

NUVOLE DI PUNTI CON IPHONE

FOTOGRAMMETRIA vs LIDAR

ottobre 2024

MB

AA

White Paper OoB

I **White Paper** di OutofBIM sono documenti tecnici che offrono spunti e riflessioni pratiche sui flussi di lavoro adottati da MBAA e sulle sfide legate alla gestione digitale dei progetti di restauro.

Questo documento fornisce una panoramica sui diversi flussi di lavoro utilizzati per l'acquisizione di dati metrici e geometrici, utilizzando lo smartphone iPhone 12 Pro.

L'obiettivo è promuovere un approccio efficiente e consapevole al rilievo Lo-Fi.

Se desideri condividere commenti o suggerimenti, puoi inviarli all'indirizzo mba@mbaa.it

Per ulteriori informazioni e risorse, visita il sito di MBAA all'indirizzo www.mbaa.it.

Creative commons licens

Questa opera è concessa in licenza CC BY 4.0. Per visualizzare una copia di questa licenza, visita <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> © 2 da arch. Michele Bondanelli

Autore

Arch. Michele Bondanelli – Studio MBAA

Sommario

Introduzione.....	4
Qualcosa sull'hardware e sul software.....	5
Acquisizione dei dati: tecniche, flussi e strategie	7
Tecniche base dell'acquisizione LiDAR	7
Tecniche base dell'acquisizione Fotogrammetrica	8
Analisi dei processi.....	11
Analisi del dato LiDAR	11
Analisi del dato fotogrammetrico.....	13
Confronto tra le nuvole di punti.....	16
Note finali	22

Introduzione

Negli ultimi anni, gli smartphone dotati di tecnologia LiDAR¹ hanno attirato crescente attenzione come soluzione semplice per generare nuvole di punti 3D. Le app mobili hanno poi fatto un ulteriore passo avanti, integrando il LiDAR con la fotogrammetria.

La capacità di combinare contemporaneamente immagini e dati LiDAR consente di ottenere risultati che riproducono con sufficiente precisione superfici lisce o prive di texture, incluse pareti bianche.

Ma prima di affidarsi completamente a questa tecnica **Lo-Fi** è opportuno conoscere cosa si nasconde dietro le quinte.

Lo scopo di questo documento è quello di evidenziare gli effetti della scansione tramite LiDAR rispetto a quella con fotogrammetria.

Ho quindi eseguito **due processi separati**: uno utilizzando esclusivamente la fotogrammetria e l'altro solo il LiDAR.

I risultati delle nuvole di punti sono stati elaborati separatamente in CloudCompare per sottolineare le differenze che ciascuna metodologia apporta all'output finale.

¹ Al momento, la tecnologia LiDAR è un'esclusiva dei dispositivi Apple Pro.

Qualcosa sull'hardware e sul software

Il mio strumento principe è l'iPhone 12 ProMax.

Ad oggi forse superato dalla tecnologia del nuovo modello nella sua versione 16 ma ancora un ottimo strumento.

Nei due processi di acquisizione è stato usato un gorillapod e asta bullet time da 1,5 metri con testa Joby specifica per iPhone.

In campo ho utilizzato per l'acquisizione LiDAR l'app 3DScanner app build 2.1.3 (1).

Range 5 metri, risoluzione 30 mm e geotag attivato.

Il processing è realizzato all'interno dell'app con parametri HD Texturing+Detail mentre l'esportazione dalla nuvola è avvenuta in High Density, Z axis up nel formato file .las.

Per la sessione di fotogrammetria è stata utilizzata l'app Fotocamera.

Sono state acquisite 78 immagini statiche con i seguenti parametri: F variabile da 1.6 a 2.4, ISO variabile da 25 a 32 e distanza focale variabile da 5mm a 2mm.

Le immagini sono state registrate nel formato .jpg con dimensioni 4032x3024 pixel.

L'elaborazione Structure for Motion è stata eseguita con il software Reality Capture v.1.4.1 .

La nuvola di punti è stata esportata nel formato .las e le analisi e i confronti con l'acquisizione LiDAR sono stati realizzati con il software CloudCompare v.2.

I dati metrici sono stati ricavati dal GNSS interno di iPhone e dall'elaborazione LiDAR.

Ho usato questi strumenti perché sono quelli che ho a disposizione, non perché siano i migliori tra i loro simili.



16:36 📶 🔋 73

[Scans](#) / **Untitled Scan** [Close](#)

354k vertices 696k faces

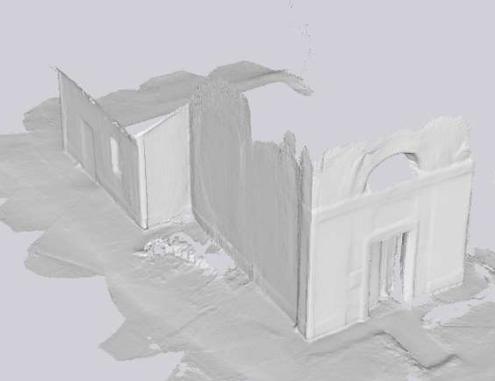
[AR](#)

[🚶](#)

[📄](#)

[📐](#)

[?](#)



Process Scan [Add Texture + Detail](#)

HD [Fast](#) [Custom](#)

Estimated time: **52 seconds**

Simplifies, HD Texturing

[Close](#) [Start](#)

16:37 📶 🔋 70

[Scans](#) / **Untitled Scan** [Close](#)

321k vertices 592k faces

[AR](#)

[🚶](#)

[📄](#)

[📐](#)

[?](#)



Untitled Scan

L: 9.03 m W: 14.11 m H: 6.52 m V: 830.93 m3

[More](#) [Process](#) [Measure](#) [Share](#)

