd International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 2090-2105.



Potential and limitations of mobile systems for 3D surveying

Carlo Battini
Rita Vecchiattini

Abstract

The documentation of cultural heritage has seen a strong increase in recent years, also due to the continuous development of increasingly performing and easy-to-use acquisition systems. High-precision surveys using photographs and sensors capable of acquiring the smallest detail that are increasingly performing allow the creation, in a very short time, of very high precision models providing the necessary and indispensable documentary basis for specialized studies and the dissemination of heritage. Until a few years ago, the costs that had to be incurred for the metric acquisition of an asset were very high. Today there are new solutions on the market that can be a valuable aid to the creation of reliable and manageable digital models even by users who are not particularly expert in the sector.

Keywords

Ipad Pro, structure from motion, solid state LiDAR, tactile statues, 3d printing

Topics

Experimenting



3D models of the statue of the Immaculate Virgin: on the left the dense mesh network of the SfM survey; on the right wireframe view of the survey carried out with Ipad Pro.

Introduction

The development of 3D acquisition systems, at an amateur or specialist level, has made it possible to increase the solutions applicable to the field of cultural heritage. Reliable sensors, easily transportable and usable, are used today for various purposes not only in the industrial field (Page et al. 2008, pp. 11-32) but also in the world of cultural heritage (Barsanti et al. 2014, pp. 141) –158; Munumer et al. 2015, pp. 83–86). The miniaturization of the sensors and the ease of use of the applications favor the approach of users to what was previously a niche sector. To this evolution must be added the ever greater ease of carrying out surveys using the photogrammetry technique, which is now considered a valid and economical alternative tool to laser scanner systems.

Among the new generation solutions today smartphones and tablets are able to quickly perform complex calculations and equipped with high resolution cameras. To these you can add accessories that allow new functionalities useful for defining spaces, even of considerable size, in addition to the three-dimensional acquisition of objects. The software packages available both for free and for a fee are numerous, each with different characteristics, which can be used both independently and through increasingly popular cloud services.

New features have been added by Apple to its high-end products: Ipad Pro and Iphone Pro. These implement new generation sensors capable of acquiring three-dimensional objects and surfaces even of considerable size. A new sensor, with technology that does not declare the accuracy of the metric data, allows unprecedented scenarios of use also in the field of documentation of cultural heritage.

In fact, in 2020 Apple presented a new version of tablet and smartphone equipped with a Solid State LiDAR (SSL) sensor capable of measuring distances up to 5 meters. Taking advantage of the Time-of-Flight (ToF) principle, Apple has included an inexpensive LiDAR sensor capable of detecting environments and objects to make Augmented Reality viewing more reliable. Researchers and software developers immediately understood the potential of this tool by testing and developing simple but very effective applications, capable of making measurements of environments and objects easier and less expensive. Some studies show how the use of SSL sensors, even if still at the beginning, can be useful in the industrial field (Murtiyoso 2021, pp. 599-604) or in the environmental field (Luetzenburg et al. 2021, pp. 1-9) achieving results comparable to those of other standardized but more expensive survey systems.

Over the years, other projects such as Microsoft Kinect (Lachat et al. 2015, pp. 93-100), Google Tango (Froehlich et al. 2017, pp. 864-871) and Sony [1] (Santagati et al. 2017, pp. 221- 228) developed hardware and software to make 3D scanning more accessible, but did not reach Apple's popularity.

In the Apple environment, there are numerous paid and free applications on the market, capable of detecting objects and environments both in the form of point clouds and as mesh models with color textures applied. The literature already presents experiments with these detection systems: Wang et al. [2] have experimented with the use of an Ipad to measure the diameter of trees; Murtiyoso et al. [3] compared the use of the SSL system with consolidated tools and techniques, both for small objects and for environments, highlighting the possibility of performing low-cost surveys, however achieving sufficient results for some relevant purposes such as virtualization and low definition 3D printing.

Objectives and objects of the survey

The proposed survey experimentation is part of a project to enhance the widespread cultural heritage consisting of the numerous votive shrines in the historic center of Genoa. The project, funded by the Municipality - Tourism Activities and Marketing Directorate, is developed in two parts: a first of knowledge and restoration, completed in 2021, and a second of dissemination and enhancement, currently underway [4].

