

Confronto tra tecnologie TLS e SLAM per la documentazione patrimonio archeologico 3D

Francesco Toffaletti ¹, Matteo Massolini ¹, Tobia Furlan ¹

¹ Università Iuav di Venezia, Santa Croce 191, Venezia – (f.toffaletti, m.massolini, t.furlan)@stud.iuav.it

Keywords: Terrestrial Laser Scanning, 3D Mapping, Simultaneous Localization and Mapping, Mobile Scanning, Geospatial Analysis

Introduzione

La crescente domanda di tecnologie avanzate per la conoscenza e documentazione 3D di ambienti complessi, quali possono essere anche i siti archeologici, ha portato all'emergere e alla diffusione di strumenti basati su tecnologie SLAM.

Questo studio si propone di effettuare una comparazione critica tra i dati ottenuti da un rilievo laser scanning e quelli acquisiti da diversi strumenti SLAM, esaminando la qualità e la risoluzione delle nuvole di punti di ciascuno strumento.

Il caso di studio si è concentrato sull'Area Marina Protetta di Porto Cesareo, con particolare riferimento a Torre Chianca, in occasione della scuola estiva SUNRISE Summer School, organizzata da SIFET con il supporto di ISPRES, a cui gli autori hanno partecipato. L'obiettivo dell'esperienza era utilizzare diversi strumenti di rilievo per documentare il patrimonio costiero, impiegando i dati raccolti per lo studio, la gestione, la protezione e la divulgazione del sito. La storia di Torre Chianca risale al XVI secolo, quando fu costruita per ordine di Carlo V come difesa contro le incursioni turche e saracene. La torre, alta 18 metri con una base quadrata di 15,60 metri per lato, è tra le più grandi della zona. Costituiva un punto strategico di avvistamento, collegandosi a sud con Torre Cesarea e a nord con Torre Lapillo, ed era parte di un sistema di sette torri per la protezione del territorio costiero.

Durante la scuola estiva, grazie al supporto delle ditte del settore, sono stati utilizzati strumenti e tecnologie diverse per l'acquisizione di dati georeferenziati, ottenendo nuvole di punti dense e comparabili tra loro. Questi dati, oltre a rappresentare un'accurata documentazione digitale, contribuiscono alla salvaguardia e valorizzazione del patrimonio culturale di Torre Chianca, rendendo possibile un'analisi approfondita per la sua conservazione e promozione.

Metodi e strumenti

I dati del TLS sono stati acquisiti utilizzando il laser scanner ad alta risoluzione LEICA RTC360, impiegato come dataset di riferimento per valutare le prestazioni degli strumenti SLAM in termini di fedeltà delle mappature ottenute.

Strumentazione TLS di riferimento è il LEICA RTC360, uno scanner laser 3D ad alta velocità che permette di effettuare scansioni dettagliate e registrazioni automatiche in tempo reale, acquisendo e registrando dati tridimensionali in modo rapido e preciso. L'accuratezza relativa, dichiarata dalla casa produttrice, è di 1,9mm a 10m dall'oggetto di rilievo.

La tecnologia SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), utilizzata con sistemi di acquisizione mobile detti MMS (Mobile Mapping System), consente di rilevare ambienti 3D e contemporaneamente determinarne la posizione nello spazio. Funzionano attraverso l'elaborazione di dati in tempo reale combinando sensori come LiDAR, fotocamere, IMU e GNSS.

