

La misura per la dismisura dei dati da rilievo digitale 3D. Il caso del centro storico di Trento

Anna Maragno
Ambra Barbini
Elena Bernardini
Chiara Chioni
Giovanna A. Massari

Abstract

La facilità di acquisizione di grandi quantità di dati grazie all'uso di strumenti di rilievo digitale 3D (*image-based*, *range-based*) comporta rilevanti problemi di gestione degli stessi nelle diverse fasi di lavoro. L'accessibilità di soluzioni *low-cost* (e.g., fotocamere sferiche, smartphone e tablet con sensore LIDAR) prefigura ipotetici scenari di campagne di rilievo estensive, facendo emergere la questione della 'dismisura' dei dati e della funzionalità delle informazioni acquisite in rapporto allo scopo del rilievo. A partire da un'ingente quantità di dati geometrici sul centro storico di Trento, acquisiti con diverse campagne di rilievo condotte con recenti tecnologie di acquisizione digitale (i.e., laser scanner terrestre, laser scanner mobile, drone, camera su asta telescopica, camera sferica, tablet con sensore LIDAR), questo contributo propone un metodo per 'misurare la dismisura' dei dati attraverso la definizione di parametri con cui descriverne i principali attributi qualitativi e quantitativi. Tale approccio metodologico intende, per un verso, orientare la gestione e l'utilizzo dei dati, per altro verso sviluppare maggiore consapevolezza in fase di acquisizione.

Parole chiave

Nuvole di punti, parametri di misura, rilievo *image-based*, rilievo *range-based*, valutazione dei dati.



Immagine evocativa della mole di dati acquisiti con le diverse tecnologie di rilievo digitale 3D.

Da sinistra a destra: laser scanner mobile, fotocamera sferica, fotocamera su asta telescopica, laser scanner terrestre, tablet con sensore LIDAR, drone. Elaborazione delle autrici.

Introduzione

È il 1998 quando Roberto de Rubertis apre la rivista *XY. Dimensioni del disegno* lanciando una provocazione, ancora attuale, sulla necessità di un nuovo tipo di rilievo “oltre la misura, [...] che vada oltre quel calco geometrico che si è spesso creduto di poter sostituire all'architettura e all'ambiente nell'illusione di catturarne la qualità” [de Rubertis 1998]. Quell'invito, oggi, è più che mai attuale, a fronte della facilità di acquisizione di grandi quantità di dati con i quali creare quel “calco geometrico” della realtà, per mezzo di strumenti di rilievo digitale 3D (*image-based, range-based*) [Abergel et al. 2021].

Il tema della ‘dismisura’ dei dati acquisibili [Massari 2005] si inserisce all'interno del fenomeno più ampio e complesso della digitalizzazione, specchio di una società che quotidianamente, nei diversi ambiti della vita privata e pubblica, produce, scambia e si nutre di una ‘smisurata’ mole di dati [Valacchi 2023; Valacchi 2006].

Nel campo del rilievo urbano e architettonico, come in molti altri ambiti e discipline [Guercio 2013; Weston 2013], la pletorica raccolta di dati comporta rilevanti problemi di gestione degli stessi nelle diverse fasi di lavoro: selezione, che viene spesso effettuata *ex post* a seconda dell'obiettivo del rilievo; elaborazione, che necessita di calcolatori prestanti; archiviazione, che richiede supporti di memoria sufficientemente capienti e che deve tenere conto dell'obsolescenza tecnologica; fruizione, che si scontra con la compatibilità dei formati e che sovente comporta una significativa scrematura di informazioni per adattarsi alle prestazioni dei dispositivi o alla condivisione sul web.

L'accessibilità (in termini di costi e facilità d'uso) di strumenti di rilievo digitale *low-cost* (e.g., fotocamere sferiche, smartphone e tablet con sensore LIDAR) che, seppur con minor precisione, consentono di acquisire grandi quantità di dati, in tempi brevi [Chioni et al. 2023; Janiszewski et al. 2022; Vacca 2023], prefigura ipotetici scenari di campagne di rilievo estensive. La crescente diffusione delle relative procedure sposta la discussione sul piano dell'utilità della dismisura dei dati, intesa in termini di funzionalità delle informazioni acquisite in rapporto allo scopo del rilievo. La funzionalità di un dato, infatti, non è una sua peculiarità intrinseca, ma dipende da alcune sue caratteristiche che, se opportunamente definite, possono essere misurate e valutate sia a monte che a valle dell'acquisizione secondo un obiettivo specifico. A tal fine è opportuno ricordare che l'atto di ‘misurare’, “per caricarsi di senso, deve implicare [...] una capacità di critica, dunque di selezione e di attribuzione di valore in funzione di una intenzionalità ben precisa” [Ugo 1998]. La misurazione delle caratteristiche di un dato rilevato ci permette dunque di andare oltre la quantità e di stimarne la qualità [Cannarozzo,



Fig. 1. A sinistra: inquadramento dell'area di interesse all'interno della città di Trento. A destra: identificazione dei principali elementi urbani oggetto della ricerca (da: Google Earth). Elaborazione delle autrici.

Salerno 1991; Massari 1998] – e quindi la potenziale funzionalità – in riferimento a determinati parametri, come la fedeltà visiva e l'accuratezza geometrica [Radanovic et al. 2020]. Alla luce di tali considerazioni, questo contributo propone un metodo per misurare (valutare) le caratteristiche quantitative e qualitative dei dati contenuti nelle nuvole di punti da rilievo digitale 3D, con il duplice scopo di: analizzare quelli già acquisiti e quindi indirizzarne a posteriori l'utilizzo in funzione di specifiche esigenze; e supportare a monte il progetto di rilievo, ponderando a priori l'opportunità (sia in termini di necessità che di occasione adatta) dell'acquisizione di grandi quantità di dati.

Il caso studio e i materiali

Le riflessioni qui sviluppate si inseriscono nel quadro di pluriennali attività di ricerca, sperimentazione e divulgazione, concentrate sul centro storico di Trento, con particolare riferimento al polo nevralgico costituito dalla Cattedrale di S. Vigilio, dal Palazzo Pretorio e dallo spazio urbano circostante (fig. 1).

L'indagine, che coinvolge le discipline della storia dell'architettura, delle costruzioni stradali e del rilievo architettonico, prende le mosse nel 2019 con il Progetto di Ricerca di Interesse Nazionale (PRIN 2017) "Pavimentazioni in pietra. Storia, conservazione, valorizzazione e progettazione" [1] [Maragno, Volpi 2021; Maragno, Volpi 2022; Maragno, Volpi 2023], si sviluppa tra il 2021 e il 2023 con la ricerca su Palazzo Pretorio (a) volta a studiare l'attuale configurazione dell'edificio per indagarne la storia e lo sviluppo nel tempo [2], e continua nel 2024 con una sperimentazione su Piazza Duomo e Piazza Adamo d'Arognò (b) orientata alla produzione di modelli immersivi dello spazio urbano a partire da rilievi digitali *low-cost*. In particolare, le ultime due ricerche sono state supportate da diverse campagne di rilievo condotte con recenti tecnologie di acquisizione digitale (i.e., laser scanner terrestre, laser scanner mobile, drone, camera su asta telescopica, camera sferica, tablet con sensore LIDAR) [Balsa-Barreiro, Fritsch 2018], messe poi a sistema con gli esiti di un tradizionale








range-based tools			image-based tools		
Faro Focus S120	Lixel X1	iPad Pro with LIDAR sensor	DJI Mavic 2 Pro	3D eye system	Ricoh Theta V
					
urban/architectural element acquired					
					
amount of data acquired					
172 scans	1 scan	4 scans	919 photos	1'025 photos	7 videos (3'317 frames)
34,75 GB	3,68 GB	0,057 GB	24,23 GB	21,53 GB	23,19 GB

Fig. 2. Dall'alto verso il basso: strumenti di acquisizione digitale 3D (range-based, a sinistra; image-based, a destra) utilizzati nelle campagne di rilievo del centro storico di Trento; ambiti rilevati con ciascuno strumento; quantificazione dei dati acquisiti. Elaborazione delle autrici.

rilievo topografico. La consistente mole di dati acquisiti, descritta nella (fig. 2), ha suggerito la necessità di elaborare un modo di analisi e confronto (misura) dei dati, sia per orientarsi nella loro gestione e nel loro utilizzo che per sviluppare maggiore consapevolezza in fase di acquisizione.

Metodologia

L'approccio metodologico proposto per 'misurare la dismisura' di dati si basa sulla definizione di parametri [Ugo 1998] con cui descrivere i principali attributi qualitativi e quantitativi. Gli oggetti del confronto sono modelli numerici [Migliari 2003; Docci, Bianchini 2016], ovvero nuvole di punti 3D, frutto di una prima elaborazione di dati grezzi.

