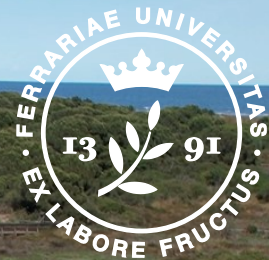


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA

Corso di Laurea in Tecnologie agrarie e acquacoltura del Delta



Mappatura multitemporale delle fanerogame marine nella laguna di Caleri mediante drone

Laureando: Luca Lenzi

Relatore: Prof. Fabio Mantovani

Correlatrice: Dott.ssa Alessandra Giulia Cristina Raptis

Anno Accademico 2025/2026

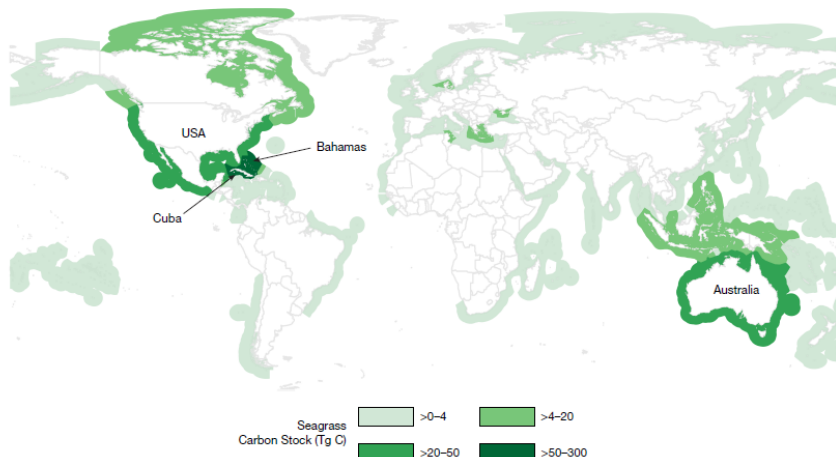
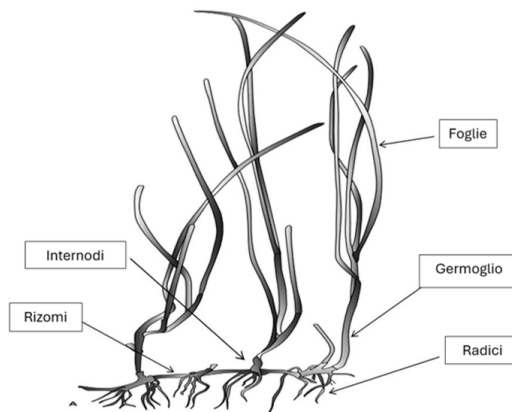
Sommario

- Le fanerogame: cosa sono e perché sono importanti
- Obiettivo e area di studio
- Costruzione ortomosaico e allineamento dei rilievi
- L'errore di allineamento tra le epoche e la scelta del buffer
- Il confronto visivo diretto delle singole zolle tra le epoche analizzate
- Censimento delle zolle e evoluzione
- Conclusioni



