

Modulul 4: Cartografierea și monitorizarea ierburilor marine

Cartografierea și monitorizarea extinderii, gradului de acoperire și compoziției speciilor de ierburi marine sunt esențiale pentru înțelegerea acestor ecosisteme complexe și dinamice. Acest proces evidențiază zonele de reziliență și sensibilitate și ajută la anticiparea răspunsurilor la presiunile induse de schimbările climatice. Cartografierea și monitorizarea ierburilor marine depășesc măsurătorile directe și includ beneficiile, procesele și presiunile asociate reglării resurselor alimentare, producției piscicole, ciclului global al carbonului, biodiversității și schimbărilor climatice, printre alte aspecte.



Şevki Danacioğlu



Provocări în cartografierea globală a ierburilor marine

1

Habitate diverse

Ierburile marine se întâlnesc într-un interval larg de adâncimi, de la zona intertidală până la 80 de metri, și cresc în medii de la ape foarte limpezi la ape foarte tulburi.

2

Densitate variabilă

Pajiștile de ierburi marine variază ca densitate, de la pete izolate până la kilometri pătrați de pajiști omogene, ceea ce face dificilă monitorizarea consecventă.

3

Diversitatea speciilor

Compoziția speciilor variază de la o singură specie la pajiști mixte cu peste 10 specii, necesitând abordări de monitorizare diferite.

Pentru a realiza o cartografiere și monitorizare inovatoare și la timp a ierburilor marine, este necesară o abordare matricială coordonată la nivel global pentru a răspunde acestor provocări.



O abordare matricială pentru monitorizarea ierburilor marine

Metode de sus în jos

Instrumentele de teledetecție, inclusiv sateliții, avioanele, dronele și sonarele, oferă o acoperire spațială extinsă, dar pot omite condițiile detaliate ale ecosistemului.

Metode de jos în sus

Eșantionarea in situ oferă informații detaliate, dar necesită multe resurse și poate varia în ceea ce privește momentul, consecvența și metodologia.

Abordare combinată

Atunci când sunt combinate, metodele de teledetecție și cele in situ furnizează informații esențiale despre starea de sănătate și tendințele ecosistemelor de ierburi marine pentru cercetători și factorii de decizie.

Cele trei componente principale ale matricei pentru cartografierea și monitorizarea ierburilor marine la scară globală sunt: tehnicile, tehnologia și datele.



Tehnici de cartografiere și monitorizare



Bazate pe optică

Utilizarea
instrumentelor de
teledetecție, precum
sateliții și dronele,
pentru a capta imagini
ale pajiștilor de ierburi
marine de la suprafață.



Bazate pe acustică

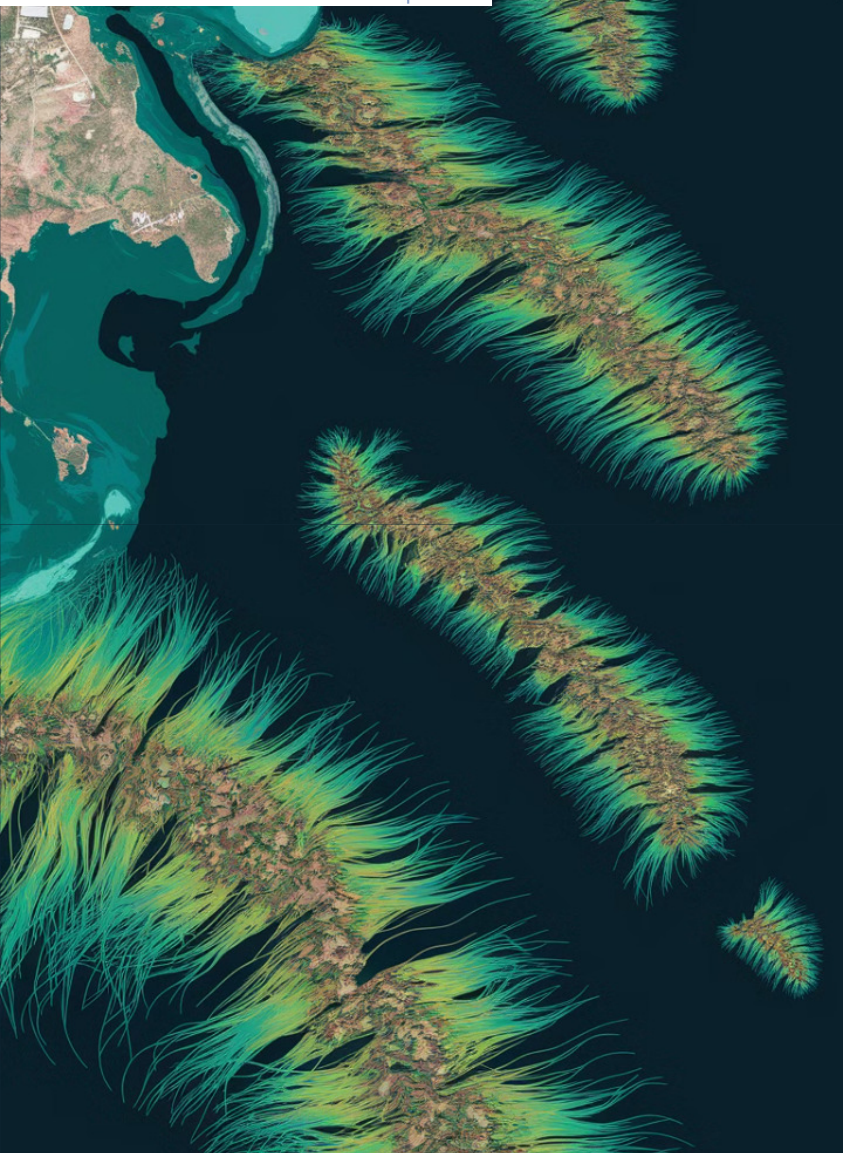
Utilizarea
instrumentelor de
teledetecție, precum
sonarele cu scanare
laterală, pentru
cartografierea
distribuției subacvatice
a ierburilor marine.