In merito alla definizione dei parametri, e quindi alla successiva valutazione delle diverse nuvole di punti generate per il caso studio – e in particolare per (a) e (b) –, è opportuno sottolineare i condizionamenti propri tanto della fase di acquisizione che di elaborazione. In primo luogo, il settaggio e il corretto utilizzo degli strumenti in fase di campagna incidono su qualità e quantità dei dati che si registrano (e.g. qualità e risoluzione delle scansioni laser); in secondo luogo, il processamento con i software produce un modello numerico che è il risultato tanto delle scelte consapevoli dell'operatore (e.g. densità della nuvola di punti da fotogrammetria) quanto dei suoi inevitabili errori (e.g. reciproco allineamento; messa in scala).

Parametro		Descrizione	Criteri di valutazione
Parametri quantitativi	Densità	Rappresenta la ricchezza del dato in dipendenza dalla "massa" dei dati stessi. Influenza fortemente la fedeltà visiva e in parte l'accuratezza geometrica.	Espressa con un valore numerico, indica il numero di punti all'interno di un'unità di volume (una sfera) costante e predefinita.
	Affidabilità metrica	Indica la possibilità di ricavare dal modello numerico delle misure accurate.	Espressa con un valore numerico, indica lo scostamento (cm) da un set di dati acquisiti e validati tramite un metodo diverso (es. topografico).
Parametri qualitativi	Accuratezza geometrica	Esprime la possibilità di ricavare proporzioni realistiche degli oggetti rilevati, di mantenere le relazioni spaziali tra essi e di riconoscere geometrie 3D rappresentative delle forme reali.	Espressa con una scala da 1 a 4. Il valore minimo (1) indica che non è possibile identificare le geometrie dell'oggetto; il valore massimo (4) che è possibile definirle dettagliatamente.
	Fedeltà visiva	Descrive il grado di somiglianza con la realtà in termini di colori, texture ed equilibrio dei contrasti tra zone in luce e in ombra.	Espressa con una scala da 1 a 4. Il valore minimo (1) indica che i colori e le texture non corrispondono a quelli reali; il valore massimo (4) corrisponde invece alla completa verosimiglianza.

Fig. 3. Parametri di misurazione, quantitativa e qualitativa, dei dati acquisiti da rilievo digitale 3D. Elaborazione delle autrici.

Inoltre, avendo usato strumenti diversi per rilevare porzioni della realtà solo parzialmente sovrapponibili (fig. 2), i parametri proposti sono stati individuati per supportare la valutazione dei dati in funzione dell'obiettivo del rilievo, piuttosto che dell'oggetto rilevato. Infatti, se ciascun progetto di rilievo presenta peculiarità che impongono riflessioni preventive e mirate a specifici obiettivi, per contro parametri opportunamente calibrati, per valutare i dati acquisiti ed elaborati rispetto a finalità prestabilite, contribuiscono a ridurre l'arbitrarietà di certe scelte, orientandole in maniera informata.

Tuttavia, il contributo non intende suggerire utopiche soluzioni preconfezionate per il progetto di rilievo, a prescindere dalle caratteristiche di ciascun caso studio, ma vuole fornire uno strumento di supporto alle decisioni in più fasi di lavoro. Lo strumento valutativo proposto è composto da due gruppi di quattro parametri ciascuno: il primo orientato alla misurazione quantitativa e qualitativa dei modelli numerici da rilievo digitale 3D (i.e. nuvole di punti) (fig. 3); il secondo indirizzato a chiarire le differenze tecniche tra gli strumenti e le procedure più diffusi per il rilievo digitale 3D (fig.4).

Per quanto riguarda il primo gruppo, oltre alla densità, che costituisce un parametro oggettivo di confronto delle nuvole di punti, i parametri di accuratezza geometrica e fedeltà visiva sono stati adattati e riferiti al modello numerico, mutuandoli da uno studio preesistente che analizza diversi approcci per la modellazione del patrimonio costruito [Radanović 2020]. Inoltre, per distinguere il riconoscimento qualitativo di geometrie e proporzioni dal contenuto propriamente metrico del modello, è stato aggiunto il parametro di affidabilità metrica. Per quanto riguarda il secondo gruppo, sono stati selezionati dei parametri agevolmente stimabili o quantificabili in base alla conoscenza degli strumenti di acquisizione. In merito alla 'misurazione' dei parametri della tabella (fig. 3): è possibile quantificare la densità della nuvola di punti in maniera oggettiva attraverso il calcolo del *volume density* all'interno di CloudCompare, software *open source* di elaborazione di nuvole di punti 3D [3]; l'affidabi-

Fig. 4. Parametri per il confronto di strumenti e procedure per rilievo digitale 3D. Elaborazione delle autrici.

Parametro	Descrizione
Raggio di acquisizione	Distanza in metri entro la quale è garantita un'accuratezza, stabilita a monte, dello strumento (applicabile soltanto agli strumenti <i>range-based</i>). Influenza il tempo di acquisizione.
Tempo di acquisizione	Stima del tempo necessario in funzione delle impostazioni strumentali e delle modalità di acquisizione stabilite in fase di campagna.
Tempo di elaborazione	Stima del tempo necessario in funzione delle impostazioni selezionate per l'elaborazione a parità di strumentazione hardware e software disponibile.
Costo	Costo complessivo delle operazioni di acquisizione ed elaborazione, tenendo conto dello strumento e degli applicativi necessari per elaborare i dati grezzi.

		strumenti <i>range-based</i>			strumenti <i>image-based</i>		
		Faro Focus S120 [TLS]	Lixel X1 [MMS]	iPad Pro con sensore LIDAR	DJI Mavic 2 Pro	3D Eye system	Ricoh Theta V
Parametri quantitativi	Densità	≈ 230.000	≈ 54.000	≈ 7.000	≈ 540.000	≈ 27.000	≈ 6.000
	Affidabilità metrica	< 1,5 cm	< 25 cm	< 5 cm	< 3,5 cm	< 2 cm	< 100 cm
Parametri qualitativi	Accuratezza geometrica	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●
	Fedeltà visiva	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●

Fig. 5. Misurazione, quantitativa e qualitativa, dei dati acquisiti con i diversi strumenti di rilievo digitale nel caso studio. Elaborazione delle autrici.

lità metrica può essere ottenuta dal confronto tra una misura ricavata virtualmente dalla nuvola (per esempio, ancora in CloudCompare) e una acquisita direttamente sull'oggetto, e.g. tramite longimetria o topografia; infine, all'accuratezza geometrica e alla fedeltà visiva può essere attribuito qualitativamente un punteggio crescente relativo al caso di studio. Anche la 'misurazione' dei parametri della seconda tabella (fig. 4), con l'eccezione del raggio di acquisizione che è un dato numerico fornito dal produttore dello strumento, può essere ricondotta ad una stima qualitativa espressa attraverso un punteggio da 1 a 4, per indicare rispettivamente tempi e costi crescenti.

Risultati

Lo strumento valutativo appena illustrato è il principale risultato di questo studio. Per dimostrarne l'applicazione e testarne la validità, i due gruppi di parametri che lo compongono sono stati usati per 'misurare' la grande mole di dati a nuvola di punti che le autrici hanno a disposizione dal caso studio del centro storico di Trento, con specifico riferimento alle acquisizioni ed elaborazioni condotte per Palazzo Pretorio (a) e Piazza d'Arognò (b).

La terza tabella (fig. 5) valuta e confronta la quantità (densità, affidabilità metrica) e qualità (accuratezza geometrica, fedeltà visiva) dei modelli numerici generati con i diversi strumenti di rilievo e le relative procedure software.