16:40 📶 🔋 70

[Show Route](#) [Scan Map](#) [X](#)

GPS Accuracy: < 5 meters



Via Tre Pertiche

[mapbox](#) [i](#)

Acquisizione dei dati: tecniche, flussi e strategie

Tecniche base dell'acquisizione LiDAR

Per ottenere una scansione LiDAR di qualità utilizzando un iPhone 12 Pro Max (o successivi), si devono seguire alcune tecniche e accorgimenti che ottimizzeranno i risultati. Ecco in sintesi i passaggi chiave:

- 1- **Condizioni di Illuminazione.** Sebbene il LiDAR funzioni bene anche in condizioni di scarsa illuminazione, una luce ambientale uniforme aiuta a ottenere una migliore risoluzione e dettagli. Evita riflessi diretti o zone troppo scure/buie.
- 2- **Stabilità del dispositivo.** Mantieni l'iPhone stabile e muoviti lentamente durante la scansione per evitare che il software generi errori di mappatura o crei distorsioni. Se possibile, utilizza un gimbal per minimizzare i movimenti indesiderati.
- 3- **Movimenti Lenti e Costanti.** Muovi l'iPhone lentamente attorno all'oggetto o all'ambiente che vuoi scansionare. Assicuratevi di coprire tutte le angolazioni, mantenendo una distanza costante ed evitando movimenti bruschi o a scatto.
- 4- **Distanza dall'Oggetto.** Il sensore LiDAR dell'iPhone ha una portata (o Fov) massima limitata di circa 5 metri. Assicuratevi di essere a una distanza compresa tra 0.5 e 5 metri per ottenere risultati ottimali, ma soprattutto quando esegui una sessione cerca di mantenere sempre costante la tua distanza dall'oggetto. Ricorda che tutte le app ti danno la possibilità di settare il range massimo di acquisizione.
- 5- **Ambienti Complessi.** Quando scansioni ambienti con molte superfici riflettenti, trasparenti o estremamente sottili (come finestre, specchi o superfici d'acqua), il sensore LiDAR può avere difficoltà a registrare correttamente. In questi casi, prova a cambiare l'angolo di scansione o copri temporaneamente le superfici problematiche ma soprattutto ricorda che puoi effettuare più sessioni di scansione.
- 6- **Risoluzione e Dettagli.** Nelle impostazioni dell'app di scansione puoi impostare la risoluzione di campionamento. Scegliere sempre la risoluzione massima potrebbe richiedere più tempo e spazio di archiviazione, senza garantire risultati più precisi. Imposta la risoluzione in base all'estensione dell'oggetto da rilevare e al **livello di fabbisogno informativo** che devi raggiungere.

Ti ricordo che il LiDAR degli smartphone ha una densità inferiore rispetto agli scanner TLS o SLAM, quindi la nuvola di punti tende a essere meno densa.

Se densificare la nuvola di un oggetto mediante sovrapposizione di più sessioni di scansione ti sembra una soluzione ovvia sappi che non sempre, quasi mai, è così e comunque si devono adottare precauzioni che non sono oggetto del presente documento.

Tecniche base dell'acquisizione Fotogrammetrica

La creazione di modelli 3D tramite acquisizione fotogrammetrica consiste sostanzialmente nell'utilizzo in appositi software Structure For Motion di immagini fotografiche sovrapposte e sovrapponibili tra loro.

Di seguito, i passaggi e i principi base per realizzare un dataset con smartphone:

- 1- **Pianificazione della Scansione.** Definisci un **obiettivo**. Determina chiaramente l'oggetto o l'area da documentare e il livello di dettaglio che devi raggiungere. Esegui un sopralluogo per definire il **percorso della fotocamera**: Definisci il percorso di acquisizione per assicurarti di coprire tutte le angolazioni necessarie con una buona sovrapposizione tra le immagini.
- 2- **Sovrapposizione orizzontale e verticale delle immagini:** Una sovrapposizione del **60-80%** tra le immagini è necessaria per consentire al software di fotogrammetria di identificare correttamente i punti in comune tra le foto. Attiva la griglia di suddivisione in terzi dello schermo, questo ti aiuterà molto a mantenere una sovrapposizione costante.
- 3- **Acquisizione da più angolazioni:** Scatta foto da diverse angolazioni per catturare il maggior numero possibile di dettagli dell'oggetto o dell'ambiente.
- 4- **Controllo delle Condizioni di Illuminazione.** Evita, se possibile, ombre forti o luce diretta. La luce uniforme e diffusa (come nelle giornate nuvolose o con illuminazione artificiale diffusa) aiuta a evitare errori nella ricostruzione del modello.
- 5- **Luce naturale vs artificiale:** Se possibile, utilizza luce naturale indiretta o una configurazione di illuminazione artificiale che riduca le ombre. Il nirvana sarebbe la cross-polarization che tuttavia risulterebbe molto complessa e costosa per l'ambito architettonico.
- 6- **Qualità delle Immagini. Risoluzione:** Usa la fotocamera dell'iPhone che garantisce lo sfruttamento massimo del sensore e quindi della sua risoluzione massima. Solitamente l'1x. La risoluzione delle immagini è fondamentale per catturare dettagli ma soprattutto la qualità del sensore garantisce una riduzione di artefatti causati da difetti del pixel.

- 7- **Messa a fuoco:** Assicurati che ogni immagine sia nitida e ben a fuoco. Immagini sfocate riducono la qualità della ricostruzione 3D, scartale.
- 8- **Movimento e Stabilità.** Evita movimenti bruschi o scatti mentre acquisisci immagini. Utilizza un treppiede o un gimbal per mantenere la fotocamera stabile e migliorare la coerenza tra le immagini. Anche se è possibile scattare foto in movimento (o video), è preferibile fermarsi.