Bazate pe teren

Realizate prin
scufundări, snorkeling
și monitorizare
ecologică pentru
colectarea de date
detaliat privind starea
ierburilor marine.





Tehnici optice: sateliți și drone

Capabilitățile sateliților

Teledetecția bazată pe sateliți poate identifica și cartografia ierburile marine la rezoluții spațiale între 0,30 și 30 m, rezoluții temporale între 1 și 17 zile și benzi spectrale între 400 și 700 nm – spectrul vizibil.

Limitări de adâncime

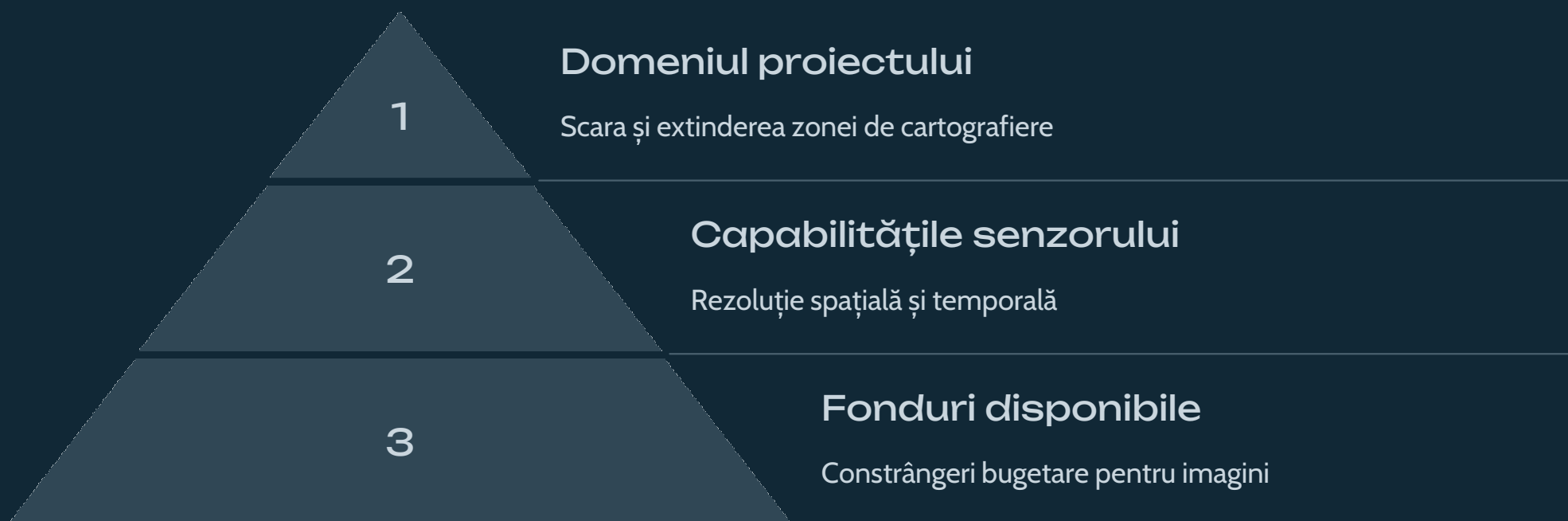
În multe cazuri, sateliții pot observa ierburile marine cu detalii și frecvență satisfăcătoare până la adâncimi maxime de 40 m, în funcție de claritatea apei.

Avantaje și dezavantaje

Deși sateliții oferă o acoperire extinsă, eficiența lor este limitată de factori precum claritatea apei, nebulozitatea și constrângerile de rezoluție.



Selectarea senzorului satelitar potrivit



Decizia finală privind selectarea senzorului satelitar adecvat depinde în mare măsură de echilibrarea acestor trei factori. Evoluțiile recente ale dronelor ușoare, cunoscute și ca sisteme aeriene fără pilot (UAS), au adăugat instrumente noi și valoroase setului de instrumente pentru observarea Pământului și teledetecție.



Avantajele și dezavantajele imaginilor satelitare în cartografierea pajiștilor de ierburi marine.