Nel dettaglio di ciascun parametro: i valori della densità (i.e., numero di punti in una sfera di raggio 0,5 metri) variano anche significativamente (da un minimo di qualche migliaio fino a diverse centinaia di migliaia) (fig. 6), principalmente in dipendenza dalle prestazioni degli strumenti, ma in parte anche per le scelte operate caso per caso, a seconda degli obiettivi delle diverse campagne di rilievo; a tali aspetti si può ricondurre anche la certa ricorsività e comparabilità di valori tra i modelli numerici generati con strumenti *range-based* e *image-based*, rispettivamente: laser scanner terrestre (TLS) e drone; laser scanner mobile (MMS) e camera su asta telescopica; tablet con sensore LIDAR e camera sferica. In questo caso, il calcolo dell'affidabilità metrica si è appoggiato ad un rilievo topografico esistente, condotto in occasione di (a). I risultati sono in linea con la letteratura [Herban et al. 2022; Ippolito et al. 2023]: il modello numerico più 'affidabile' è quello derivante dal TLS, seguito da quelli

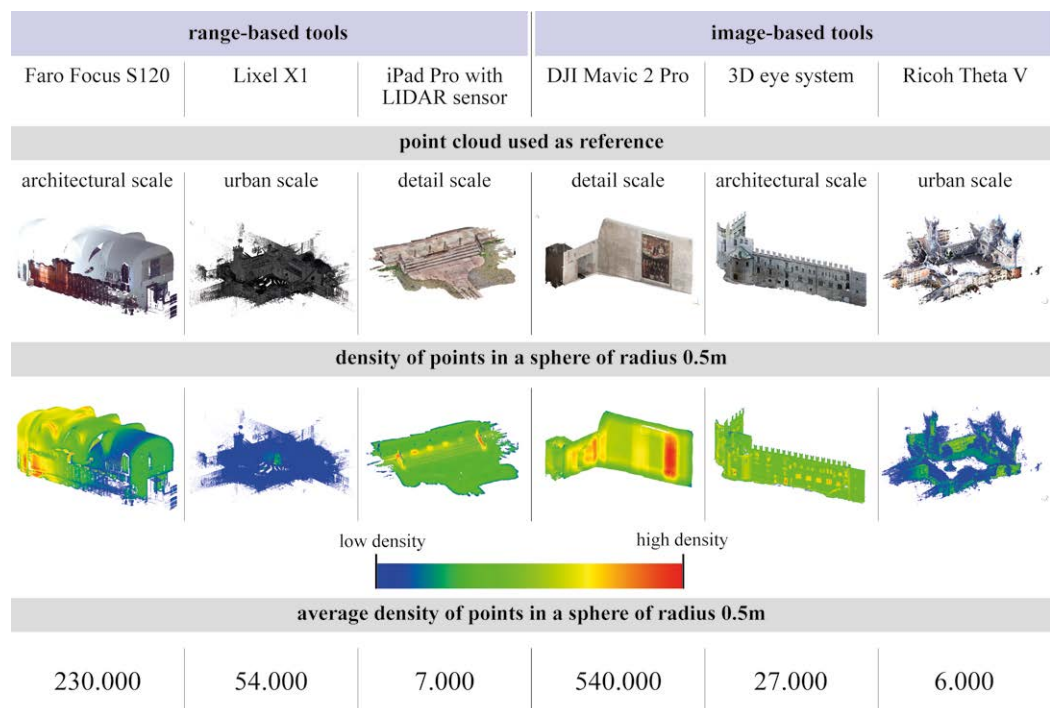


Fig. 6. Confronto, visivo e numerico, della densità di alcune nuvole elaborate a partire dai dati acquisiti con i diversi strumenti di rilievo digitale 3D nel caso studio. Sono state considerate le porzioni di nuvole più significative per ciascun metodo e scala. Elaborazione delle autrici.

generati da fotogrammetria; il valore del modello da fotogrammetria sferica risente dell'economicità della specifica camera panoramica utilizzata, come confermano gli studi con camere sferiche più performanti [Bruno et al. 2024; Barazzetti et al. 2018]; particolarmente critico è il valore per il MMS, sebbene il movimento durante l'acquisizione non garantisca aprioristicamente la stessa precisione di una scansione fissa, in questo caso il parametro risulta influenzato negativamente dalle consistenti dimensioni dell'area rilevata.

Dati i buoni risultati quantitativi raggiunti dalla nuvola da TLS, questa è stata utilizzata come 'metro' di paragone per le nuvole ottenute da altri strumenti. La formulazione di un giudizio sulla qualità dei parametri considerati in funzione degli obiettivi dell'acquisizione (i.e., buono, discreto, scarso) consente di confrontare i dati anche se misurati con criteri non omogenei (cfr. fig. 3) (fig. 7): in linea generale le stime di accuratezza geometrica e fedeltà visiva riflettono i valori misurati per i primi due parametri, con l'eccezione dei modelli numerici da MMS e da tablet che sembrano discostarsi; in particolare, il primo per l'accuratezza geometrica, valutata come alta nonostante la bassa affidabilità metrica, e il secondo per la fedeltà visiva, elevata nonostante la scarsa densità.

A completamento, la quarta tabella (fig. 8) valuta e confronta gli strumenti e le procedure che entrano in gioco nella generazione delle diverse nuvole di punti. Tralasciando la descrizione dettagliata dei valori del raggio di acquisizione e delle stime di costo che sono riconducibili alle specificità hardware e software, alcune considerazioni più generali, a partire dal caso specifico, possono essere fatte per la valutazione dei tempi di acquisizione e di elaborazione. In generale appare chiaro che, soprattutto per i metodi *image-based*, a limitati tempi di acquisizione corrispondono lunghi processi di elaborazione dei dati, che si prolungano all'aumentare dei livelli di densità, fedeltà metrica e accuratezza geometrica perseguiti. Tuttavia, è importante notare che, escludendo il MMS e la camera sferica, i tempi di acquisizione possono variare notevolmente in base alle dimensioni dell'oggetto da rilevare (e.g. ad ambienti più grandi corrispondono più scansioni TLS o fotografie da acquisire).

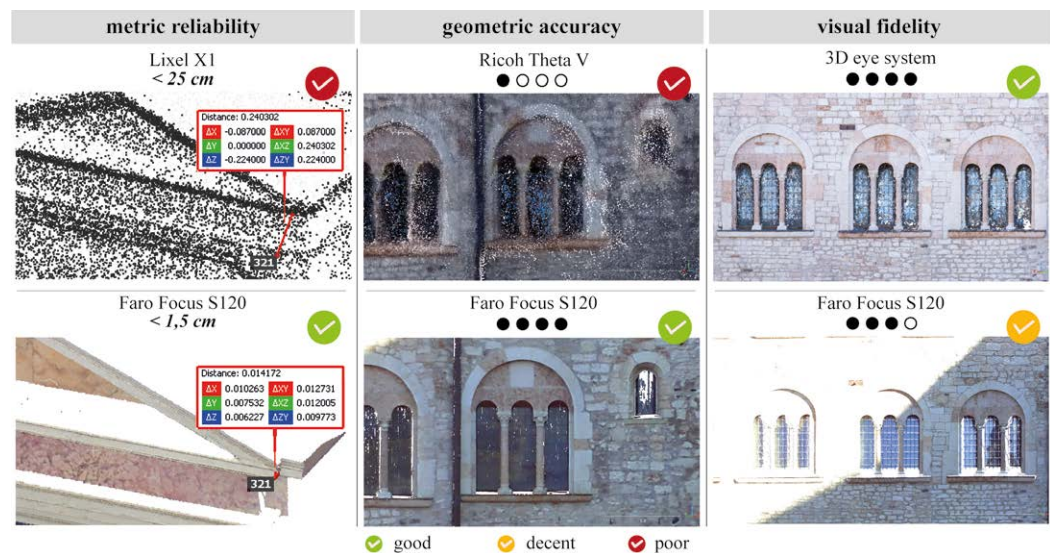


Fig. 7. Descrizione visiva dei parametri di affidabilità metrica, accuratezza geometrica e fedeltà visiva attraverso il confronto di alcuni esempi. Elaborazione delle autrici.

Discussione e futuri sviluppi

Di fronte alla 'dismisura' di dati ottenibili tramite strumenti di rilievo digitale 3D, il contributo sperimenta uno strumento di valutazione basato su due set di parametri distinti ma correlati: uno mirato a misurare, sia quantitativamente che qualitativamente, i dati acquisiti con diversi strumenti; l'altro, per confrontare le principali caratteristiche degli strumenti e delle procedure nelle varie fasi di lavoro. L'intento è, da una parte, esaminare retrospettivamente i dati raccolti per usarli nel modo più opportuno; dall'altra fornire un sostegno preliminare

Fig. 8. Confronto di strumenti e procedure software impiegati nel caso studio. Elaborazione delle autrici.

	strumenti <i>range-based</i>			strumenti <i>image-based</i>		
	Faro Focus S120 [TLS]	Lixel X1 [MMS]	iPad Pro con sensore LIDAR	DJI Mavic 2 Pro	3D Eye system	Ricoh Theta V
Raggio di acquisizione [m]	120	120	5	-	-	-
Tempi di acquisizione	⌚	⌚	⌚⌚⌚	⌚⌚	⌚⌚	⌚
Tempi di elaborazione	⌚⌚⌚	⌚⌚	⌚	⌚⌚⌚⌚	⌚⌚⌚⌚	⌚⌚⌚
Costo	€€€€*	€€€€*	€	€€	€€	€
* Oltre al costo dello strumento si considera qui anche quello della licenza del software proprietario necessario per l'elaborazione dei dati acquisiti.						

alla fase di acquisizione, volto ad ottimizzare la quantità di dati rilevati in rapporto agli obiettivi del rilievo.