Le fanerogame: le motivazioni scientifiche per lo studio

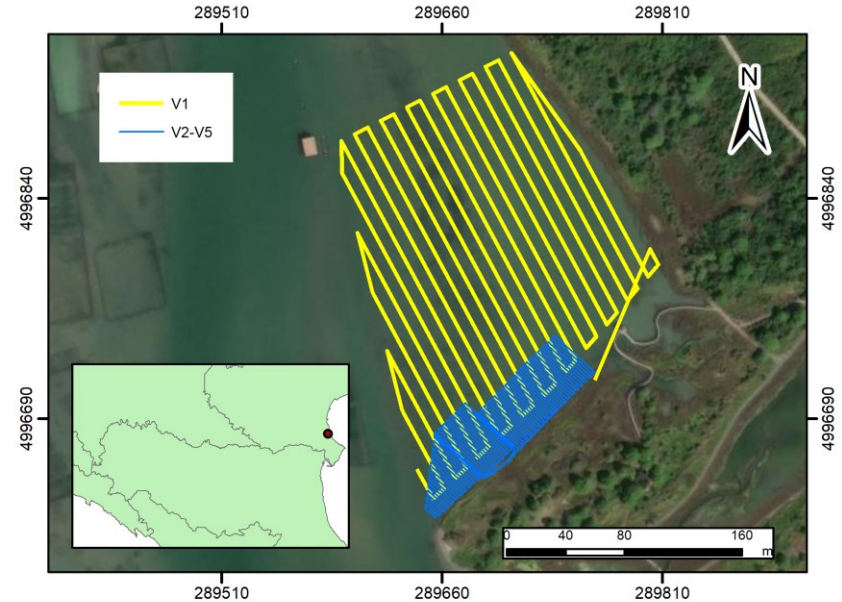
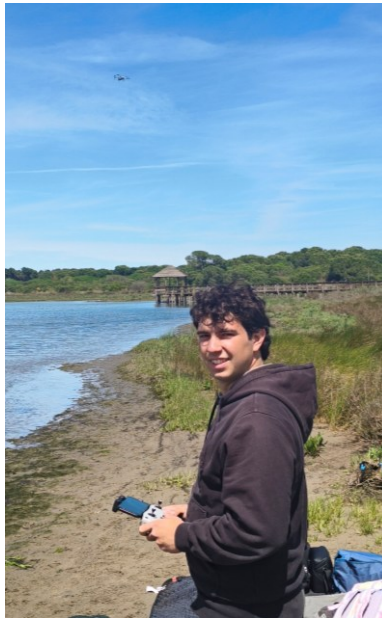
- Le fanerogame marine, *Zostera noltei*, sono piante vere e proprie, con radici, foglie e fiori che vivono radicate sui fondali
- Sono preziose per l'ambiente: ossigenano l'acqua, fissano i sedimenti, offrono rifugio alla fauna e immagazzinano carbonio



- Eppure in tutto il mondo sono in forte declino, monitorarle è diventata una priorità
- I rilievi tradizionali in campo sono lenti, costosi e invasivi; il drone le osserva dall'alto in modo rapido, non invasivo e ripetibile

Obiettivo e area di studio

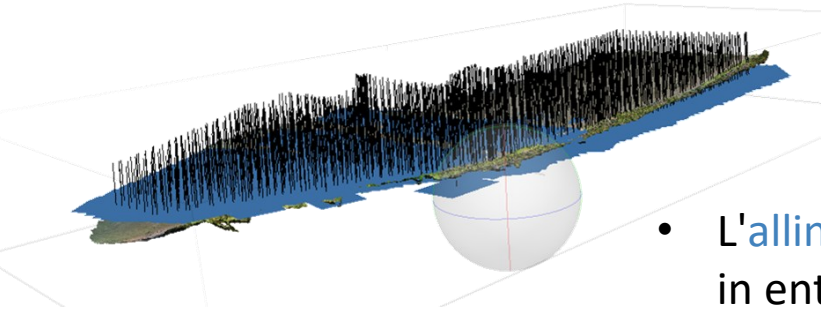
- Seguire nel tempo le **135 zolle** di *Zostera noltei* **trapiantate** a Caleri nel 2022, confrontando i voli del 2023 e del 2026



- I rilievi sono stati eseguiti nella laguna di Porto Caleri con un drone DJI Air 2S, a **50 m** di quota (~4 ha, risoluzione ~1.5 cm/pixel) e a **7 m** (~0.5 ha, risoluzione ~0.3 cm/pixel)