Advantages	Disadvantages/potential errors
• Enables differentiation between objects whose colour would appear identical to a photo-interpreter • High spatial resolution • Digital from acquisition • Large coverage, easy to georectify	• Photographic distortion • Photo-interpretation • The spectral output of seagrass beds may vary over very short distances due to: - growth of epiphytes - "health" of the grasses - water depth - optical properties of overlying water • Low radiometric resolution • Clouds are a big problem

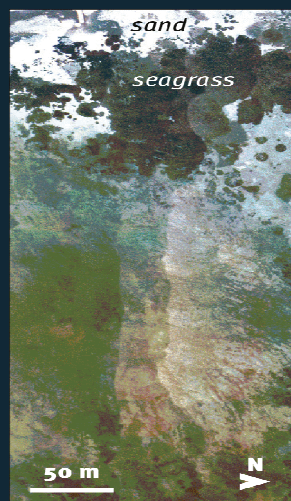


Selectarea senzorului satelitar potrivit

Seagrasses from above - drones and satellites

Example images from Lesbos, Greece, 39°09'30.6"N 26°32'01.8"E

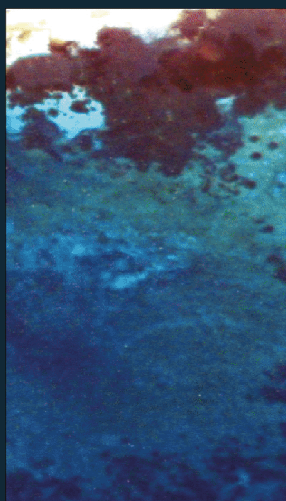
Drone



resolution: 4 cm

- ⊕ Very high spatial resolution, Low cost of acquisition, High flexibility of deployment
- ⊖ Small ground area coverage, Limited optical bands, Required laborious image pre-processing

WVII PAN



resolution: 50 cm

- ⊕ Very high spatial resolution, High spectral information, Direct and flexible sensor tasking
- ⊖ Commercial imagery, Very high cost of imagery

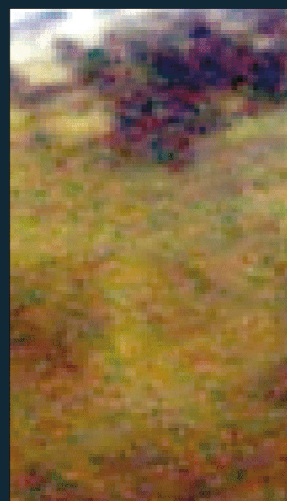
WVII MUL



resolution: 2 m

- ⊕ Very high spatial resolution, High spectral information, Direct and flexible sensor tasking
- ⊖ Commercial imagery, Very high cost of imagery

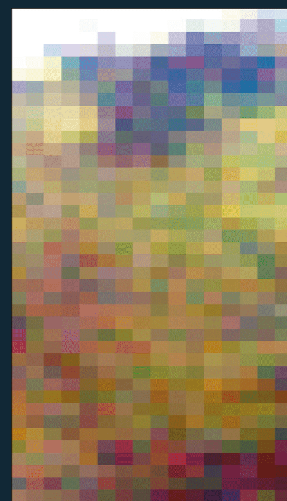
PlanetScope



resolution: 3 m

- ⊕ High spatial resolution, High temporal resolution, Free under a scientific license
- ⊖ Radiometric differences between, Low spectral information

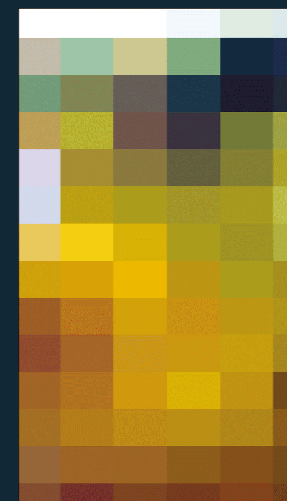
Sentinel-2



resolution: 10 m

- ⊕ High spatio-temporal resolution, Open, free and public datasets, Archive between 2015-2029
- ⊖ Multiple spatial bands, Spectral technological-related artifacts over seagrass areas

Landsat-8



resolution: 30 m

- ⊕ Large area coverage, Free datasets, Historical archive back to 1972
- ⊖ Low spatial resolution, Low temporal resolution

Sources: Topouzelis, K. University of Aegean (2018); Digital Globe (2018); PlanetScope (2018); Copernicus Sentinel data (2019); Landsat-8 (2018) U.S. Geological Survey.

	Landsat Thematic Mapper*	SPOT XS *	CASI (Compact Airborne Spectro-graphic Imager)	Aerial photography
Accuracy of the map (%)	<60	<50	<90	<70
Coverage per scene (km)	185 x 185	60 x 60	variable	variable
Cost (€ km ⁻² scene ⁻¹)	0.12	0.71	8.11	16.07

Avantajele și dezavantajele cartografierii ierburilor marine cu ajutorul fotografiei aeriene

Advantages	Disadvantages
• High spatial resolution • Spatial resolution (as determined by the scale) can be selected based on project objectives • Flexible acquisition – imagery can be planned captured at the most optimal time of day and under the best environmental conditions • Low technology information extraction – seagrass maps can be made from aerial prints or diapositives with little technical hard- or software resources, but in most cases aerial photos should be digitised and rectified before mapping. • Stereometry can greatly enhance mapping.	• Cost – The fine spatial resolution provided by the photographs comes at the cost of obtaining a large number of frames • It is produced in an analogue format and must be scanned if any computer enhancement, image processing or rectifying is anticipated • Distortion – The nature of the camera lens and position, roll, yaw and tilt of the plane introduces some distortion into the imagery. A problem if not corrected by rectifying. • Lack of light can make interpretation difficult in deep and turbid waters • Highly variable sun-glint reflection from all directions in image. • Clouds.