Vi sono poi alcuni accorgimenti che è opportuno tenere in considerazione.

a- **Impostazioni della Fotocamera.** Spesso si utilizza l'app fotocamera affidando alla sua "intelligenza" il controllo di tutti i parametri dello scatto fotografico, il rapporto qualità/rapidità e spesso più che buono ma se vuoi aumentare il livello dell'output è necessario poter controllare tramite una app, come può essere reflex camera, manualmente i seguenti parametri:

a.1- **ISO basso:** Mantieni l'ISO basso per evitare rumore nelle immagini, soprattutto in condizioni di scarsa illuminazione.

a.2- **Diaframma e profondità di campo:** Usa un'apertura piccola (f-stop elevato) per mantenere tutti i dettagli a fuoco, soprattutto per grandi oggetti o scene.

a.3- **Bilanciamento del bianco:** Imposta manualmente il bilanciamento del bianco per evitare che le differenze cromatiche tra le immagini creino problemi durante il processo di ricostruzione.

b- **Utilizza punti di Riferimento (Targeting).** Quando acquisisci grandi aree o oggetti, puoi usare marker di riferimento visibili nel modello 3D per migliorare la precisione (punti di controllo noti). In assenza di marker fisici, i dettagli presenti sulla superficie (pietre, alberi, dettagli architettonici) possono essere utilizzati come punti di riferimento.

Un consiglio extra: Se stai acquisendo oggetti con superfici riflettenti (ad es. vetro o metallo lucido), potresti dover applicare un rivestimento temporaneo per evitare errori di acquisizione.

La fotogrammetria prevede anche l'acquisizione di dati metrici.

Con iPhone possiamo acquisire misure di distanza banalmente con l'app Metro o con l'app LiDAR Pointer oppure alla vecchia maniera con un doppio metro o una bindella.

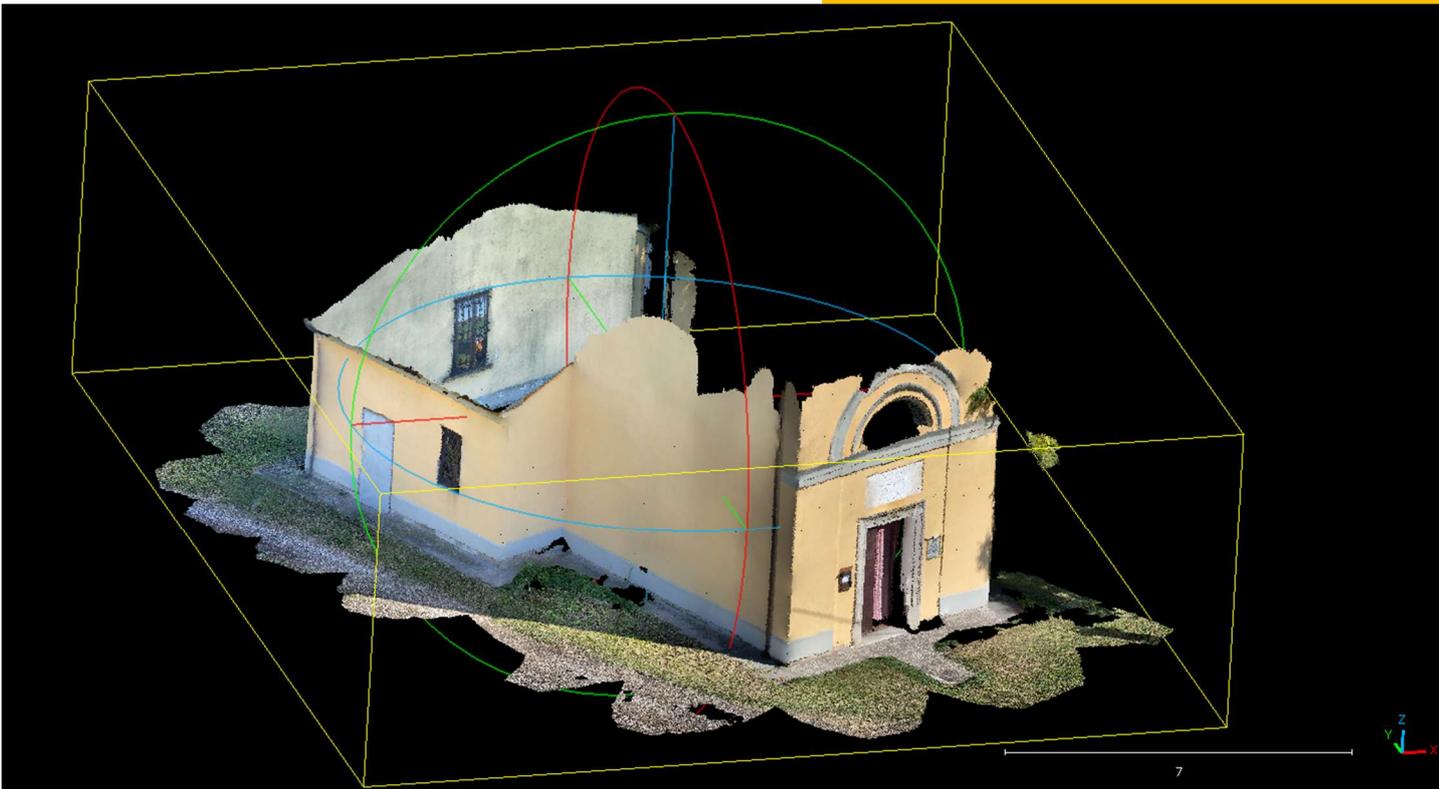
Grazie al sensore GNSS integrato nel telefono possiamo anche utilizzare le coordinate GPS del geotag delle immagini consapevoli che l'accuratezza assoluta si aggira tra i 35 e 100 cm.