Ortomosaico e georeferenziazione

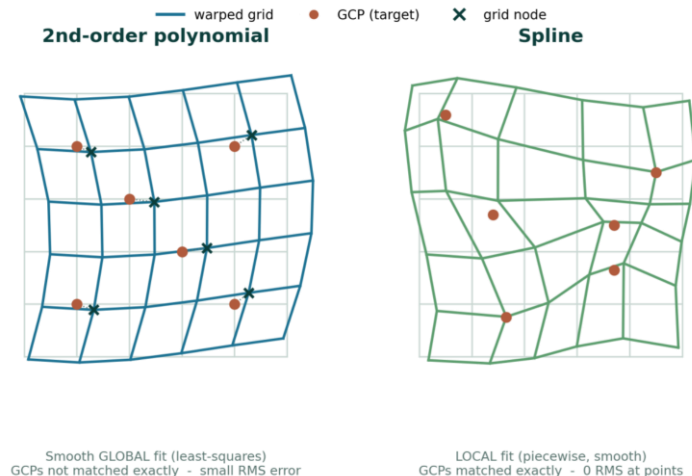
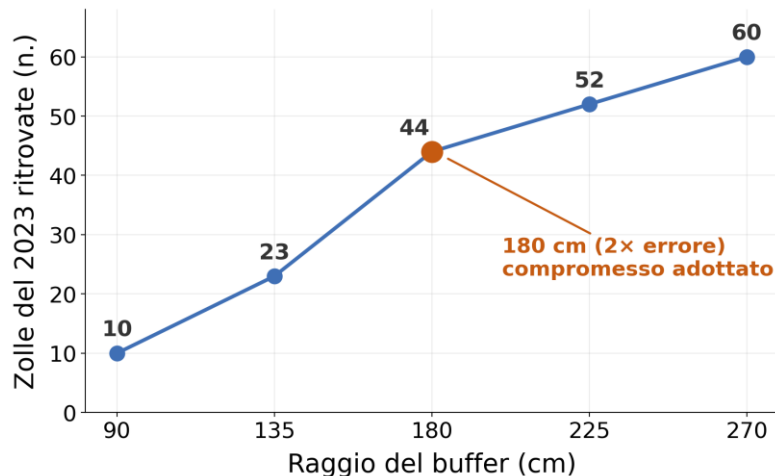
- Unendo le foto aeree sovrapposte si ottiene un'unica immagine a scala costante, corretta geometricamente e georeferenzziata: **l'ortomosaico**



- L'**allineamento** tra le due epoche si basa su punti riconoscibili in entrambi gli ortomosaici e fatti coincidere
- Il **riferimento madre** è l'ortomosaico d'insieme del 2023: su di esso è stato co-registrato l'insieme del 2026
- Gli ortomosaici di dettaglio sono stati **co-registrati** sui rispettivi ortomosaici d'insieme

Trasformazioni ed errori

- La georeferenziazione si basa su **due trasformazioni geometriche**: la polinomiale di secondo ordine e la spline
- Ortomosaico d'insieme: **polinomiale di secondo ordine**, riallinea l'intera scena in modo regolare e stabile (coerenza complessiva)
- Ortomosaico di dettaglio: **spline**, fa coincidere i punti uno a uno per la massima precisione locale



- L'allinamento non è mai perfetto: combinando i tre passaggi abbiamo stimato l'**errore**, detto di co-registrazione: 0.9 m
- A ogni zolla del 2023 è stato tracciato un **buffer** di raggio 180 cm (il doppio dell'errore): l'area entro cui la stessa zolla può ricomparire nel 2026