Aplicații ale dronelor în monitorizarea ierburilor marine

<10cm

\$

Rezoluție

Dronele oferă o rezoluție spațială subdecimetrică, surprinzând detalii fine ale pajiștilor de ierburi marine.

Cost

Cost relativ redus în comparație cu alte metode de teledetecție.

100%

Flexibilitate

Flexibilitate ridicată în utilizare și posibilități de personalizare pentru nevoi specifice de monitorizare.

Dronele au fost utilizate într-o serie de studii de monitorizare a ierburilor marine intertidale, demonstrând eficiența lor pentru cartografierea de înaltă rezoluție. Considerentele privind costul și precizia variază semnificativ între senzorii satelitari și cei aeropurtați, dronele oferind o soluție intermediară.



Sinergia dintre drone și sateliți

1

Colectarea datelor cu drone

Dronele colectează date de referință de înaltă calitate și rezoluție la altitudini joase (de obicei nu mai mari de 300 m).

2

Validare

Aceste date validează produsele de cartografiere a ierburilor marine derivate din imagini satelitare cu rezoluție joasă.

3

Reducerea costurilor

Această abordare reduce costurile asociate colectării în situ a datelor de validare (prin snorkeling și/sau scufundări).

4

Fezabilitate crescută

Abordarea combinată crește fezabilitatea proiectelor de cartografiere a ierburilor marine.

Posibilitatea de a zbura în mod repetat cu drone pe același traseu și de a colecta date după necesități le-a transformat într-un instrument foarte util pentru monitorizarea de rutină a ecosistemelor de ierburi marine, în ciuda necesității unor permise și licențe speciale.

Tehnici de cartografiere acustică

Sonare cu scanare laterală

Utilizate încă din anii 1970 în Marea Mediterană pentru cartografierea pajiștilor de ierburi marine, deși măsurarea densității și înălțimii coronamentului este dificilă.

Ecosonde monofascicul

Utile pentru cartografierea limitei inferioare de adâncime a distribuției ierburilor marine, deși nu asigură acoperirea completă a fundului mării.

1

2

3

Ecosonde multibeam

Unul dintre cele mai eficiente instrumente acustice, creând imagini tridimensionale ale pajiștilor de ierburi marine cu structură detaliată.

Senzorii acustici sunt utilizați frecvent pentru cartografierea proprietăților fizice și biologice ale fundului mării. Prin tehnici cu ultrasunete, pajiștile de ierburi marine pot fi cartografiate cu un aparat acustic, de obicei tractat de o ambarcațiune sau instalat pe aceasta. Dimensiunea zonei investigate se situează în general între cea a metodelor in situ și cea a imaginilor satelitare.

Abordări de monitorizare bazate pe teren

Evaluarea procentului de acoperire

Cea mai bine stabilită și cel mai frecvent utilizată variabilă pentru monitorizarea ierburilor marine, denumită «acoperirea frunzișului coronamentului proiectată orizontal».