Un'acquisizione smisurata di dati, oltre a generare una ridondanza di informazioni nella quale può essere complesso orientarsi, può anche dare problemi di gestione (selezione, elaborazione, archiviazione, fruizione e, paradossalmente, eliminazione) di tali dati. In questo senso, la diffusione di modelli a nuvola di punti esperibili in ambienti virtuali e/o aumentati, anche online, ne è un esempio: i limiti di MB per la condivisione sul web costringe a ridurre drasticamente la densità dei modelli, spesso compromettendone l'accuratezza geometrica e la fedeltà visiva. Tuttavia, in altri casi, ad esempio per la rappresentazione dell'architettura a scopo storico-conservativo, l'integrazione di più strumenti e la ricchezza di dati risultano fondamentali per ottenere modelli numerici rispondenti agli standard di completezza, dettaglio ed affidabilità metrica richiesti.

Nella loro 'dismisura', i dati scartati rappresentano interessanti opportunità di riuso, ad esempio per scopi didattici ed ulteriori ricerche o per sperimentare con algoritmi di Intelligenza Artificiale per la ricostruzione 3D da immagini.

Note

[1] *Pavimentazioni in pietra. Storia, conservazione, valorizzazione e progettazione* (2019-2023) è stato un progetto di ricerca nazionale (PRIN 2017) finanziato dal MIUR. Il progetto ha riguardato l'analisi di manufatti infrastrutturali romani, e in generale le strade di rilevante valore culturale ed estetico che hanno plasmato le vie di comunicazione d'Europa, utilizzando strumenti contemporanei pensati per le moderne reti infrastrutturali.

[2] La ricerca su Palazzo Pretorio è stata avviata nel 2021 dal Museo Diocesano Tridentino in collaborazione con il Dipartimento di Lettere e Filosofia e il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica (DICAM) dell'Università di Trento, la Biblioteca Comunale, l'Archivio Storico del Comune di Trento e la Soprintendenza ai Beni Culturali. L'indagine mira a ricostruire un quadro interpretativo delle varie trasformazioni dell'edificio nel tempo attraverso un accurato rilievo digitale, lo studio delle stratificazioni costruttive e l'analisi delle fonti archivistiche.

[3] <<https://cloudcompare.org/>>

Ringraziamenti e crediti

Concettualizzazione e metodologia A.M., A.B., E.B. e C.C.; acquisizione e cura dei dati: A.M., A.B. e C.C.; scrittura: Introduzione, A.M., E.B.; il caso studio e i materiali, E.B.; Metodologia, A.B.; Risultati, C.C.; Discussione e futuri sviluppi, A.M.; supervisione scientifica e coordinamento: G.A.M. Tutti gli autori hanno letto e approvato la versione del contributo pubblicata.

Le autrici ringraziano il Laboratorio di Analisi e Modellazione dell'Architettura Rappresentazione e Comunicazione (LAMARC) dell'Università di Trento-DICAM per il supporto tecnico e strumentale in tutte le fasi di questa ricerca, unitamente a tutto il team tecnico che ha collaborato alle campagne di rilievo, all'elaborazione e alla restituzione dei dati durante la ricerca su Palazzo Pretorio. In particolare, un sentito ringraziamento va a Francesco Giampiccolo per il fondamentale contributo operativo e strumentale durante le campagne di rilievo e l'elaborazione dei dati fotogrammetrici.

Infine, si ringraziano il prof. Raffaele Mauro (UniTn-DICAM) e la prof.ssa Cristiana Volpi (UniTn-DICAM) per il coordinamento e il supporto scientifico nell'ambito del progetto "Pavimentazioni in pietra. Storia, conservazione, valorizzazione e progettazione" (PRIN 2017).

Riferimenti bibliografici

<<https://cloudcompare.org/>> (consultato il 16 febbraio 2024).

Abergel V., Jacquot K., De Luca L., Veron P. (2021). Combining on-site and off-site analysis: towards a new paradigm for cultural heritage surveys. In *Disegnarecon*, 14, n. 26. <<https://doi.org/10.20365/disegnarecon.26.2021.13>> (consultato il 23 luglio 2024).

Balsa-Barreiro J., Fritsch D. (2018). Generation of visually aesthetic and detailed 3D models of historical cities by using laser scanning and digital photogrammetry. In *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, v. 8, pp. 57-64. <<https://doi.org/10.1016/j.daach.2017.12.001>> (consultato il 23 luglio 2024).

Barazzetti L., Previtali M., Roncoroni F. (2018). Can we use low-cost 360 degree cameras to create accurate 3d models?. In *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII, 2, pp. 69-75. <<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-69-2018>> (consultato il 23 luglio 2024).

Bruno N., Perfetti L., Fassi F., Roncella R. (2024). Photogrammetric survey of narrow spaces in cultural heritage: comparison of two multi-camera approaches. In *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVIII, 2, pp. 87-94. <<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W4-2024-87-2024>> (consultato il 23 luglio 2024).

Cannarozzo M. L., Salerno R. (1991). *Fotografie e misura*. Milano: Cluva, CittàStudi.

Chioni C., Maragno A., Pianegonda A., Ciolli M., Favargiotti S., Massari G.A. (2023). Low-Cost 3D Virtual and Dynamic Reconstruction Approach for Urban Forests: The Mesiano University Park. In *Sustainability*, 15, n. 19, 14072. <<https://doi.org/10.3390/su151914072>> (consultato il 23 luglio 2024).

De Rubertis R. (1998). Editoriale. In *XY. Dimensioni del Disegno. Rappresentazione e verità*, vol. 32-33, p. 3. Officina.

Docci M., Bianchini C. (2016). Editoriale. Il ruolo dei modelli virtuali 3D nella conservazione del patrimonio architettonico e archeologico. In *disegnare idee immagini*, XXVII, 53, pp. 3-6. Gangemi.

Janiszewski M., Torkan M., Uotinen L., Rinne M. (2022). Rapid Photogrammetry with a 360-Degree Camera for Tunnel Mapping. In *Remote Sensing* 2022, 14, n. 21. <<https://doi.org/10.3390/rs14215494>> (consultato il 23 luglio 2024).

Guercio M. (2013). *Conservare il digitale. Principi, metodi e procedure per la conservazione a lungo termine di documenti digitali*. Roma-Bari: Laterza.

Herban S., Costantino D., Alfio V. S., Pepe M. (2022). Use of Low-Cost Spherical Cameras for the Digitisation of Cultural Heritage Structures into 3D Point Clouds. In *Imaging*, 8, n. 13. <<https://doi.org/10.3390/imaging8010013>> (consultato il 23 luglio 2024).

Ippolito A., Palmadessa C., Noursati Kordkandi M., Arias Tapiero J. C. (2023). The Domus of the Calendar: a qualitative comparison analysis of digital data obtained from 3D laser scanners, SfM methodologies and portable devices. In *Archeologia e Calcolatori*, 34.2, p. 247-262. <<https://doi.org/10.19282/ac.34.2.2023.13>> (consultato il 23 luglio 2024).

Maragno A., Volpi C. (2021). *Dove Trento cammina. Nascita e sviluppo delle pavimentazioni stradali in porfido a Trento nella prima metà del Novecento*. Roma: Edizioni Efesto.

Maragno A., Volpi C. (2022). Il ruolo degli Ingegneri Circolari e degli Ingegneri Civici a Trento nella prima metà dell'Ottocento. In S. D'Agostino, F. Romana d'Ambrosio Alfano, E. Manzo (a cura di), *History of Engineering/Storia dell'Ingegneria. Proceedings of the 5th International Conference/Atti del 9° Convegno Nazionale*. Napoli, 16-17 maggio 2022, vol. 2, pp. 613-626. Napoli: Cuzzolin.

Maragno A., Volpi C. (2023). *Dove Trento s'ingegna. Il ruolo degli ingegneri nello sviluppo della città di Trento nel corso del XIX secolo*. Roma: Efesto.

Massari G.A. (1998). Misurare Interpretare Conoscere. In *XY Dimensioni del Disegno. Rappresentazione e verità*, vol. 32-33, pp. 5-18. Officina.

Massari G.A. (2005). Del rigore della misura. In *XY Dimensioni del disegno. Rappresentazione e verità*, 9, 47, pp. 105-116. Officina.

Migliari R. (2003). *Geometria dei modelli: rappresentazione grafica e informatica per l'architettura e per il design*. Roma: Kappa.

Pepe M., Alfio V. S., Costantino D., Herban S. (2022). Rapid and Accurate Production of 3D Point Cloud via Latest-Generation Sensors in the Field of Cultural Heritage: A Comparison between SLAM and Spherical Videogrammetry. In *Heritage*, 5, pp. 1910-1928. <<https://doi.org/10.3390/heritage5030099>> (consultato il 23 luglio 2024).