Among other things, the project provides for the creation of an accessible exhibition path at the Museum of Sant'Agostino, where some valuable statues are preserved that have remained decontextualized following the demolition of their respective aedicules or removed from their original location during the restoration of the 2000s. (CaRiGe 2000 Foundation). It is not easy to make accessible, with the criteria of Universal Design, the heritage consisting of the approximately 300 votive shrines that are scattered among the houses in the historic center. For this reason, two possible, but still partial, solutions have been identified: an accessible route in the historic center that can be practiced independently by disabled people; an accessible exhibition path at the Museum that can also allow sensory disabled people to understand and appreciate the aforementioned heritage.

We will work on several aspects by inserting multimedia contents and audio supports, here we present some tests carried out for the realization of the 3D printing of two statues.

There are many museum exhibits that now also exhibit "tactile works", that is 3D representations of objects and sculptures that can be touched and known by the visually impaired. They are the printed product of three-dimensional reliefs of the original objects. But what accuracy is needed to be able to create a tactile 1:1 scale statue that can be used correctly? We know that the tactile sensitivity of visually impaired people is much more developed than that of visually impaired people, but they still fail to appreciate an average distributed error in the order of a millimeter in a well-rounded statue.



Fig. 01. Madonna Immacolata (1610-20). The lighting and the presence of the railing close to the statue complicate the relief phases.



Fig. 02. Madonna con il Bambino e San Giovannino (1617).

No studies have been found in this sense, while it would be useful to clarify the aspect that is not specious but substantial in order to define the limits and potential of the methods.

In the face of a certain tolerance for the accuracy of the measurements, it is important to be able to operate in an agile way, within a set up museum, and to operate at low cost in order to be able to carry out more than one survey and already foresee the updating of the tactile statues with the progress of the evolution of techniques and tools.

Two statues were chosen for the experimentation: the Madonna Immacolata (fig. 1) (1610-20) which comes from the large votive shrine that stood out on the facade of Niccolò Paganini's house in Gattamora pass, demolished in 1968; the Madonna con il Bambino e San

Giovanino (fig. 2) (1617) which comes from a votive shrine in Piazza dei Truogoli di Santa Brigida, where a cast was placed in 2000.

The statues have comparable dimensions (about 80 centimeters), they are both in white marble, but have different geometric complexities. The presence of three figures in the Madonna con il Bambino e San Giovannino (Test1 = T1) is one of the characteristics that can complicate the three-dimensional relief.

The interweaving of the drapery and the proximity of the figures in the round create problems of recognizing the surfaces and difficulties in reaching all the parts. In the case of the Madonna Immacolata (Test2 = T2), the single all-round figure allows you to reach all the investigable areas without particular problems, except for the part of the forearms slightly detached from the body.

To test the reliability of the instrumentation, the free Scaniverse [5] application, present in the Apple Store, was used, which allows you to acquire 3D models and export them in the most popular formats for post processing, also implementing augmented reality and sharing functions. via social media. The application uses the combination of photographic images optimized through the Structure from Motion (SfM) technique, and measurements, carried out with the SSL sensor, to reconstruct the object to be detected in 3D.

Among the numerous applications present, Scaniverse stands out for the possibility of sav-



Fig. 03. On the left Madonna con il Bambino e San Giovannino; on the upper right major errors near the head; on the lower right unreal polygons between the legs of San Giovannino and near the Madonna's robe.



Fig. 04. Model of the statue of the Madonna Immacolata made with Scaniverse.



Fig. 06. Model of the statue of the Madonna Immacolata made with Metashape.



Fig. 5. Errors in generating the mesh surface in the vicinity of the hands and wrists.

ing, together with the processed scans, even the data in raw format so that they can be processed at different times with settings that can be implemented by the development of the application.

The application, installed on a 13 "iPad Pro with M1 processor, generated two models with applied color textures for the two statues. It is important to emphasize that the survey operations were performed without creating any particular set, trying to test the potential of the system where the ambient lighting and positioning was that of the set-up.

In the case of T1 some defects are visible due to the morphological complexity of the representation.

The system has, in fact, some difficulty in recognizing very protruding parts (the child's feet with respect to the hand and the clothes of the Madonna) and portions that are too close together (the head of San Giovannino and the clothes of the Madonna) (fig. 3). As for T2 (fig. 4), there is only one difficulty at the height of the joined hands, slightly distant from the body (fig. 5).