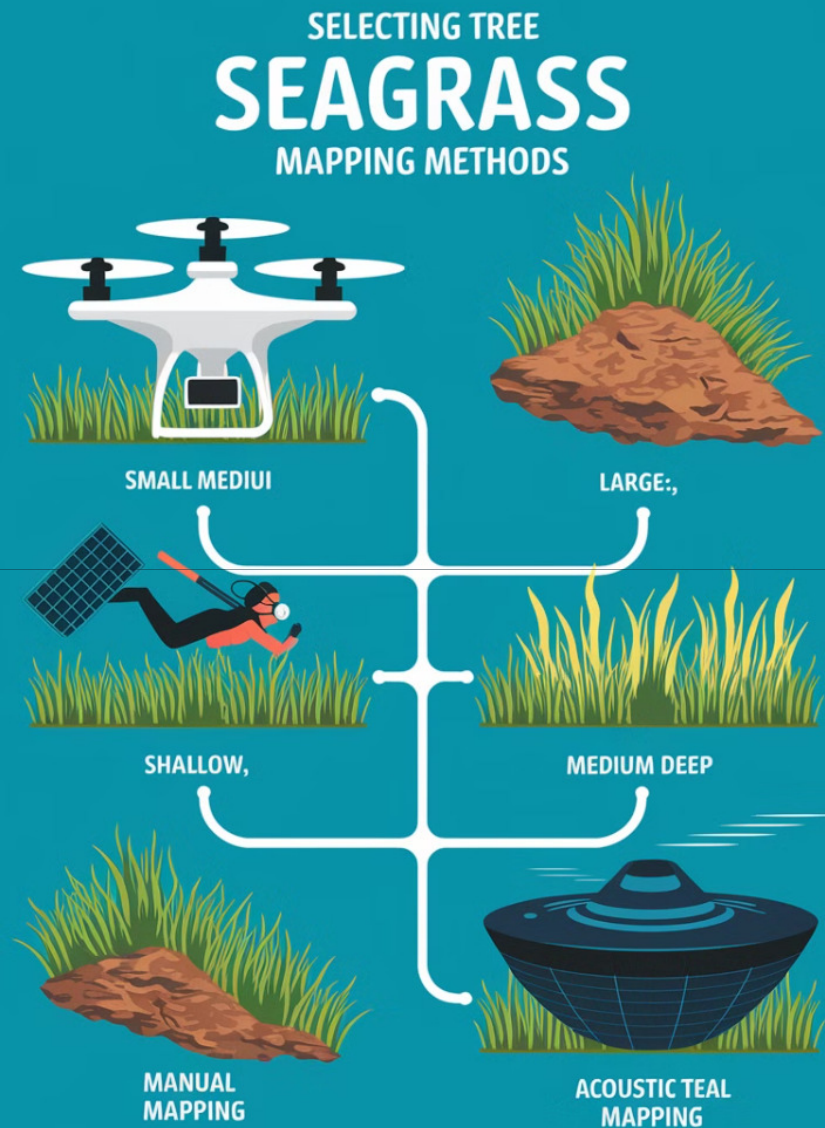
Măsurători suplimentare

Colectarea la scară fină a datelor privind densitatea lăstarilor, înălțimea coronamentului, biomasa și compoziția speciilor.

Controlul calității

Utilizarea cardurilor de referință comune și a procedurilor de asigurare/control al calității (QA/QC) pentru îmbunătățirea preciziei.

Monitorizarea bazată pe teren poate furniza informații detaliate despre starea de sănătate (starea ecologică) a pajiștilor de ierburi marine, deoarece sunt colectate mai multe variabile la scară fină. Deși estimarea acoperirii poate fi subiectivă, instruirea adecvată și metodele standardizate pot îmbunătăți semnificativ precizia metodei.





Rețele coordonate de monitorizare

Protocoale standardizate

Metode comune între situri

Raportare

Rezultate și concluzii comune



Colectarea datelor

Măsurători comparabile

Analiză

Comparație între situri

Rețelele oferă o metodă excelentă și eficientă din punct de vedere al costurilor pentru obținerea de date standardizate și comparabile privind schimbările ierburilor marine și factorii asociați în mai multe locații din lume, de-a lungul timpului. O evaluare globală recentă a identificat 19 programe active de monitorizare pe termen lung a ierburilor marine, cele mai mari fiind Seagrass-Watch și SeagrassNet.

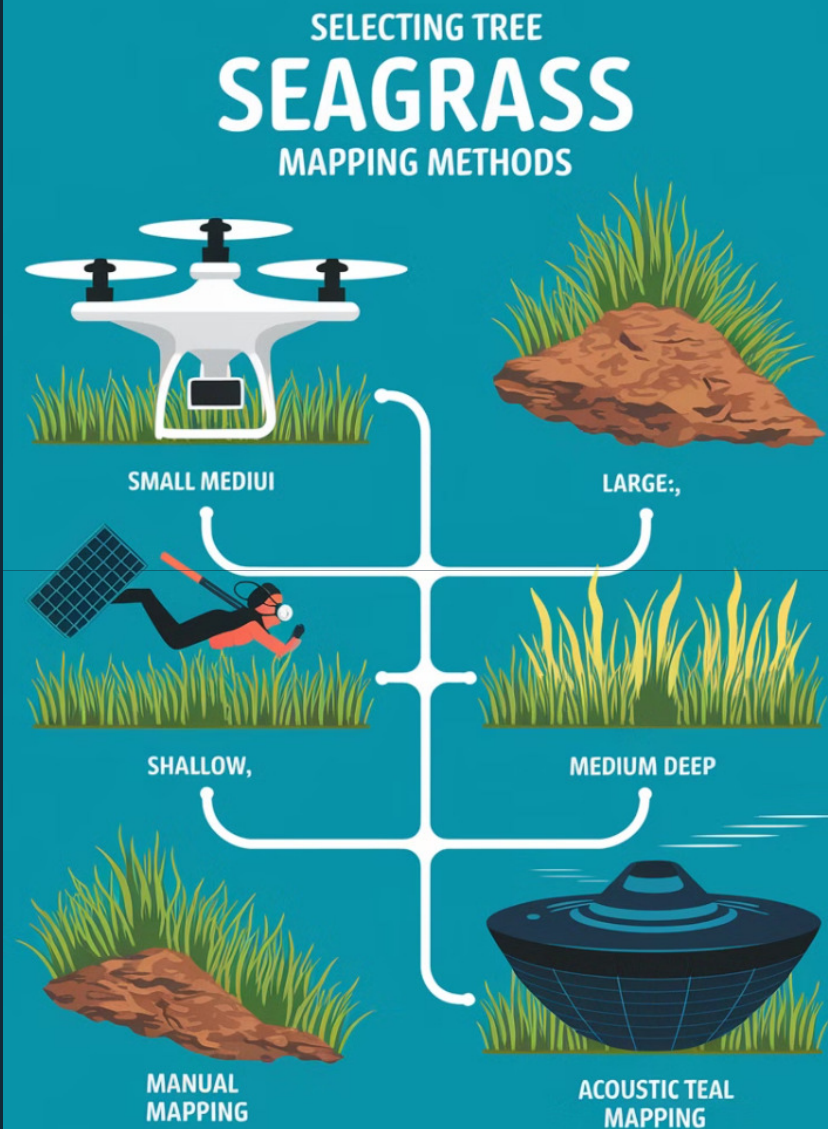
Ambele rețele urmăresc să ofere sisteme online actualizate pentru transmiterea datelor, precum și resurse de sprijin pentru monitorizare, cum ar fi manuale sau protocoale, ghiduri de teren și fișe de date, noutăți, detalii despre siturile cu ierburi marine și participanți.



