

Missione di Fotogrammetria Subacquea a Trieste: Raggiungimento della Precisione al Millimetro

Shahriar Mokhtari¹, Alessandro Lambertini¹, Luca Vittuari¹

¹ Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM), Università di Bologna, 40136 Bologna, Italia
Shahriar.mokhtari@unibo.it, Alessandro.lambertini@unibo.it, Luca.vittuari@unibo.it

Parole chiave: Fotogrammetria subacquea, Blucy UUV, ricostruzione 3D, monitoraggio degli habitat marini, geomatica, precisione al millimetro

1. Introduzione

Nell'ambito del progetto PRIN2022 Manatee coordinato dall'Università di Sassari, questo studio valuta la capacità delle tecniche fotogrammetriche subacquee di rilevare differenze dell'ordine del millimetro in modelli sintetici di *Lithophyllum stictiforme* (Nocerino et al., 2023). Il progetto coinvolge diverse unità di ricerca di varie istituzioni, ciascuna delle quali utilizza diverse attrezzature per rilevare variazioni morfologiche in campioni di corallo dell'ordine di pochi millimetri.

In ogni sito del progetto, sono stati creati modelli sintetici attraverso la stampa 3D di campioni di *Lithophyllum stictiforme*, simulando la crescita e la degradazione nel tempo. L'unità operativa dell'Università di Bologna ha sperimentato il proprio drone subacqueo, Blucy, per catturare immagini ad alta risoluzione ed eseguire rilievi dettagliati in condizioni controllate (Lambertini et al., 2022).

La fotogrammetria subacquea è emersa come uno strumento fondamentale nella ricerca ecologica marina, offrendo metodi non invasivi per acquisire dati morfologici dettagliati degli ambienti bentonici (Shortis et al., 2009; Burns et al., 2015). Raggiungere una precisione al millimetro è cruciale per monitorare la crescita dei coralli, valutare la complessità degli habitat e informare gli sforzi di conservazione. Tuttavia, sfide come l'attenuazione della luce, la torbidità e l'accessibilità limitata rendono complessa la misurazione subacquea ad alta precisione (Bryson et al., 2016).

2. Metodologia

Tra il 21 e il 25 ottobre 2024, abbiamo condotto una missione a Trieste utilizzando il Blucy Unmanned Underwater Vehicle (UUV), un veicolo ibrido ROV/AUV progettato per l'imaging subacqueo di precisione. Blucy è equipaggiato con una fotocamera Nikon Z6 full-frame ad alta risoluzione (24,5 megapixel) e quattro luci LED, permettendo la cattura di immagini di alta qualità in condizioni subacquee (Lambertini et al., 2022).

I modelli sintetici di corallo, rappresentanti diversi stadi di crescita, sono stati stampati in 3D utilizzando resina fotopolimerica e spruzzati con una vernice opaca testurizzata per migliorare il rilevamento delle caratteristiche. I modelli sono stati montati su una piattaforma di alluminio stabile posizionata sul fondale marino a una profondità di 10 metri. La piattaforma includeva target fotogrammetrici con distanze note per una scalatura e un riferimento accurati.

L'acquisizione delle immagini è stata effettuata ad altitudini di 0,5 m e 0,8 m sopra i modelli, in due condizioni di illuminazione: con illuminazione artificiale fornita dalle luci di

bordo di Blucy e senza illuminazione artificiale (solo luce ambientale).

Le immagini sono state elaborate utilizzando Agisoft Metashape Professional, impiegando tecniche di Structure-from-Motion (SfM) per generare modelli 3D ad alta risoluzione. Analisi comparative sono state condotte utilizzando CloudCompare per valutare le discrepanze tra i modelli derivati dalla fotogrammetria e i corrispettivi originali stampati in 3D. I cambiamenti temporali sono stati valutati confrontando modelli rappresentanti diversi stadi di crescita (ad esempio, B1 vs. B2).