Per migliorare la precisione assoluta e rientrare nell'intervallo di pochi centimetri possiamo utilizzare dei punti di controllo a terra (GCP) e dispositivi esterni RTK come Emlid Reach RX.

Analisi dei processi

Analisi del dato LiDAR

Il file sorgente ha dimensioni pari a 89 Mb mentre in output esportato in .las ha dimensioni su disco di 85 MB (89 015 724 byte).



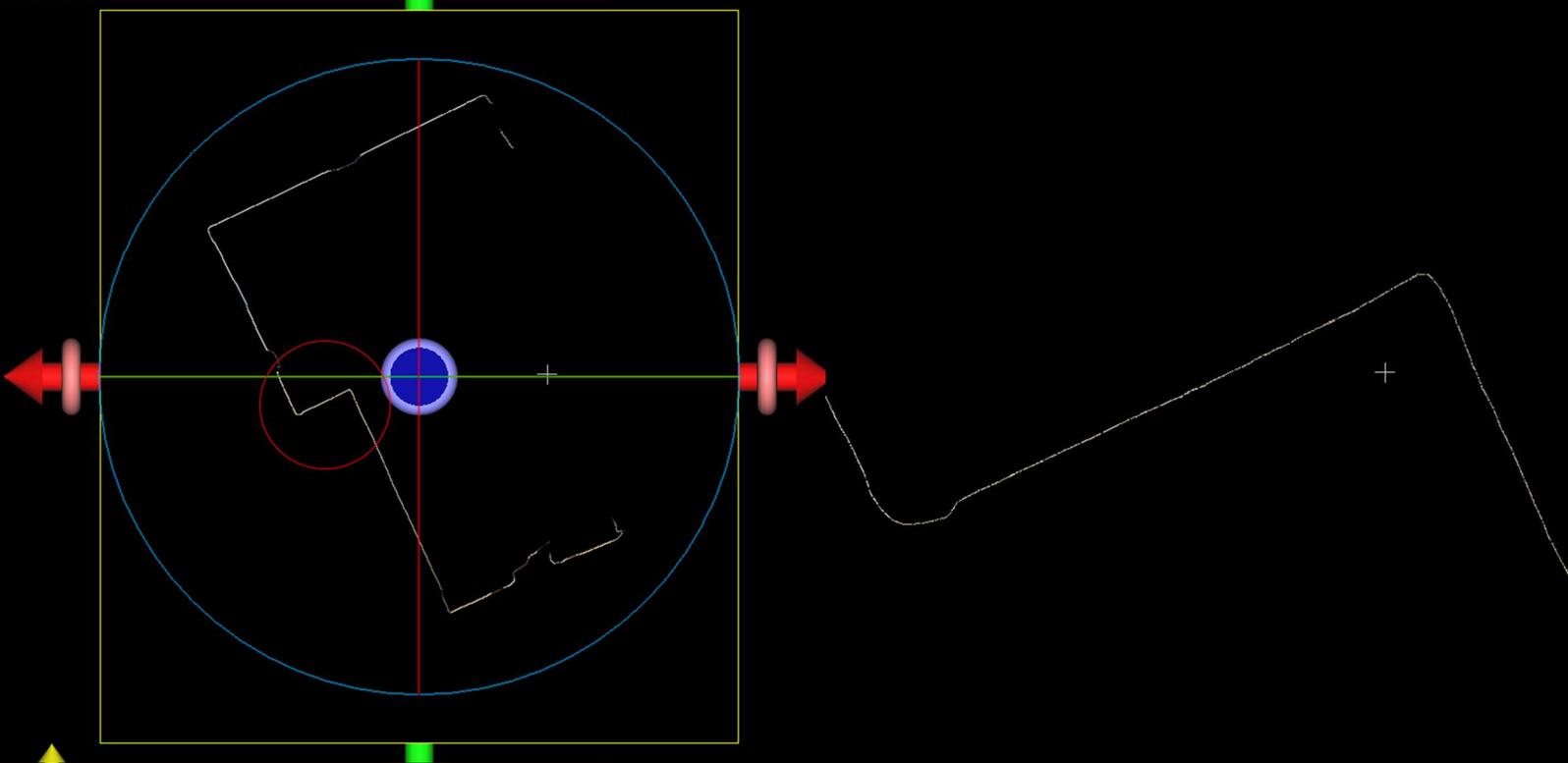
La nuvola è composta da 2.618.085 punti ed è correttamente orientata rispetto agli assi cartesiani x-y-z.

Il rumore è pressoché nullo e se si eseguono delle *cross section* il perimetro di taglio restituisce una nuvola compatta e di ottima qualità.

Uno dei limiti dell'acquisizione LiDAR con smartphone è la scarsa capacità di descrivere gli spigoli e le variazioni geometriche incava e concava.

La nuvola infatti presenta spigoli molto arrotondati.

Aumentare la risoluzione potrebbe migliorare l'acquisizione ma comporterebbe l'aumento di