Alegerea metodei potrivite de cartografiere

Metodă	Dimensiunea zonei	Interval de adâncime	Avantaje
In situ (scufundări)	Mică (<1km ²)	0-30m	Detaliu ridicat, identificarea speciilor
Camera video	Mică-Medie	0-50m	Acoperire bună, mai puțină muncă
Fotografii aeriene	Medie-Mare	0-15m	Acoperire largă, posibilitate de arhivare
Imagini satelitare	Foarte mare	0-10m	Acoperire globală, repetabilă

Intervalele de adâncime sunt doar orientative, deoarece capacitatea metodelor de teledetecție de a distinge ierburile marine depinde de claritatea apei, nu de adâncimea absolută. Fotografiile aeriene digitale au o sensibilitate mai mare decât pelicula obișnuită și sunt recomandate atunci când claritatea apei este redusă.



Progrese tehnologice în cartografierea ierburilor marine

1

Cloud computing

Permite procesarea unor seturi masive de date

2

Inteligență artificială

Automatizează analiza și clasificarea

3

Învățare automată

Îmbunătățește precizia și detectarea

În ultimul deceniu, progresele tehnologice în domeniul calculului au permis dezvoltarea a două elemente esențiale ale cartografierii și monitorizării actuale prin imagini satelitare și drone: platformele de cloud computing și inteligența artificială (IA), care include învățarea automată și învățarea profundă.

Această tehnologie creează baza pentru tehnici foarte scalabile, repetabile și precise, care pot facilita cartografierea și monitorizarea ierburilor marine la scări și rezoluții fără precedent.



Platforme de cloud computing

Google Earth Engine

Platformă bazată pe cloud care oferă stocare, procesare, analiză și vizualizare a datelor de observare a Pământului, utilizată cu succes pentru cartografierea Posidonia oceanica de-a lungul coastelor Greciei.

Amazon Web Services

Oferă un mediu cloud pentru stocarea și procesarea seturilor de date de observare a Pământului la scară largă.

Copernicus al Comisiei Europene

Servicii de acces la date și informații care oferă instrumente pentru analiza imaginilor satelitare în vederea monitorizării mediului.

Ultimii cinci ani au adus dezvoltarea și extinderea platformelor de cloud computing, care reprezintă o abordare fără precedent de tip „big data” în știință și management. Aceste platforme pun accent pe analize intensive de date, acces eficient la date din punct de vedere al timpului și costurilor, resurse de calcul foarte mari și vizualizare avansată.

Inteligența artificială în monitorizarea ierburilor marine

1

Învățare automată

Programe care utilizează date de intrare pentru a construi și utiliza modele predictive pentru identificarea și clasificarea ierburilor marine.