2023



2026



2023



2023



2026



Riconoscimento visivo

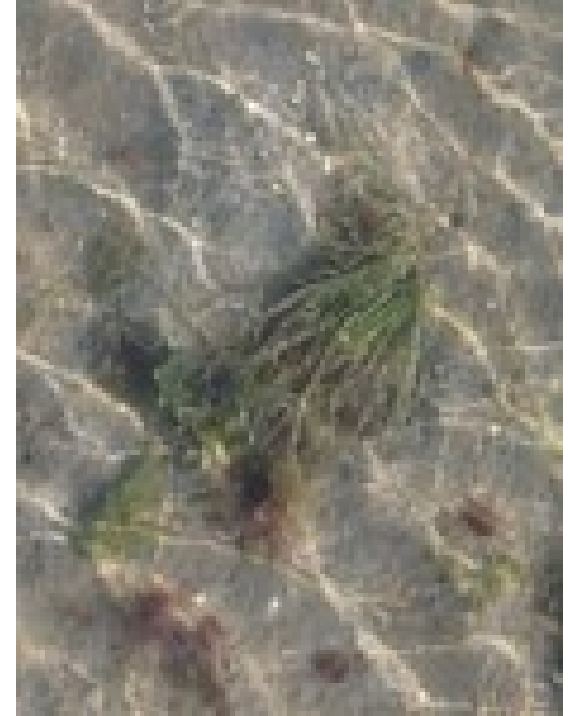
Alghe rosse



Alga verde



Fanerogama



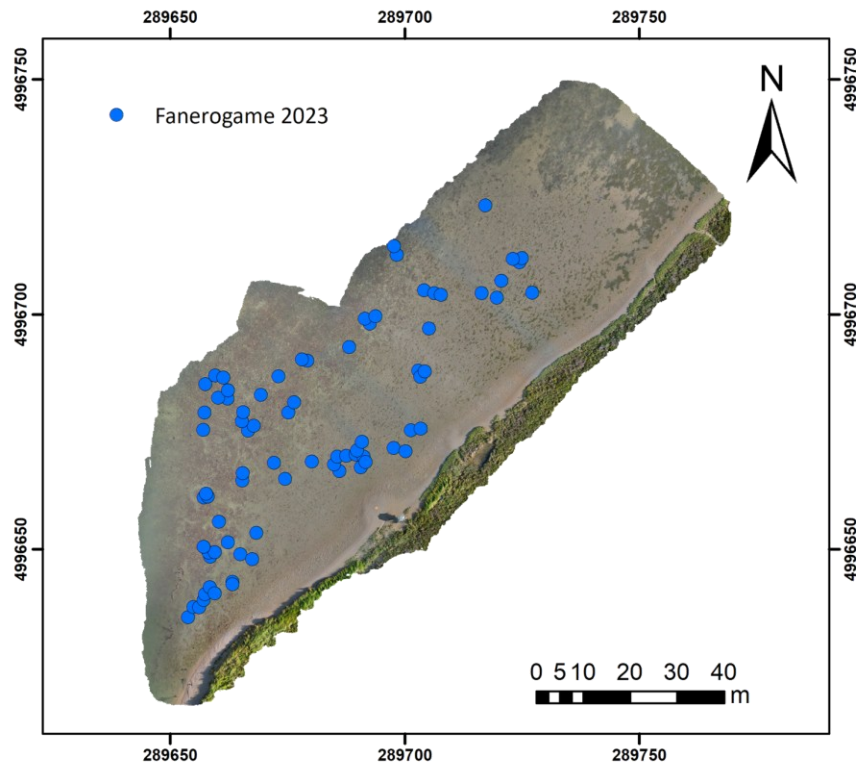
2023-2026 a confronto

79 zolle del 2023

- 56 zolle trapiantate nel 2022 non sono visibili nell'ortomosaico

494 zolle del 2026

- 44 persistite (56%): ritrovate nel 2026 entro il buffer
- 35 scomparse (44%)
- 432 di neoformazione: nuove, esterne a ogni buffer