3. Risultati

La metodologia ha dimostrato alta precisione nella modellazione subacquea, raggiungendo discrepanze medie inferiori a 1 mm in tutti gli scenari (vedi Tabella 1). A un'altitudine di 0,5 m con luci spente, il Modello C1 ha raggiunto la massima accuratezza, con il 98% dei punti che mostrano discrepanze inferiori a 1 mm. Altitudini inferiori hanno portato a una maggiore accuratezza grazie all'aumento della risoluzione delle immagini e a vincoli geometrici più forti.

Effetto dell'Altitudine:

- Altitudine 50 cm: Distanza media di 0,37 mm; deviazione standard di 0,30 mm.
- Altitudine 80 cm: Distanza media aumentata a 0,71 mm; deviazione standard di 0,55 mm.

Effetto dell'Illuminazione:

- Luci Accese a 50 cm: Distanza media di 0,37 mm; deviazione standard di 0,30 mm.
- Luci Spente a 50 cm: Distanza media aumentata a 0,49 mm; deviazione standard di 0,41 mm.

Questi risultati sottolineano l'importanza della vicinanza e di una corretta illuminazione nel migliorare l'accuratezza e la coerenza delle ricostruzioni fotogrammetriche subacquee.

4. Conclusioni

Questo studio, nell'ambito del progetto PRIN2022 Manatee, conferma l'efficacia della fotogrammetria subacquea nel raggiungere una precisione al millimetro in condizioni controllate, dimostrando il potenziale di questa metodologia per il monitoraggio ecologico dettagliato, come il tracciamento della crescita dei coralli e la valutazione dei cambiamenti negli habitat. Affinando le tecniche di imaging e i flussi di elaborazione dei dati, la nostra ricerca contribuisce ai progressi nella geomatica e supporta lo sviluppo di strumenti di monitoraggio precisi per la conservazione marina; il lavoro futuro estenderà questa metodologia agli ambienti marini naturali, affrontando ulteriori sfide come l'illuminazione variabile, le correnti marine e la biodiversità.

Figure e Tabelle

Figura 1. La Piattaforma in Alluminio con Modelli Sintetici

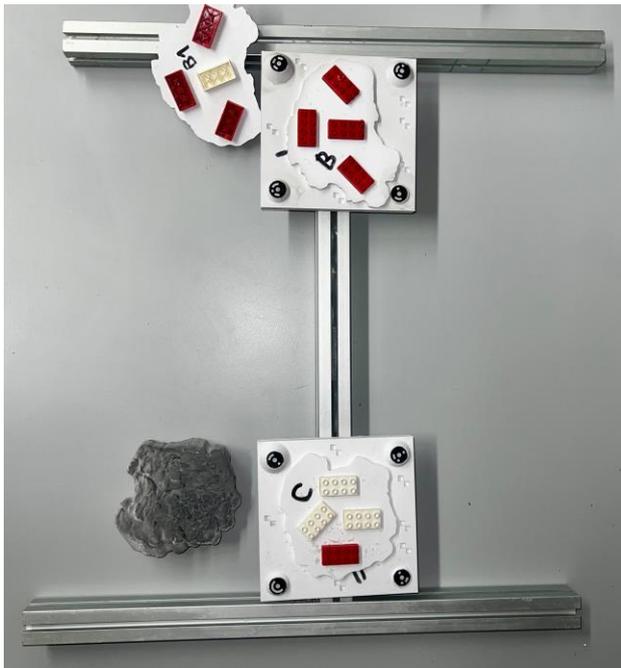


Figura 1. La piattaforma in alluminio con i modelli B1 (vista inferiore che mostra i connettori) e C1 (vista superiore della superficie del modello).