Radanovic M., Khoshelham K., Fraser C. (2020). Geometric Accuracy and Semantic Richness in Heritage BIM: A Review. In *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 19. <<https://doi.org/10.1016/j.daach.2020.e00166>> (consultato il 23 luglio 2024).

Ugo V. (1998). Misura-interpretazione-conoscenza-interpretazione-misura: circolo vizioso, o virtuoso?. In *XY Dimensioni del Disegno. Rappresentazione e verità*, 32-33, pp. 19-24. Officina.

Vacca G. (2023). 3D Survey with Apple LiDAR Sensor - Test and Assessment for Architectural and Cultural Heritage. In *Heritage*, 6, pp. 1476-1501. <<https://doi.org/10.3390/heritage6020080>> (consultato il 23 luglio 2024).

Valacchi F. (2023). *La verità di carta. A cosa servono gli archivi?*. Perugia: Graphe.it.

Valacchi F. (2006). *La memoria integrata nell'era digitale. Continuità archivistica e innovazione tecnologica*. San Miniato: Archilab.

Weston P.G. (2013). Digital curation. Nuove opportunità per bibliotecari e archivisti. In P.G. Weston (a cura di), *Il libro, gli archivi e la memoria digitale*. Milano: Unicopli.

Autrici

Anna Maragno, Università di Trento, anna.maragno@unitn.it

Ambra Barbini, Università di Trento, ambra.barbini@unitn.it

Elena Bernardini, Università di Trento, elena.bernardini@unitn.it

Chiara Chioni, Università di Trento, chiara.chioni@unitn.it

Giovanna A. Massari, Università di Trento, giovanna.massari@unitn.it

Per citare questo capitolo: Anna Maragno, Ambra Barbini, Elena Bernardini, Chiara Chioni, Giovanna A. Massari (2024). La misura per la dismisura dei dati da rilievo digitale 3D. Il caso del centro storico di Trento/The measure for uncountable data from 3D digital survey. The case of the historical centre of Trento. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (a cura di). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 1679-1698.

The measure for uncountable data from 3D digital survey. The case of the historical centre of Trento

Anna Maragno
Ambra Barbini
Elena Bernardini
Chiara Chioni
Giovanna A. Massari

Abstract

The ease of acquiring large amounts of data through the use of 3D digital survey tools (image-based, range-based) entails relevant problems of data management at different stages. The accessibility of low-cost solutions (e.g., spherical cameras, smartphones, and tablets with LIDAR sensor) prefigures hypothetical scenarios of extensive survey campaigns, bringing up the issue of 'uncountable data' and the functionality of the acquired information in relation to the purpose of the survey. Starting from a large amount of geometric data on the historical centre of Trento, acquired through several survey campaigns conducted with recent digital acquisition technologies (i.e., terrestrial laser scanner; mobile laser scanner; drone, camera on telescopic rod, spherical camera, tablet with LIDAR sensor), this contribution proposes a method to 'measure the unmeasurable' of data through the definition of parameters with which to describe its main qualitative and quantitative attributes. This methodological approach is intended, on the one hand, to guide the management and use of data, and on the other hand, to develop greater awareness during acquisition.

Keywords

Point clouds, measurement parameters, image-based survey, range-based survey, data evaluation.



An evocative image showing the amount of data acquired using different 3D digital survey technologies. From left to right: mobile laser scanner, spherical camera, camera on a telescopic rod, terrestrial laser scanner; tablet with a LIDAR sensor; and drone. Elaboration by the authors.

Introduction

In 1998, Roberto de Rubertis opened the magazine *XY. Dimensioni del disegno*, launching a provocation, still topical today, about the need for a new type of survey beyond measurement, that goes further than geometric cast which we have often believed could substitute for architecture and the environment in the illusion of capturing its quality [de Rubertis 1998]. That invitation is more relevant today than ever, given the ease of acquiring large amounts of data to create that 'geometric cast' of reality through 3D (image-based, range-based) digital survey tools [Abergel et al. 2021].

The theme of the 'excess' of data that can be acquired [Massari 2005] is part of the broader and more complex phenomenon of digitalisation, reflecting a society that daily, in various spheres of private and public life, produces, exchanges, and consumes a 'huge' amount of data [Valacchi 2023; Valacchi 2006].

In the field of urban and architectural surveying, as in many other fields and disciplines [Guercio 2013; Weston 2013], the plethora of data collection leads to significant data management problems in various phases of the work: selection, which is often carried out *ex post* depending on the survey's objective; processing, which needs high-performance computers; archiving, which requires sufficiently large storage media and must account for technological obsolescence; and fruition, which struggles with format compatibility and often involves significant selection of information to suit device performance or web sharing. The accessibility (in terms of cost and ease of use) of low-cost digital survey tools (e.g., spherical cameras, smartphones, and tablets with LIDAR sensors) that, although with less precision, allow for the acquisition of large amounts of data in a short time [Chioni et al. 2023; Janiszewski et al., 2022; Vacca 2023], suggests hypothetical scenarios of extensive survey campaigns. The increasing popularity of these procedures shifts the discussion to the usefulness of the data, meaning the functionality of the information acquired in relation to the purpose of the survey. The functionality of data is not an inherent peculiarity of them; rather, it depends on certain characteristics that, if properly defined, can be measured and evaluated both upstream and downstream of acquisition, according to a specific objective. To this end, it is worth remembering that the act of 'measuring,' in order to be imbued with meaning, must imply a capacity for critique, thus enabling selection and attribution of value based on a well-defined intentionality [Ugo 1998]. Measuring the characteristics of the collected data allows us to move beyond quantity and estimate its quality [Cannarozzo & Salerno 1991; Massari 1998], and consequently, its potential functionality, with reference to

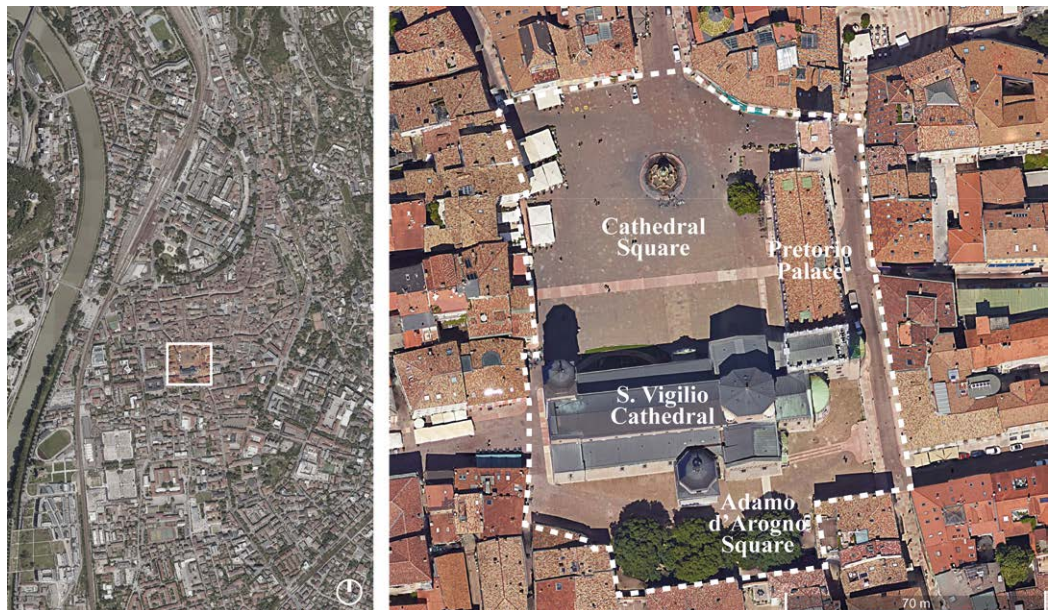


Fig. 1. On the left: the area of interest within the city of Trento. On the right: the identification of the main urban elements involved in the research (from: Google Earth). Elaboration by the authors.

specific parameters such as visual fidelity and geometric accuracy [Radanovic et al. 2020]. In light of these considerations, this paper presents a method for measuring (evaluating) the quantitative and qualitative characteristics of the data contained in point clouds from 3D digital survey. This method serves two specific purposes. On the one hand, it can be used to analyse data already acquired, thus guiding their use retrospectively according to specific needs. On the other hand, it can support the survey project in its initial stages, assessing beforehand the necessity and appropriateness of acquiring large quantities of data.

The case study and materials

The following reflections are the result of many years of research, experimentation, and dissemination activities focused on the historical centre of Trento. Particular attention was given to the central area consisting of the Cathedral of S.Vigilio, the Pretorio Palace, and the surrounding urban space (fig. 1).