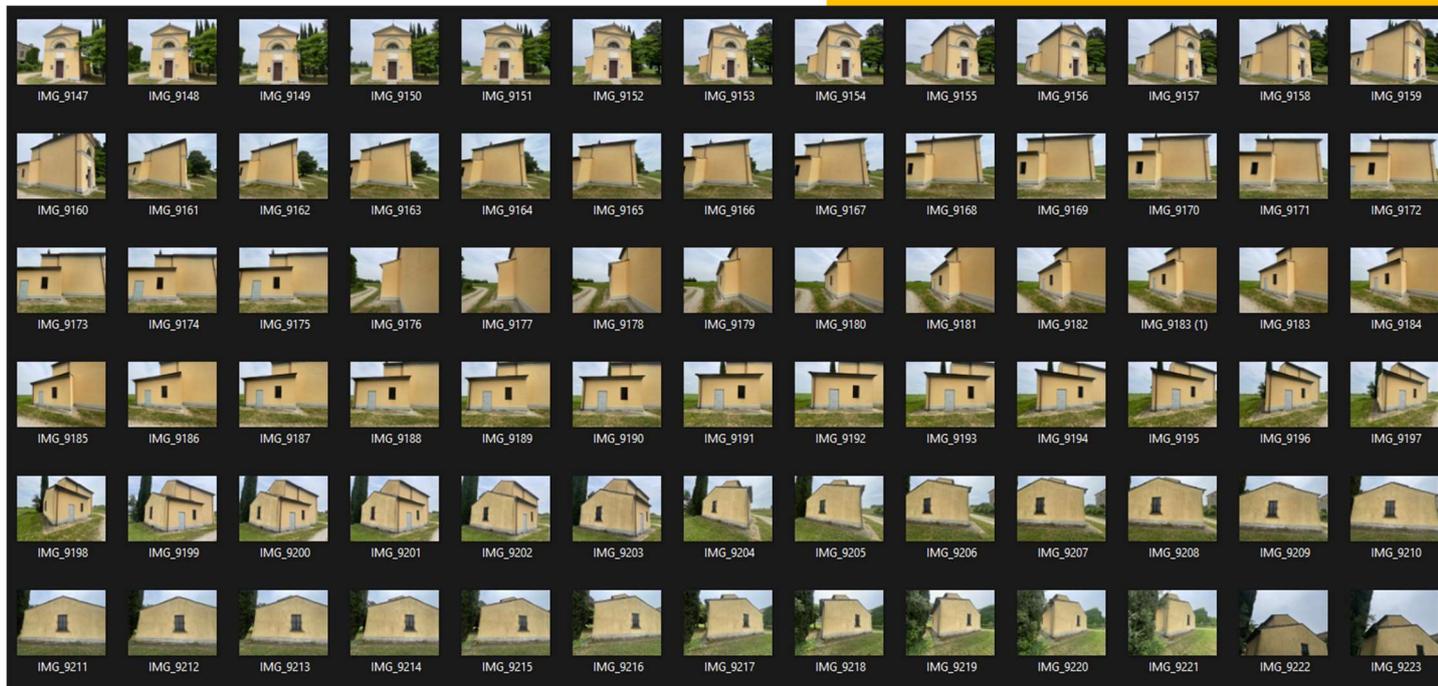


problematiche legate agli oggetti di grandi dimensioni quali: aumento degli effetti di deriva, maggiore tempo di acquisizione, maggiori difetti di coerenza, aumento dell'impegno del processore e relativo aumento delle temperature di esercizio dello smartphone.

Un altro limite è dato dal Range massimo limitato a 5 metri che non ha permesso di coprire tutte le parti alte del fabbricato.

Analisi del dato fotogrammetrico

Il dataset di immagini è composto da 78 fotogrammi.



Le prese fotografiche sono state realizzate con sovrapposizione pari o superiore al 66% nella sola direzione orizzontale (lateral overlap).



Per questo motivo e non potendo mantenere costante il fattore di GSD (Ground Sampling Distance) per l'aula principale è stata usata la focale da 5mm (1x) mentre per la sacrestia dove lo spazio circostante risultava di minor entità è stato usata la focale da 2mm (0,5x).

L'allineamento è stato realizzato in Reality Capture sfruttando il dato di geotag interno all'immagine. Le posizioni GPS delle immagini sono state utilizzate nel processo di allineamento e per la georeferenziazione della scena.

Per migliorare la ricostruzione della scena i parametri di precisione dell'imbardata sono stati settati su un valore di 0,1 (valore che definisce l'intervallo in cui gli orientamenti calcolati saranno considerati uguali ai valori precedenti).



L'elaborazione fotogrammetrica è stata esportata nel formato .las che ha generato un file di dimensioni su disco pari a 88,4 MB (92.786.688 byte).



La nuvola è composta da 3.568.576 punti e come avrai subito notato possiede 950.491 punti in più rispetto a quella del LiDAR ma copre decisamente tutta l'altezza del fabbricato.

Il rumore è pressoché nullo e dall'analisi della cross section il perimetro di taglio restituisce una nuvola non sempre compatta ma dove i cambi di direzione geometrica sono ben rilevati e a spigolo.