Analyzing the two acquired models in more detail: in T1 there are 85,785 vertices that generate 171,263 polygons, while for T2 the model is composed of 181,845 vertices and 363,103 polygons. Such high numbers denote a good definition of the surfaces which is then visually improved with the application of color textures. In addition to being immediately measurable, the acquired geometries have other important characteristics such as location via GPS coordinates and orientation with respect to a horizontal one. Especially the latter feature can be particularly interesting for the evaluation of inclinations with respect to the vertical.

Once the three-dimensional geometry of the model had been defined, for the statue T2 only, the survey was carried out with the now consolidated technique of SfM using Agisoft Metashape [6]. Using the Nikon D750 camera, with a 24.5 Mpx sensor, 296 photographs were captured around the statue. In order to speed up and make the photogrammetric reconstruction of the geometry more reliable, the images were processed, with a special script [7], within the Adobe Photoshop software.

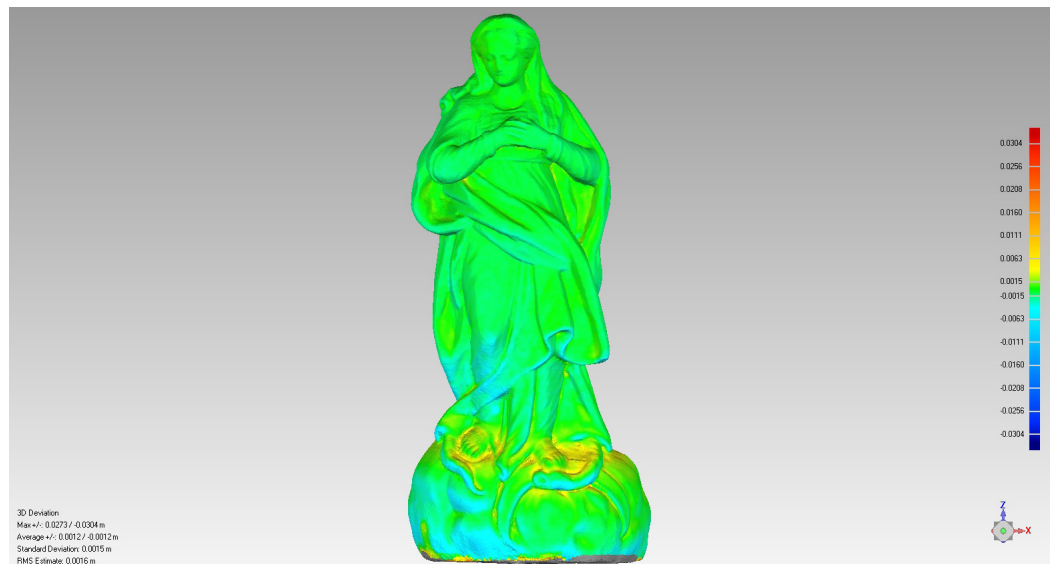


Fig. 07. Comparison between model made with Scaniverse and model obtained by Metashape.

Using the selection method using Artificial Intelligence (AI) it was possible to isolate each statue from the background and generate the masks necessary for the SfM calculation. In this way, during the image alignment phases, the software was able to concentrate the search for the notable points [8] exclusively on the surface of the statue, improving the detection of the spatial position of the gripping point.

The models thus created of the T2 statue were subsequently compared using the Geomagic Wrap software as an analysis tool. The algorithm used showed a standard deviation of 1.5 millimeters. In fig. 7 it is evident that the error is greater in the part of the statue and where there are workings with accentuated curves, while where the surfaces are more homogeneous the error is almost irrelevant.

The possible causes are perhaps due to the lighting conditions of the environment, in this deliberately uncontrolled experiment, particularly important on marble, composed of small crystals capable of deflecting the light beam.

Conclusions

The experimentation presented in this article is a clear sign of how technology has evolved and how it can lead to new and simpler ways to acquire three-dimensional models. Although SSL technology is still to be considered in its infancy, the integration of different methodologies can undoubtedly help. It will probably take some time before we see low-cost mobile systems with high performance.

At present, however, these technologies can be a valid help when documenting an asset for disclosure. For example, the creation of an interactive virtual museum does not require the same degree of accuracy as 3D models created for structural monitoring. Indeed, we can affirm that, in some cases, visually correct models composed of a few polygons can be the best way to share information and culture, as long as we do not exchange digital information with the reality of things, which is increasingly rich, complex and certainly only.