The investigation, involving the disciplines of architectural history, road construction, and architectural surveying, began in 2019 with the Research Project of National Interest (PRIN 2017) "Stone pavements. History, conservation, valorisation and design" [1] [Maragno, Volpi 2021; Maragno, Volpi 2022; Maragno, Volpi 2023]. Between 2021 and 2023, a specific research was carried out on Pretorio Palace (a), aimed at studying the current configuration of the building to explore its history and development over time [2]. The project continues in 2024 with an experiment on the Cathedral Square and Adamo d'Arogno Square (b), focused on producing immersive models of urban spaces using low-cost digital surveys. In particular, the last two researches were supported by several survey campaigns carried out with recent digital acquisition technologies (i.e., terrestrial laser scanner, mobile laser scanner, drone, camera on telescopic rod, spherical camera, tablet with LIDAR sensor) [Balsa-Barreiro, Fritsch 2018]. The results of the 3D digital survey were then compared with the outcomes of a traditional topographic survey.








range-based tools			image-based tools		
Faro Focus S120	Lixel X1	iPad Pro with LIDAR sensor	DJI Mavic 2 Pro	3D eye system	Ricoh Theta V
					
urban/architectural element acquired					
					
■ indoor/outdoor areas full-height elevations ★ limited elements					
amount of data acquired					
172 scans	1 scan	4 scans	919 photos	1'025 photos	7 videos (3'317 frames)
34,75 GB	3,68 GB	0,057 GB	24,23 GB	21,53 GB	23,19 GB

Fig. 2. From top to bottom: 3D digital acquisition tools used in the survey campaigns of historical centre of Trento (range-based, left; image-based, right); areas acquired with each tool; quantification of acquired data. Elaboration by the authors.

The large amount of data acquired, as described in (fig. 2), suggested the need to develop a method for analysing and comparing (measuring) the data, both to guide their management and use, and to foster greater awareness during their acquisition.

Method

The methodological approach proposed to 'measure uncountable data' is based on the definition of parameters [Ugo 1998] with which to describe their main qualitative and quantitative attributes. The objects of comparison are numerical models [Migliari 2003; Docci, Bianchini 2016], namely 3D point clouds, the result of an initial processing of raw data. Regarding the definition of the parameters, and the subsequent evaluation of the different point clouds generated for the case study - specifically for (a) and (b) -, it is opportune to underline the conditionings of both the acquisition and processing phases. Firstly, the setting and correct use of the instruments during the campaign phase affect the quality and quantity of the data recorded (e.g., quality and resolution of the laser scans); secondly, processing with software produces a numerical model that is the result as much of the operator's conscious choices (e.g., density of the point cloud from photogrammetry) as of his inevitable errors (e.g., reciprocal alignment; scaling). Furthermore, the survey was carried out with different instruments and on areas of reality

Parameter		Description	Evaluation criteria
Quantitative parameters	Density	It represents the richness of the data from a quantitative point of view. It strongly influences visual fidelity and, to some extent, geometric accuracy.	Expressed as a numerical value, it indicates the number of points within a constant, predefined unit of volume (a sphere).
	Metric reliability	It indicates the possibility of deriving accurate measurements from the numerical model.	Expressed as a numerical value, it indicates the metric deviation (cm) from a dataset acquired and validated by a different method (e.g. topographic).
Qualitative parameters	Geometric accuracy	It expresses the ability to derive realistic proportions of surveyed objects, to maintain spatial relationships between them, and to recognize 3D geometries representative of real shapes.	Expressed on a scale of 1 to 4. The minimum value (1) indicates that it is not possible to identify the geometries that comprise the object; the maximum value (4) that it is possible to identify them in detail.
	Visual fidelity	It describes the level of resemblance to reality in terms of colours, textures and balance of contrasts between areas in light and in shadow.	Expressed on a scale of 1 to 4. The minimum value (1) indicates that the colors and textures do not match the real ones; the maximum value (4) indicates complete verisimilitude.

Fig. 3. Quantitative and qualitative measurement parameters of point cloud data from 3D digital survey. Elaboration by the authors.

that were only partially overlapping (fig. 2). Therefore, the proposed parameters were selected to support the evaluation of the data according to the survey's objective, rather than the object surveyed. In fact, while each survey project has its own peculiarities that require preliminary reflections aimed at specific objectives, appropriately calibrated parameters for evaluating the acquired and processed data with respect to pre-established goals help to guide choices.

However, the research is not intended to suggest utopian pre-packaged solutions for the survey project, regardless of the characteristics of each case study. Rather, it aims to provide a support tool for decision-making in various phases of the work. This evaluation tool consists of two groups, each containing four parameters.

The first group focuses on the quantitative and qualitative assessment of numerical models derived from 3D digital surveys (i.e., point clouds) (fig. 3). The second group aims to clarify the technical differences between the most widely used tools and procedures for 3D digital survey (fig. 4).

Regarding the first group, point clouds are evaluated based on their density, which serves as an objective comparison parameter. They are also assessed for their geometric accuracy and visual fidelity, parameters that have been adapted to numerical models from a previous study [Radanović 2020]. Additionally, the metric reliability parameter was added to distinguish the qualitative recognition of geometries and proportions from the strictly metric content of the model.

Finally, for the second group, we selected parameters that can be easily estimated or quantified according to the instruments used for the acquisition.

Concerning the 'measurement' of the parameters in table (fig. 3), it is possible to quantify the density of a point cloud through the calculation of the volume density within CloudCompare, open source 3D point cloud processing software [3]. Metric reliability can be ob-

Parameter	Description
Acquisition radius	It is the distance in metres within which an accuracy, established upstream, of the instrument is guaranteed (applicable only to range-based instruments). It affects the acquisition time.
Acquisition time	It is the estimated time required depending on the instrumental settings and acquisition modes established during the campaign phase.
Processing time	It is the estimate of the time required depending on the settings selected for processing for the same hardware and software instrumentation available.
Cost	It is the total cost of acquisition and processing operations, taking into account the instrument and applications needed to process the raw data.

Fig. 4. Comparative parameters for tools (and procedures) for 3D digital surveying. Elaboration by the authors.

		range-based tools			image-based tools		
		Faro Focus S120 [TLS]	Lixel X1 [MMS]	iPad Pro with LIDAR sensor	DJI Mavic 2 Pro	3D Eye system	Ricoh Theta V
Quantitative parameters	Density	= 230.000	≈ 54.000	≈ 7.000	≈ 540.000	≈ 27.000	≈ 6.000
	Metric reliability	< 1,5 cm	< 25 cm	< 5 cm	< 3,5 cm	< 2 cm	< 100 cm
Qualitative parameters	Geometric accuracy	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●
	Visual fidelity	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●

Fig. 5. Measurement, quantitative and qualitative, of the data acquired with the different digital survey tools in the case study. Elaboration by the authors.

tained by comparing a measure obtained virtually from the cloud (e.g., in CloudCompare) with one acquired directly on the object, e.g., by means of longimetry or topography. Finally, geometric accuracy and visual fidelity can be qualitatively measured by assigning them an increasing score relative to the case study.

The 'measurement' of the parameters in the second table (fig. 4), with the exception of the acquisition radius, which is a numeric value provided by the instrument producer; can also be traced to a qualitative estimate expressed through a score from 1 to 4, to indicate increasing time and cost respectively.

Results

The illustrated evaluation tool is the main result of this study. To demonstrate its application and test its validity, the two sets of parameters were used to 'measure' the large amount of point cloud data from the case study of the historic centre of Trento, with specific reference to the acquisitions and processing conducted for Pretorio Palace (a) and d'Arognò Square (b). The third table (fig. 5) evaluates and compares the quantity (density, metric reliability) and quality (geometric accuracy, visual fidelity) of the numerical models generated with the different survey tools and related software procedures.

In the detail of each parameter: density values (i.e., number of points in a sphere of radius 0.5 metres) vary significantly (from a minimum of a few thousand up to several hundred thousand) (fig. 6), mainly in dependence on the performance of the instruments, but partly also due to the choices made on a case-by-case basis, depending on the objectives of the different survey campaigns.

To these aspects can also be traced the certain recursiveness and comparability of values between the numerical models generated with range-based and image-based instruments, respectively: terrestrial laser scanner (TLS) and drone, mobile laser scanner (MMS) and camera on telescopic rod, and tablet with lidar sensor and spherical camera.