2

Învățare profundă

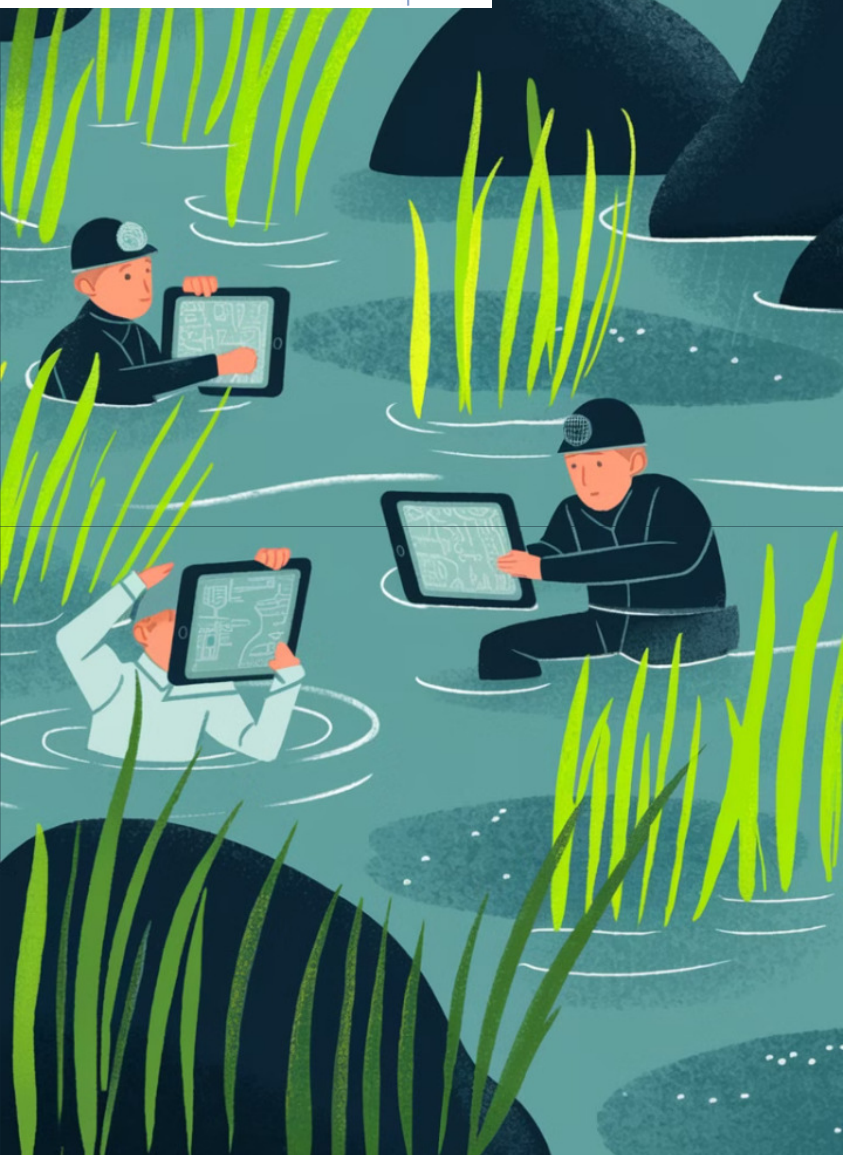
O ramură mai largă a familiei învățării automate, bazată pe rețele neuronale artificiale care imită structura și funcționarea creierului.

3

Analiză automatizată

Acești algoritmi conduc la inovații majore în monitorizarea ierburilor marine bazată pe date, în special în mediile cloud.

Tehnologiile IA ar putea avansa semnificativ monitorizarea ierburilor marine prin creșterea preciziei clasificării, automatizarea mai amplă a procesării și analizei datelor și dezvoltarea detectării automate a schimbărilor ierburilor marine în timp.



Cerințe privind datele de referință

1

Colectarea datelor de antrenare

Date de antrenare de înaltă calitate pentru calibrarea algoritmilor pot fi colectate prin campanii de teren cu GPS sau prin aplicații mobile personalizate.

2

Dezvoltarea algoritmilor

Metodele de învățare automată necesită seturi extinse de date de antrenare pentru identificarea precisă a ierburilor marine în imaginile de observare a Pământului.

3

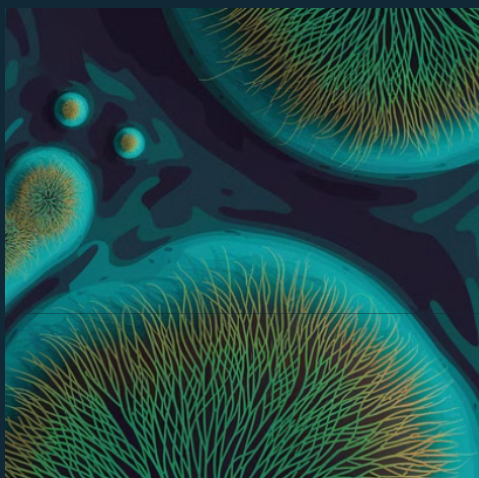
Validare

Validarea datelor sau verificarea la sol evaluează precizia și calitatea imaginii clasificate, asigurând rezultate fiabile.

Analiza datelor de observare a Pământului prin metode de învățare automată necesită date de antrenare de înaltă calitate pentru calibrarea algoritmilor. Datele de validare trebuie să fie reprezentative pentru populație, cu toate clasele eșantionate (același număr de clase ca cele utilizate pentru clasificare și datele de antrenare).