Figura 2. Istogrammi delle Misurazioni delle Distanze per il Modello C1

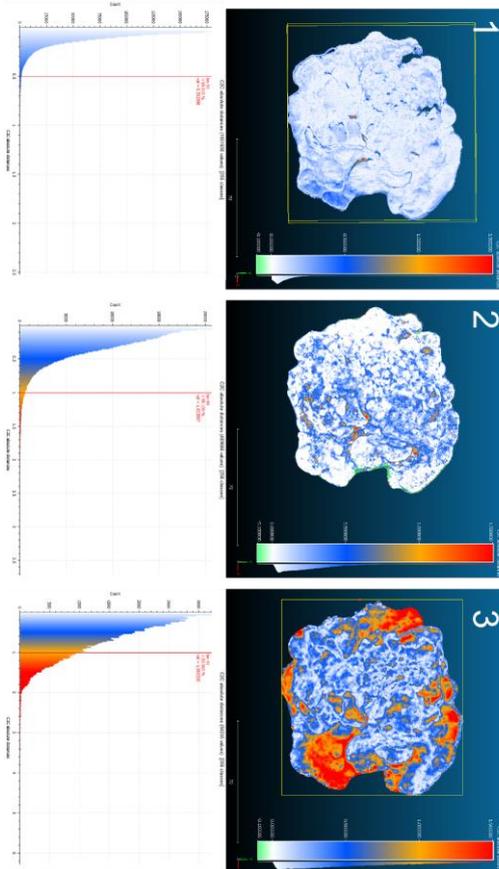


Figura 2. Istogrammi che mostrano la percentuale di distanze misurate inferiori a 1 mm per il Modello C1 in diversi scenari.

Tabella 1. Precisione della Ricostruzione Fotogrammetrica.

Modello	Altitudine (cm)	Illuminazione	% Punti < 1 mm	Distanza Media (mm)	Deviazione Standard (mm)
B1	50	Accesa	93	0,46	0,35
B1	50	Spenta	93	0,45	0,36
B1	80	Accesa	70	0,78	0,6
B2	50	Accesa	92	0,5	0,37
B2	50	Spenta	80	0,68	0,65
B2	80	Accesa	77	0,7	0,56
C1	50	Accesa	95	0,39	0,35
C1	50	Spenta	98	0,29	0,25
C1	80	Accesa	82	0,58	0,44
C2	50	Accesa	98	0,11	0,14
C2	50	Spenta	88	0,52	0,36

Riferimenti Bibliografici

1. Burns, J.H.R., Delparte, D., Gates, R.D., Takabayashi, M., 2015. Integrating structure-from-motion photogrammetry with geospatial software as a novel technique for quantifying 3D ecological characteristics of coral reefs. *PeerJ*, 3, e1077. <https://doi.org/10.7717/peerj.1077>
2. Bryson, M., Johnson-Roberson, M., Pizarro, O., Williams, S.B., 2016. True color correction of autonomous underwater vehicle imagery. *Journal of Field Robotics*, 33(6), 853–874. <https://doi.org/10.1002/rob.21638>
3. Lambertini, A., Menghini, M., Cimini, J., Odetti, A., Bruzzone, G., Bibuli, M., Mandanici, E., et al., 2022. Underwater Drone Architecture for Marine Digital Twin: Lessons Learned from SUSHI DROP Project. *Sensors*, 22(3), 744. <https://doi.org/10.3390/s22030744>
4. Nocerino, E., Del Pizzo, S., Lambertini, A., Troisi, S., Vittuari, L., 2023. MANATEE Project: Monitoring and Mapping of Marine Habitat with Integrated Geomatics Technologies. In *2023 IEEE International Workshop on Metrology for the Sea: Learning to Measure Sea Health Parameters (MetroSea)*, 181–186. IEEE. <https://doi.org/10.1109/MetroSea58055.2023.10317544>
5. Shortis, M.R., Harvey, E.S., Abdo, D.A., 2009. A review of underwater stereo-image measurement for marine biology and ecology applications. *Oceanography and Marine Biology*, 47, 257–292.