In this case, the computation of metric reliability relied on an existing topographic survey conducted for (a). The results are in line with the literature [Herban et al. 2022; Ippolito et al. 2023]: the most 'reliable' numerical model is the one derived from TLS, followed by those

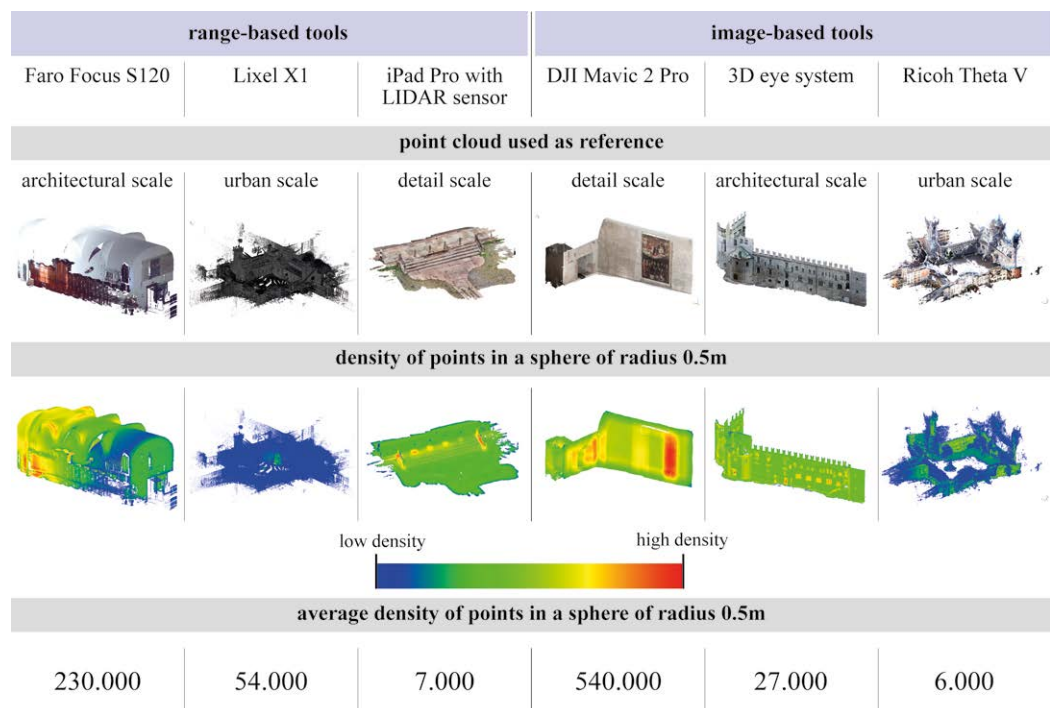


Fig. 6. Visual and numerical comparisons of the point clouds' densities from data acquired with the different 3D digital survey tools. The comparison was based on the most significant portions of the clouds for each method and scale. Elaboration by the authors.

generated by photogrammetry. The value of the model from spherical photogrammetry is affected by the cost-effectiveness of the specific panoramic camera used, as confirmed by studies with higher-performance spherical cameras [Bruno et al., 2024; Barazzetti et al., 2018]. The value for MMS is particularly critical, although motion during acquisition does not aprioristically guarantee the same accuracy as a stationary scan, in this case the parameter is negatively affected by the substantial size of the surveyed area.

Given the good quantitative results achieved by the cloud from TLS, this was used as a 'yard-stick' to compare the clouds obtained from other instruments.

The expression of a judgement on the quality of the parameters considered according to the objectives of the acquisition (i.e., good, fair, poor) makes it possible to make them comparable, since they are measured using non-homogeneous criteria (cf. fig. 3) (fig. 7). In general, the estimates of geometric accuracy and visual fidelity reflect the values measured for the first two parameters, with the exception of the numerical models from MMS and tablet, which seem to deviate. In particular, the former for geometric accuracy, assessed as high despite low metric reliability, and the latter for visual fidelity, high despite low density.

To conclude, the fourth table (fig. 8) evaluates and compares the tools and procedures that come into play in the generation of different point clouds.

Leaving aside the detailed description of acquisition radius values and cost estimates that are attributable to hardware and software specificities, some more general considerations can be made for the evaluation of acquisition and processing times, based on the specific case. In general, it seems clear that, especially for image-based methods, limited acquisition times mean long data processing, which becomes longer as the levels of density, metric fidelity and geometric precision pursued increase.

However, it is important to note that, excluding MMS and the spherical camera, acquisition times can vary considerably depending on the size of the object to be surveyed (e.g., larger environments correspond to more TLS scans or photographs to be acquired).

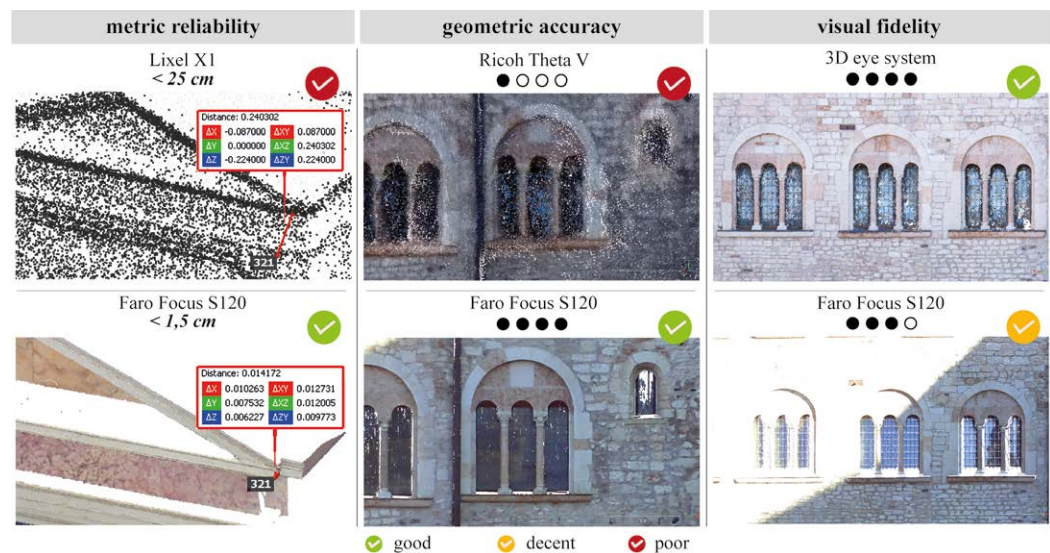


Fig. 7. Visual description of the parameters of metric reliability, geometric accuracy and visual fidelity by comparing a few examples. Elaboration by the authors.

Discussion and outlook

Faced with the 'excess' of data that can be obtained through 3D digital survey instruments, the contribution implements an experimental evaluation tool based on two distinct but related sets of parameters: one aimed at measuring, both quantitatively and qualitatively, the data acquired with different instruments; the other, to compare the main characteristics of the instruments and procedures in the different phases. The purpose is, on the one hand, to analyse the collected data a posteriori in order to use them in the most appropriate

Fig. 8. Comparison of software tools and procedures used in the case study. Elaboration by the authors.

	range-based tools			image-based tools		
	Faro Focus S120 [TLS]	Lixel X1 [MMS]	iPad Pro with LIDAR sensor	DJI Mavic 2 Pro	3D Eye system	Ricoh Theta V
Acquisition radius (m)	120	120	5	-	-	-
Acquisition time	⌚	⌚	⌚⌚⌚	⌚⌚	⌚⌚	⌚
Processing time	⌚⌚⌚	⌚⌚	⌚	⌚⌚⌚⌚	⌚⌚⌚⌚	⌚⌚⌚
Cost	€€€€*	€€€€*	€	€€	€€	€
* In addition to the cost of the instrument, here it is also considered the cost of the proprietary software licence required to process the acquired data.						

way. On the other hand, to provide support preliminary to the acquisition phase, aimed at optimising the amount of data collected in relation to the objectives of the survey. In addition to creating a redundancy of information that can be difficult to understand, an unlimited data acquisition, may also give rise to problems in the management (e.g., selection, processing, storage, use, and, paradoxically, elimination) of such data. The spread of point cloud models that can be experienced in virtual and/or augmented environments, even online, are a clear example of these issues: size limits for sharing on the web impose drastic reductions in model density, often compromising their geometric accuracy and visual fidelity. However, in other cases the integration of multiple tools and the richness of data are essential to obtain numerical models that meet the required standards of completeness, detail and metric reliability, e.g., for the representation of architecture for historical or conservative purposes. In their 'disproportionality', discarded data represent interesting opportunities for reuse, e.g., for educational purposes and further research or for experimenting with Artificial Intelligence algorithms for 3D reconstruction from images.

Notes

[1] "Stone pavements. History, conservation, valorisation and design" (2019-23) was a national research project (PRIN 2017) financed by MIUR (Ministry of Education, Universities and Research). The project involved the analysis of Roman infrastructural artefacts, and in general the roads of significant cultural and aesthetic value that shaped the communication routes of Europe, using contemporary tools designed for modern infrastructure networks.

