

## Streszczenie

Eksploracja naukowa morskich habitatów dennych znacznie się rozwinęła w przeciągu kilku ostatnich lat. W dzisiejszych czasach do badania dna morskiego w pełni korzysta się z osiągnięć metod hydroakustycznych. Wyznaczanie habitatów bentosowych wymaga interdyscyplinarnego podejścia, wliczając w to nauki takie jak: ekologia, biologia morza, geologia morza, geomorfologia, statystyka i oceanografia. Wyniki mapowania habitatów mogą być wykorzystane przez różnych odbiorców, takich jak: społeczność naukowa, Urzędy Morskie, morskie firmy badawcze, agencje ochrony środowiska, rządy państwowe itp. Dynamiczny rozwój narzędzi hydroakustycznych i metodyki umożliwi tworzenie map dużych obszarów dna morskiego z bezprecedensową precyzją. Istotne znaczenie dla mapowania habitatów ma rozpraszanie wstecz sygnału akustycznego zebrane przy pomocy echosondy wielowiązkowej. Mimo tego, że dostępność tych danych w ostatnim czasie wzrosła, metodyka ich poboru, przetwarzania i interpretacji jest w dalszym ciągu w fazie eksperymentu. Dla przykładu, w dalszym ciągu nie istnieją standardy przetwarzania rozpraszania wstecz sygnału akustycznego z echosondy wielowiązkowej, co ma istotny wpływ na mapowanie morskich habitatów.

Przedstawione tutaj badanie ma charakter badań podstawowych i skupia się na metodologicznym podejściu do mapowania dna morskiego. Obszar badań obejmował Lagunę Wenecką i ze względu na pierwszą eksplorację pewnych jej części, badanie ma również charakter poznawczy. Niniejsze studium jest wynikiem współpracy naukowej z Instytutem Nauk Morskich Rządu Włoskiego (CNR-ISMAR), który uczestniczył we Flagowym Włoskim Projekcie Badawczym dotyczącym badań morza, RITMARE (Ricerca Italiana per il Mare - Italian Research for the Sea).

Głównym celem niniejszego studium jest zaprezentowanie zwięzłej metodyki do mapowania habitatów bentosowych dla wysokorozdzielczych danych akustycznych pobranych w bardzo płytkim środowisku Laguny Weneckiej. Biorąc pod uwagę wspomniany cel, powzięte zostały następujące cele szczegółowe: (i) opracowanie schematu pracy który umożliwi utworzenie rzetelnych map habitatów dennych na podstawie pomiarów echosondą wielowiązkową i zbioru danych z bezpośrednich obserwacji, (ii) opracowanie automatycznych lub półautomatycznych,

powtarzalnych i wydajnych narzędzi przetwarzania w celu uzyskania mniej subiektywnych map habitatów dna morskiego oraz umożliwienia detekcji zmian rozmieszczenia habitatów dennych w bardzo płytkim środowisku na podstawie wielokrotnych badań przeprowadzanych w tym samym obszarze w różnym czasie. Wymienione cele badawcze związane są z pytaniami badawczymi, które posłużyły za podstawę niniejszego opracowania, w tym:

(i) czy możliwe jest opracowanie automatycznej lub półautomatycznej, powtarzalnej metody tworzenia precyzyjnych map habitatów dennych dla kanału pływowego? (ii) Które cechy batymetrii i rozpraszania wstecz sygnału akustycznego są najbardziej odpowiednie do sporządzania map siedlisk dna morskiego kanału pływowego? (iii) Które metody klasyfikacji obrazu rozpraszania wstecz sygnału akustycznego są najlepsze do mapowania siedlisk kanałów pływowych Laguny Weneckiej? (iv) W jaki sposób skala segmentacji obiektowej może wpłynąć na dokładność klasyfikacji? (v) Czy klasyfikacja pozwala na obserwację zmian siedliskowych w kanałach pływowych Laguny Weneckiej?

Niniejsza rozprawa została podzielona na dziewięć rozdziałów. Pierwszych pięć zawiera wstęp, opis celów badań, położenie geograficzne obszaru badań, teoretyczne podstawy rozpraszania wstecz sygnału akustycznego zarejestrowanego przy użyciu echosondy wielowiązkowej oraz stan wiedzy mapowania habitatów bentosowych. Następne części obejmują opracowaną metodologię, wyniki, dyskusję i podsumowanie. Ostatnia część zawiera obszerną listę aktualnych odniesień do literatury.

Badanie zaprezentowane w niniejszej pracy skupiło się na szczegółowej analizie dwóch określonych obszarów w Lagunie Weneckiej: kanału pływowego Scanello i cieśniny Chioggia. Badanie podstawowe kanału pływowego Scanello pozwoliło na eksplorację szerokiej gamy ważnych zbiorowisk ekologicznych. Mapy denne oraz detekcja zmian cieśniny Chioggia umożliwiły wydzielenie odrębnych obszarów występowania określonych osadów oraz śledzenie ich zmienności czasowej, cennej z punktu widzenia mobilnej bariery projektu MoSE.

Niniejsze opracowanie pokazuje eksperymentalne podejście metodyczne do ważnych etapów tworzenia map siedlisk bentosowych, takich jak: ekstrakcja cech, wybór cech, segmentacja i klasyfikacja. Szeroko zakrojone badania wykonane w tej rozprawie obejmują duży zbiór danych cech drugorzędnych opartych na analizie pikselowej i obiektowej obrazu, wyodrębnionych ze zbioru danych z echosondy wielowiązkowej. Inną szczególną cechą tego opracowania jest porównanie dwóch algorytmów selekcji cech. Rozmiary obiektów obrazu zostały oszacowane na podstawie oceny dokładności w wielu skalach, powiązanej z bardzo dużym zbiorem wyników segmentacji typu *Multiresolution*. Przedstawione badania pokazują unikalne zastosowanie algorytmu Template Matching do wykrywania i klasyfikacji powtarzalnych obiektów na dnie morza.

W porównaniu z innymi badaniami nad mapowaniem habitatów bentosowych, w niniejszym opracowaniu przedstawiono wysoką wydajność klasyfikatora Bayes oraz jedne z najwyższych wyników dokładności dla algorytmów drzew decyzyjnych (CART) i uczenia maszynowego (SVM). Niniejsza rozprawa wnosi wkład do literatury mapowania morskich habitatów w zakresie studiów porównawczych nadzorowanych metod klasyfikacji oraz detekcji zmian.

Chociaż spójny, powtarzalny, logiczny schemat pracy został zaprojektowany specjalnie dla tego badania, może być stosowany do innych obszarów i skal w zakresie mapowania habitatów dna morskiego, wliczając w to płytkie i głębokie środowiska morskie. Głównym wymogiem jest dobra jakość morskich danych hydroakustycznych i prób dennych dla danego obszaru geograficznego.