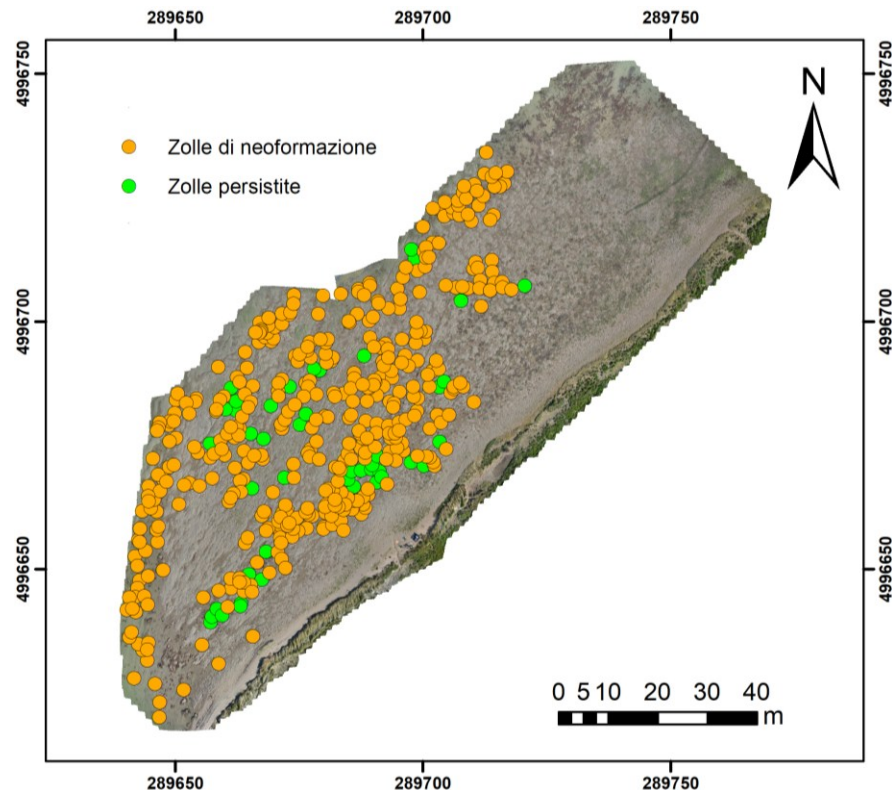
2023-2026 a confronto

79 zolle del 2023

- 56 zolle trapiantate nel 2022 non sono visibili nell'ortomosaico

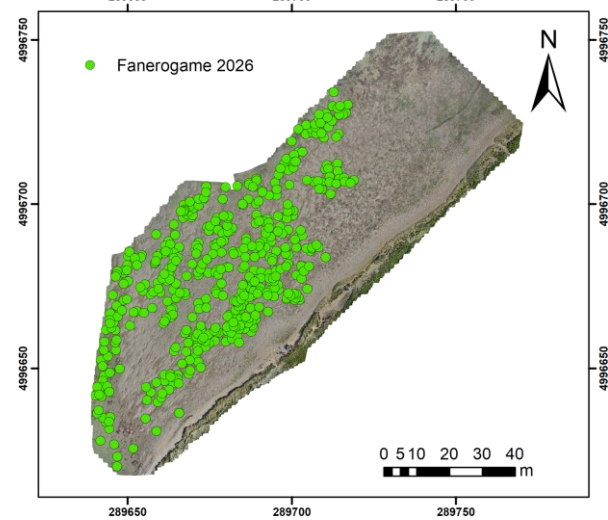
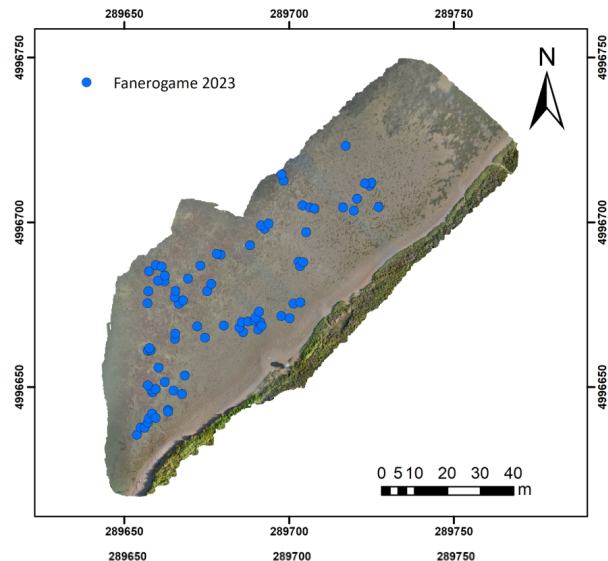
494 zolle del 2026

- 44 persistite (56%): ritrovate nel 2026 entro il buffer
- 35 scomparse (44%)
- 432 di neoformazione: nuove, esterne a ogni buffer



Conclusioni

- Il **drone** e gli **ortomosaici** si sono rivelati lo strumento determinante: solo il loro dettaglio e la ripetibilità hanno reso possibile contare e confrontare le singole zolle, difficile con i rilievi tradizionali.
- La quantificazione dell'errore di **co-registrazione** (0.9 m) è la condizione che rende attendibile l'intero confronto.
- La popolazione di *Zostera noltei* è cresciuta da 79 a 494 zolle e si è diffusa attivamente: **432 zolle di neoformazione**, una dinamica fortemente espansiva.
- La **persistenza** di 44 zolle su 79 (56%) indica la stabilità della popolazione, in un mosaico naturale di chiazze in continuo rimaneggiamento.





**Grazie
per
l'attenzione**