Strumentazione SLAM utilizzata è:

- STONEX X70GO:
Strumento di ricostruzione di modelli 3D in tempo reale che integra un modulo di navigazione inerziale, un sistema di archiviazione e di calcolo.
Accuratezza relativa: 6mm
- CHCNAV RS10:
Strumento avanzato per mappature in tempo reale, dotato di tecnologia GNSS RTK, laser scanner e SLAM integrati. Lo strumento è in grado di catturare dettagli tridimensionali con elevata densità.
Accuratezza relativa: <1cm
- NavVis VLX3:
LiDAR scanner indossabile avanzato, dotato di doppio sensore LiDAR a 360° e tecnologia SLAM che permette di acquisire nuvole di punti ad alta densità con una precisione millimetrica.
Accuratezza relativa: 5mm

Analisi dataset

I diversi dataset sono stati importati in Cloud Compare per estrarre, da ciascuna nuvola di punti, un'area di 1 m² (Figura 1). La densità è stata calcolata per ogni nuvola di punti generata dai diversi strumenti SLAM rivelando variazioni significative nei risultati ottenuti. Questa analisi ha permesso di valutare la capacità di ciascuno strumento di registrare dettagli nello spazio rilevato, fornendo una misura della qualità della scansione e dell'adeguatezza di ciascuna strumentazione SLAM per applicazioni che richiedono livelli diversi di risoluzione e dettaglio.



Figura 1. 1x1m di riferimento



Figura 2. LEICA RTC360 1x1m 350,325 Points/m²



Figura 3. STONEX X70GO 1x1m 11,211 Points/m²



Figura 4. NavNis VLX3 1x1m 34,797 Points/m²

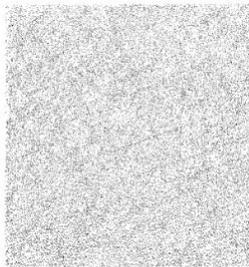


Figura 5. CHCNAV RS10 1x1m 46,915 Points/m²

Successivamente, le nuvole di punti ottenute tramite tecnologia SLAM sono state orientate rispetto alla nuvola di riferimento acquisita con TLS. Quest'operazione è stata eseguita nel software Cloud Compare, utilizzando come base i GCP (Ground Control Points) misurati con precisione tramite stazione totale.

Per l'analisi comparativa, è stata creata una sezione verticale, su cui è stata eseguita una misurazione dettagliata della discrepanza tra ciascuna nuvola di punti SLAM e la nuvola TLS di riferimento (Figura 6). Questo confronto ha permesso di quantificare le differenze di accuratezza e precisione tra le tecnologie, evidenziando eventuali deviazioni o errori nei rilievi SLAM rispetto allo standard fornito dal TLS. Tali misurazioni risultano fondamentali per valutare l'affidabilità dei diversi strumenti SLAM nelle applicazioni pratiche, soprattutto in contesti in cui la precisione del rilievo è un fattore fondamentale.

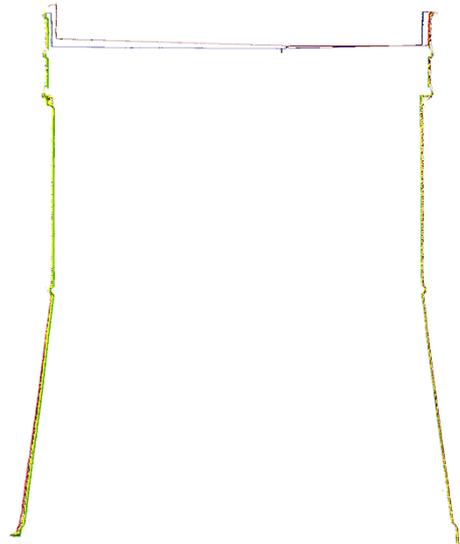


Figura 6. Sezione verticale di riferimento



Figura 7. Ingrandimento nuvole Cloud Compare. Colore verde: LEICA RTC360. Colore rosso: STONEX X70GO. Colore blu: NavVis VLX3. Colore giallo: CHCNAV RS10.