Confronto tra le nuvole di punti

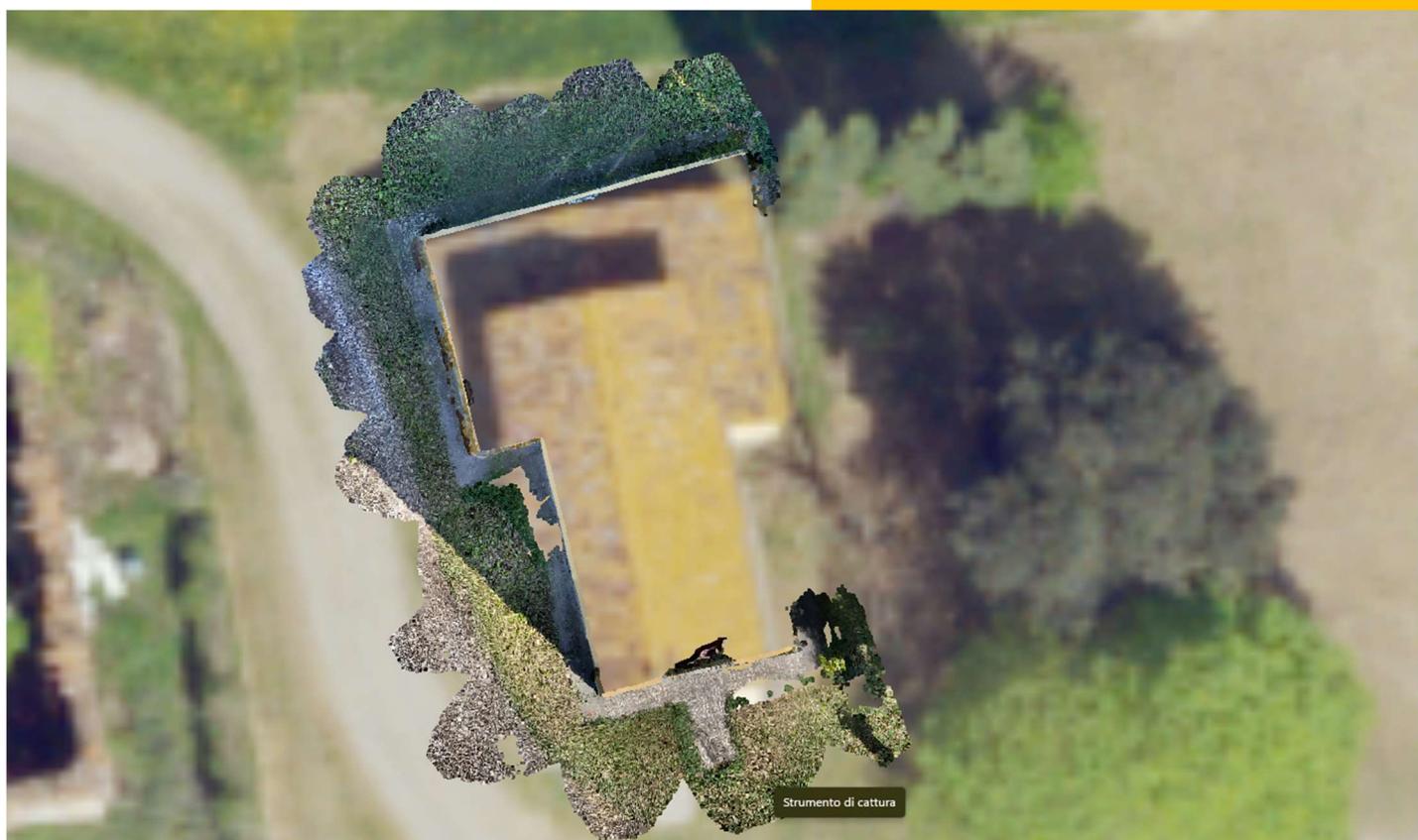
Il test ha messo in evidenza che per ottenere una scansione di qualità utilizzando un iPhone 12 Pro Max non è sufficiente impiegare una sola tecnica ma occorre integrare la metodologia LiDAR con quella fotogrammetrica e affidarsi ad antenne GNSS RTK esterne per migliorare l'accuratezza globale di posizionamento.

La nuvola ottenuta con LiDAR risulta giustamente posizionata rispetto il sistema di riferimento adottato (WGS84/UTM zona 32N, EPSG:32632), mostrando però una rotazione sull'asse X-Y abbastanza evidente.

Il file .las caricato su QGIS e sovrapposto alla cartografia di riferimento della Regione Emilia Romagna (CTR multiscala e Ortofoto RGB) mostra come la nuvola sia nella posizione giusta ma non correttamente orientato.

Il file ottenuto con Reality Capture invece presenta problematiche di importazione nel sistema GIS ma confrontato in Cloud Compare risulta evidentemente non orientato nello spazio.



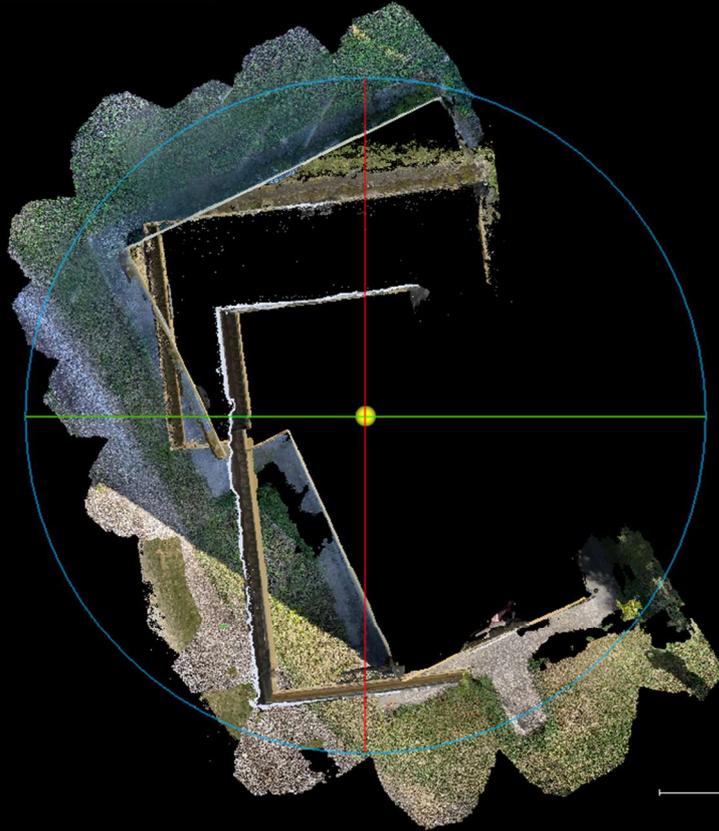


La Nuvola fotogrammetrica presenta anche una rotazione sull'asse y e uno shift su quello z. Questa incertezza del dato è causata dalla scarsa qualità del dato GNSS acquisito da iPhone.