Note

[1] The smartphone used is, for example, Sony Xperia XZ1, released in Italy in October 2017, capable of acquiring high-definition images that can be used within the 3D Creator application on the mobile device.

[2] Wang et al. 2021, pp.105-110.

[3] Murtiyoso et al, pp. 599-604.

[4] The knowledge and restoration project was conceived and implemented by the Department of Architecture and Design (DAD) of the University of Genoa, while the dissemination and enhancement project was entrusted to the DAD flanked, for the relevant part, by the Department of Civil Engineering, Chemical and Environmental (DICCA).

[5] Reference website of the Scaniverse application: <https://scaniverse.com/> (viewed in July 2022).

[6] Reference website for the Metashape application: <https://www.agisoft.com/> (viewed in July 2022).

[7] The script automates the operations: opening the image; AI selection of the foreground object; creation of a new layer; black fill of the section; saving the image in PNG format in a specific folder.

[8] The algorithm highlights significant points within each image that are used to determine the position of the camera in the virtual space. The dot matrix found for each image is compared with those identified in the other images.

Riferimenti bibliografici

Barsanti S.G., Remondino F., Fernández-Palacios B.J., Visintini D. (2014). Critical factors and guidelines for 3D surveying and modelling in Cultural Heritage. In *International Journal of Heritage in the Digital Era* 3, n. 1, pp. 141–158.

Fondazione Cassa di Risparmio di Genova e Imperia, *Edicole Votive. Un percorso nel cuore antico di Genova*, Tipografia Microart's, Genova, 2000.

Froehlich M., Azhar S., Vanture M. (2017). An investigation of Google Tango® tablet for low cost 3D scanning. In *ISARC 2017 - Proceedings of the 34th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, pp. 864–871.

Lachat E., Macher H., Mittet M.A., Landes T., Grussenmeyer P. (2015). First experiences with Kinect V2 sensor for close range 3D modelling. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XL-5/W4, pp. 93–100.

Luetzenburg G., Kroon A., Bjørk A. A. (2021). Evaluation of the Apple iPhone 12 Pro LiDAR for an Application in Geosciences. In *Sci Rep*, n. 11, pp. 1-9.

Munumer E., Lerma J.L. (2015). Fusion of 3D data from different image-based and range-based sources for efficient heritage recording. In *2015 Digital Heritage*, pp. 83–86.

Murtiyoso A., Grussenmeyer P., Landes T., Macher H. (2021). First assessments into the use of commercial-grade solid state Lidar for low cost heritage documentation. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLIII-B2-2021, pp. 599-604.

Page D., Koschan. A., Abidi, M. (2008). Methodologies and Techniques for Reverse Engineering–The Potential for Automation with 3-D Laser Scanners. In Raja V., Fernandes K.J. (a cura di) *Reverse Engineering*, pp. 11–32. London: Springer.

Santagati C., Lo Turco M., Bocconcinio M. M., Donato V., Galizia M. (2017). 3d models for all: low-cost acquisition through mobile devices in comparison with image based techniques. Potentialities and weaknesses in cultural heritage domain. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-2/W8, pp. 221-228.

Wang X., Singh A., Pervysheva Y., Lamatungga K. E., Murtinová V., Mukarram M., Zhu Q., Song K., Surový P., Mokroš M. (2021). Evaluation of ipad pro 2020 lidar for estimating tree diameters in Urban forest. In *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume VIII-4/W1-2021 6th International Conference on Smart Data and Smart Cities, 15–1, Stuttgart, Germany, pp.105-110.

Authors

Carlo Battini, University of Genoa, Department of Civil, Chemical and Environmental Engineering (DICCA), carlo.battini@unige.it
Rita Vecchiattini, University of Genoa, Department of Architecture and Design (DAD), rita.vecchiattini@unige.it

To cite this chapter: Carlo Battini, Rita Vecchiattini (2022). Potenzialità e limiti di sistemi mobile per il rilievo 3D/Potential and limitations of mobile systems for 3D surveying. In Battini C., Bistagnino E. (a cura di), *Dialoghi. Visioni e visualità. Testimoniare Comunicare Sperimentare. Atti del 43° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Dialogues. Visions and visuality. Witnessing Communicating Experimenting. Proceedings of the 43rd International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 2090-2105.