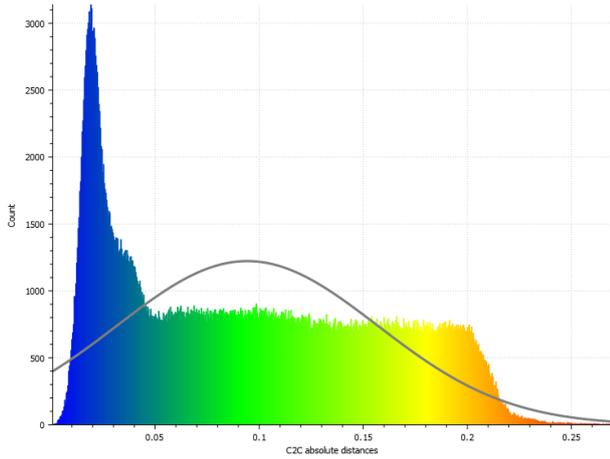


Figura 8. Comparazione TLS – STONEX X70GO.
 Mean = 0.094329 / std. Dev. = 0.062425

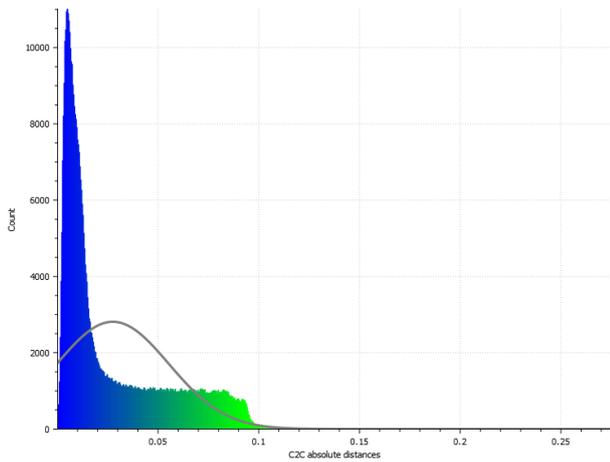


Figura 9. Comparazione TLS – NavVis VLX3
 Mean = 0.027687 / std. Dev. = 0.027802

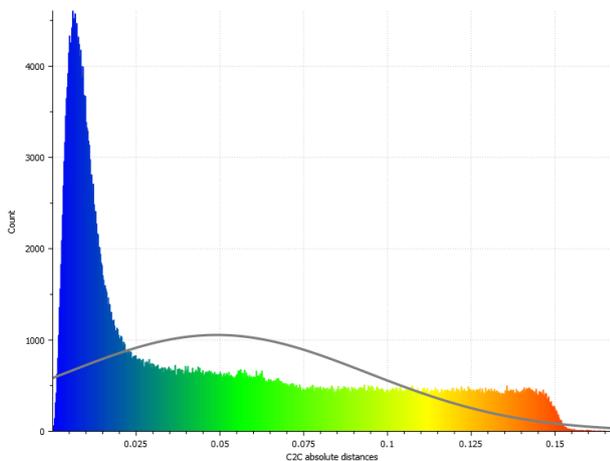


Figura 10. Comparazione TLS- CHCNAV RS10
 Mean = 0.049098 / std. Dev. = 0.044936

Conclusioni

I risultati del confronto indicano che i dati TLS si confermano superiori in termini di risoluzione e accuratezza, offrendo una precisione tale da permettere una restituzione in scala 1:20 – 1:50, adatta a rilievi di architettura e dei monumenti archeologici. Questa accuratezza elevata è dovuta anche alla natura statica della scansione TLS, che minimizza le possibili fonti di errore e assicura un posizionamento altamente accurato. Tuttavia, gli strumenti basati su SLAM (Figura 8-10), pur mostrando un grado di errore generalmente superiore rispetto al TLS, si sono dimostrati in grado di fornire dati accurati che consentono una restituzione in scala 1:100 – 1:200, quindi idonei per contesti urbani e per la restituzione di cartografia a grande scala (carte archeologiche).

La strumentazione SLAM risulta quindi essere una scelta adatta, sia per la rapidità che l'adattabilità rispetto ad ambienti che potrebbero essere complessi per un rilievo di tipo statico, nel caso in cui l'errore della scala nominale necessaria rientri nei parametri indicati.