Un ulteriore elemento di criticità nell'affidarsi ai soli dati metrici derivati dal GNSS di iPhone è quello della compressione sugli assi x, y e delle misure planimetriche, cioè vuol dire che il modello risulterà metricamente non corretto nel dato delle misure di distanza tanto quanto è stato l'errore del dato GNSS.

Se ci va bene intorno ai 6-10 cm.





9.5



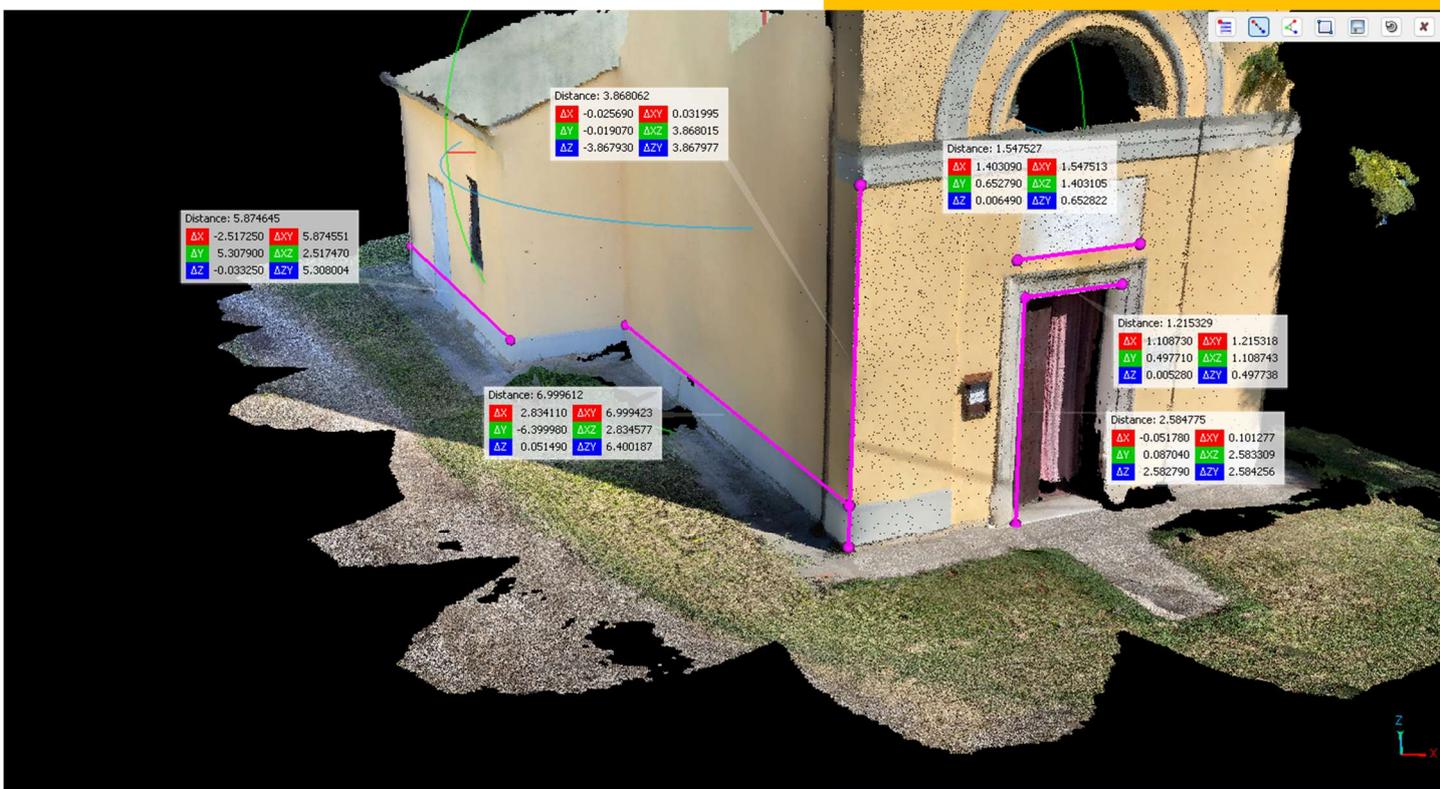
5



Come possiamo quindi aumentare l'accuratezza della nuvola?

Unendo le due tecniche.

In Reality Capture individueremo dei punti di controllo la cui misura con LiDAR risulta facilmente leggibile e andremo a rielaborare il modello costringendolo a ridimensionare l'output secondo le misure inserite.



Integrando l'utilizzo di target si potrà migliorare il riconoscimento dei punti di controllo e definire con più precisione e accuratezza il centro di misura.

Posizionando poi alcuni target a distanza certa (1 o 2 metri) e disposti "in bolla" sul piano orizzontale e verticale potremmo controllare meglio le deviazioni sui piani x,y e z delle nuvole ottenute.