[2] The research on Pretorio Palace started in 2021 by the Museo Diocesano Tridentino in collaboration with the Department of Literature and Philosophy and the Departments of Civil, Environmental and Mechanical Engineering (DICAM) of the University of Trento, the Municipal Library, the Archivio Storico del Comune di Trento, and the Superintendency of Cultural Heritage. The investigation aims at reconstructing and interpreting the various transformations of the building over time by means of an accurate digital survey, the study of construction stratifications, and the analysis of archival sources.

[3] <<https://cloudcompare.org/>>

Acknowledgements and credits

Conceptualization and methodology: A.M., A.B., E.B. and C.C.; data acquisition and curation: A.M., A.B. and C.C.; writing: Introduction, A.M., E.B.; The case study and materials, E.B.; Method, A.B.; Results, C.C.; Discussion and outlook, A.M.; scientific supervision and coordination: G.A.M. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

The authors acknowledge the Laboratory of Architectural Modelling and Analysis Representation and Communication (LAMARC) from the University of Trento-DICAM for technical and instrumental support at all stages of this research, as well as the entire technical team that collaborated in the survey campaigns, processing and data restitution during the research on Pretorio Palace.

In particular, heartfelt thanks go to Francesco Giampiccolo for his fundamental operational and instrumental support during the survey campaigns and the processing of photogrammetric data. Raffaele Mauro and Cristiana Volpi from the University of Trento-DICAM for coordination and scientific support as part of the project "Stone pavements. History, conservation, valorisation, and design" (PRIN 2017).

References

<<https://cloudcompare.org/>> (accessed 16 February 2024).

Abergel V., Jacquot K., De Luca L., Veron P. (2021). Combining on-site and off-site analysis: towards a new paradigm for cultural heritage surveys. In *Disegnarecon*, 14, n. 26. <<https://doi.org/10.20365/disegnarecon.26.2021.13>> (accessed 23 July 2024).

Balsa-Barreiro J., Fritsch D. (2018). Generation of visually aesthetic and detailed 3D models of historical cities by using laser scanning and digital photogrammetry. In *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, v. 8, pp. 57-64. <<https://doi.org/10.1016/j.daach.2017.12.001>> (accessed 23 July 2024).

Barazzetti L., Previtali M., Roncoroni F. (2018). Can we use low-cost 360 degree cameras to create accurate 3d models?. In *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII, 2, pp. 69-75. <<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-69-2018>> (accessed 23 July 2024).

Bruno N., Perfetti L., Fassi F., Roncella R. (2024). Photogrammetric survey of narrow spaces in cultural heritage: comparison of two multi-camera approaches. In *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVIII, 2, pp. 87-94. <<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W4-2024-87-2024>> (accessed 23 July 2024).

Cannarozzo M. L., Salerno R. (1991). *Fotografie e misura*. Milano: Cluva, CittàStudi.

Chioni C., Maragno A., Pianegonda A., Ciolli M., Favargiotti S., Massari G. A. (2023). Low-Cost 3D Virtual and Dynamic Reconstruction Approach for Urban Forests: The Mesiano University Park. In *Sustainability*, 15, n. 19, 14072. <<https://doi.org/10.3390/su151914072>> (accessed 23 July 2024).

De Rubertis R. (1998). Editoriale. In *XY. Dimensioni del Disegno. Rappresentazione e verità*, vol. 32-33, p. 3. Officina.

Docci M., Bianchini C. (2016). Editoriale. Il ruolo dei modelli virtuali 3D nella conservazione del patrimonio architettonico e archeologico. In *disegnare idee immagini*, XXVII, 53, pp. 3-6. Gangemi.

Janiszewski M., Torkan M., Uotinen L., Rinne M. (2022). Rapid Photogrammetry with a 360-Degree Camera for Tunnel Mapping. In *Remote Sensing* 2022, 14, n. 21. <<https://doi.org/10.3390/rs14215494>> (accessed 23 July 2024).

Guercio M. (2013). *Conservare il digitale. Principi, metodi e procedure per la conservazione a lungo termine di documenti digitali*. Roma-Bari: Laterza.

Herban S., Costantino D., Alfio V. S., Pepe M. (2022). Use of Low-Cost Spherical Cameras for the Digitisation of Cultural Heritage Structures into 3D Point Clouds. In *Imaging*, 8, n. 13. <<https://doi.org/10.3390/imaging8010013>> (accessed 23 July 2024).

Ippolito A., Palmadessa C., Noursati Kordkandi M., Arias Tapiero J. C. (2023). The Domus of the Calendar: a qualitative comparison analysis of digital data obtained from 3D laser scanners, SfM methodologies and portable devices. In *Archeologia e Calcolatori*, 34.2, p. 247-262. <<https://doi.org/10.19282/ac.34.2.2023.13>> (accessed 23 July 2024).

Maragno A., Volpi C. (2021). Dove Trento cammina. Nascita e sviluppo delle pavimentazioni stradali in porfido a Trento nella prima metà del Novecento. Roma: Edizioni Efesto.

Maragno A., Volpi C. (2022). Il ruolo degli Ingegneri Circolari e degli Ingegneri Civici a Trento nella prima metà dell'Ottocento. In S. D'Agostino, F. Romana d'Ambrosio Alfano, E. Manzo (Eds.), *History of Engineering/Storia dell'Ingegneria. Proceedings of the 5th International Conference/Atti del 9° Convegno Nazionale*. Napoli, 16-17 maggio 2022, vol. 2, pp. 613-626. Napoli: Cuzzolin.

Maragno A., Volpi C. (2023). *Dove Trento s'ingegna. Il ruolo degli ingegneri nello sviluppo della città di Trento nel corso del XIX secolo*. Roma: Efesto.

Massari G. A. (1998). Misurare Interpretare Conoscere. In *XY Dimensioni del Disegno. Rappresentazione e verità*, vol. 32-33, pp. 5-18. Officina.

Massari G. A. (2005). Del rigore della misura. In *XY Dimensioni del disegno. Rappresentazione e verità*, 9, 47, pp. 105-116. Officina.

Migliari R. (2003). *Geometria dei modelli: rappresentazione grafica e informatica per l'architettura e per il design*. Roma: Kappa.

Pepe M., Alfio V. S., Costantino D., Herban S. (2022). Rapid and Accurate Production of 3D Point Cloud via Latest-Generation Sensors in the Field of Cultural Heritage: A Comparison between SLAM and Spherical Videogrammetry. In *Heritage*, 5, pp. 1910-1928. <<https://doi.org/10.3390/heritage5030099>> (accessed 23 July 2024).

Radanovic M., Khoshelham K., Fraser C. (2020). Geometric Accuracy and Semantic Richness in Heritage BIM: A Review. In *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 19. <<https://doi.org/10.1016/j.daach.2020.e00166>> (accessed 23 July 2024).

Ugo V. (1998). Misura-interpretazione-conoscenza-interpretazione-misura: circolo vizioso, o virtuoso?. In *XY Dimensioni del Disegno. Rappresentazione e verità*, 32-33, pp. 19-24. Officina.

Vacca G. (2023). 3D Survey with Apple LiDAR Sensor - Test and Assessment for Architectural and Cultural Heritage. In *Heritage*, 6, pp. 1476-1501. <<https://doi.org/10.3390/heritage6020080>> (accessed 23 July 2024).

Valacchi F. (2023). *La verità di carta. A cosa servono gli archivi?*. Perugia: Graphe.it.

Valacchi F. (2006). *La memoria integrata nell'era digitale. Continuità archivistica e innovazione tecnologica*. San Miniato: Archilab.

Weston P. G. (2013). Digital curation. Nuove opportunità per bibliotecari e archivisti. In P. G. Weston (Ed.), *Il libro, gli archivi e la memoria digitale*. Milano: Unicopli.

Authors

Anna Maragno, Università di Trento, anna.maragno@unitn.it

Ambra Barbini, Università di Trento, ambra.barbini@unitn.it

Elena Bernardini, Università di Trento, elena.bernardini@unitn.it

Chiara Chioni, Università di Trento, chiara.chioni@unitn.it

Giovanna A. Massari, Università di Trento, giovanna.massari@unitn.it

To cite this chapter: Anna Maragno, Ambra Barbini, Elena Bernardini, Chiara Chioni, Giovanna A. Massari (2024). La misura per la dismisura dei dati da rilievo digitale 3D. Il caso del centro storico di Trento/The measure for uncountable data from 3D digital survey.The case of the historical centre of Trento. In Bergamo F., Calandriello A., Ciamaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (Eds.). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 1679-1698.