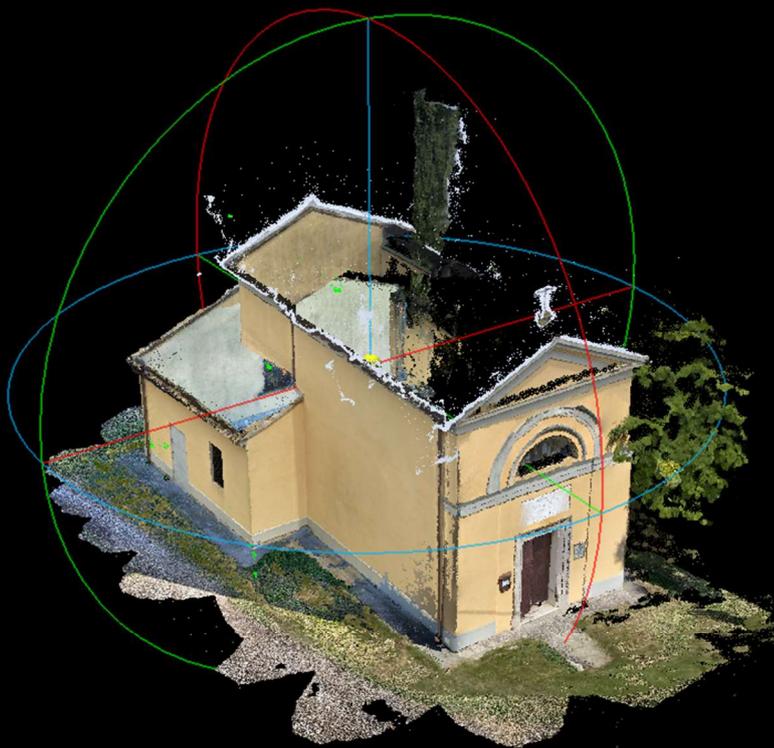
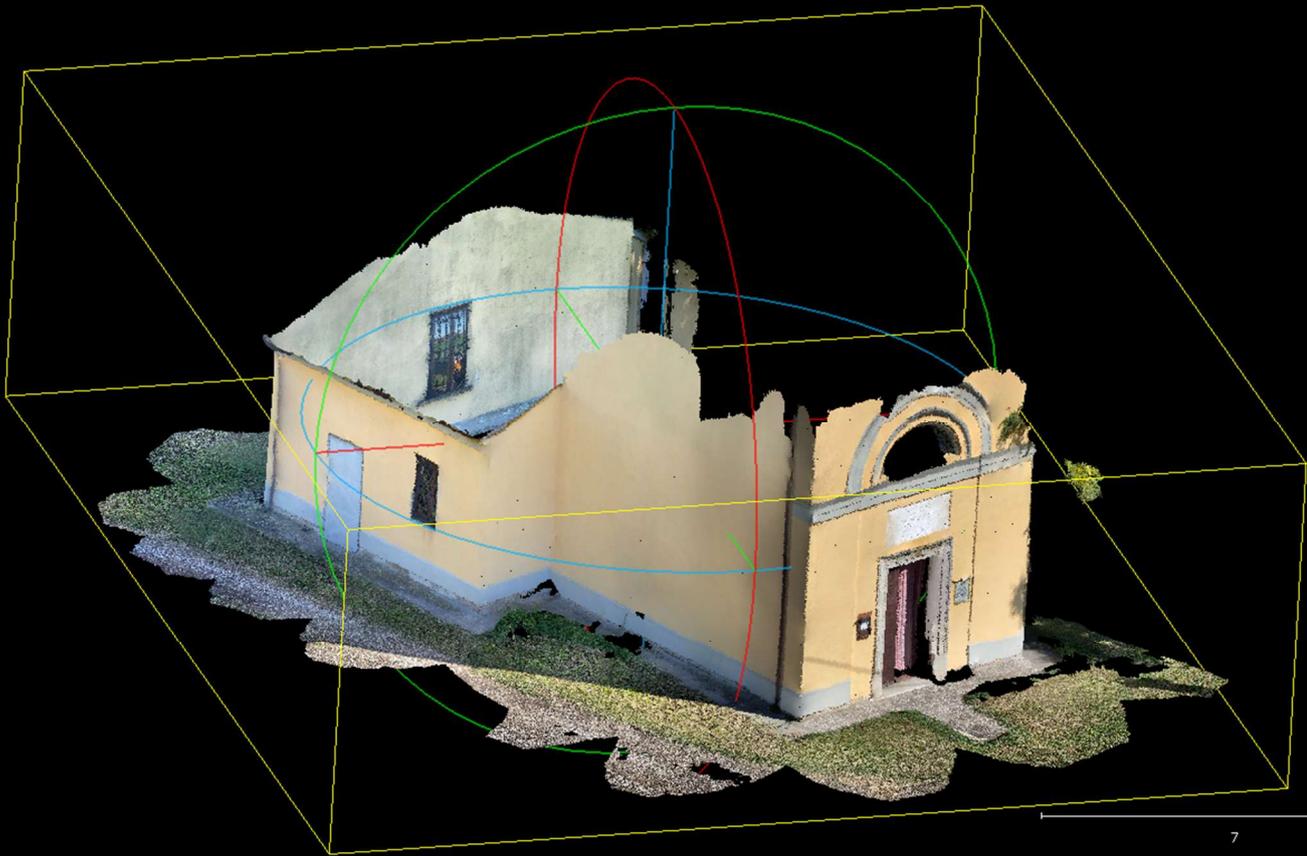


C:\Users\utente\Desktop\test OoB\DATASET SANTANNA\img\IMG_9153.JPG [registered]

Il modello così ottenuto in Reality Capture sarà scalato ma ancora non orientato.

La nuvola LiDAR risulta difficilmente utilizzabile all'interno del software di structure for motion se non attraverso un processo laborioso di post elaborazione.

L'allineamento può avvenire più semplicemente sempre attraverso i punti di controllo dentro Cloud Compare.



Note finali

Per un utilizzo professionale degli strumenti di misura e acquisizione fotogrammetrica con iPhone, è essenziale effettuare una fase preliminare in cui vengono definite le strategie operative più appropriate per il contesto specifico.

Questa pianificazione deve essere attentamente calibrata in base agli obiettivi del progetto e alle caratteristiche dell'oggetto da rilevare.

Conoscere a fondo i limiti operativi e tecnologici degli strumenti è fondamentale per prendere decisioni informate e ottimizzare i risultati.

Una **valutazione critica dei dati raccolti e ottenuti** è fondamentale, così come l'eventuale integrazione con altre tecnologie di rilevamento più precise, per garantire che i risultati siano affidabili e adeguati all'uso previsto.

www.mbaa.it

@outofbim

MB

AA