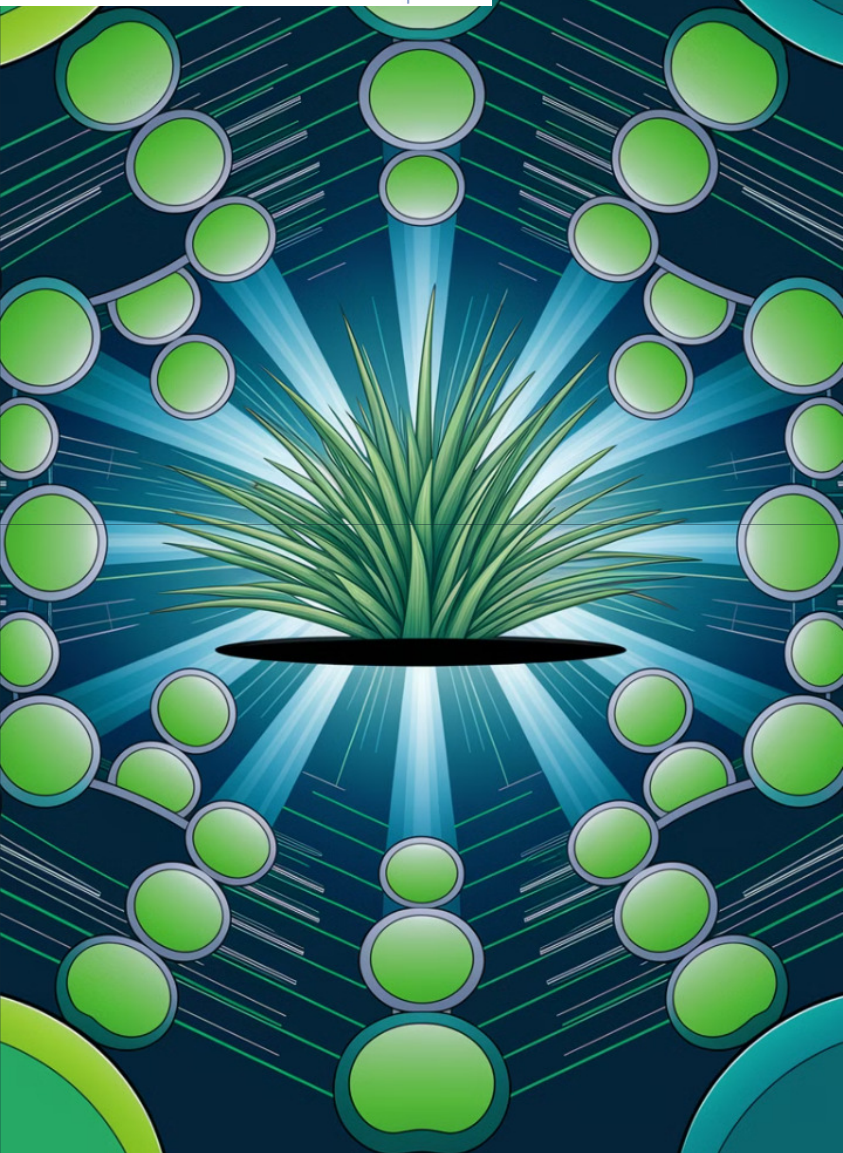


Surse de date pentru validare



Seturile de date de validare pot fi obținute din diverse surse, precum hărți și inventare existente, imagini de la sateliți sau drone de înaltă rezoluție și metode in situ (scufundări, snorkeling sau deplasare pe jos în zonele intertidale cu ierburi marine).

Imaginile georeferențiate și de înaltă rezoluție obținute de la sateliți și drone, atunci când sunt disponibile, pot fi utilizate ca hărți de bază de către utilizatori experimentați care proiectează seturi de date de antrenare sub formă de puncte sau poligoane spațiale.



Importanța metadatelor

1

Standarde de documentare

Există standarde globale și regionale, precum ISO 19115 și Directiva INSPIRE, pentru a asigura documentarea consecventă a datelor.

2

Platforme de date

Platforme precum Dynamic Ecological Information Management System (DEIMS-SDR) ajută la documentarea seturilor de date in situ disponibile.

3

Standarde biologice

Standardele de metadata utilizate frecvent pentru date biologice și ecologice includ Ecological Metadata Language (EML) și standardele Darwin Core.

Metadatale riguroase reprezintă o cerință esențială, dar adesea neglijată, pentru utilizarea viitoare a datelor colectate, conform principiului „colectează o dată, utilizează de mai multe ori”. Metadatale oferă detalii despre sursa, locația, intervalul de timp, versiunea și metodologiile utilizate pentru fiecare înregistrare, permițând comparații relevante între înregistrări.

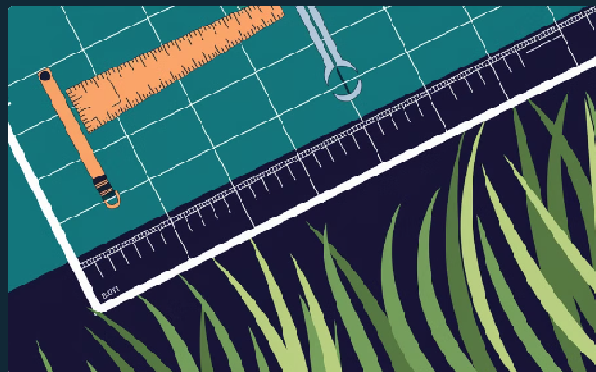


Programul global de monitorizare Seagrass-Watch



Participarea comunității

Un program global participativ de monitorizare științifică și educație bazată pe știință, înființat în 1998, care funcționează în 408 situri din 21 de țări.



Metode standardizate

Starea ierburilor marine este evaluată în 33 de cadrate (50 cm × 50 cm) în situri permanente și replicate de monitorizare (0,25–5,5 ha), stabilite în pajiști reprezentative.



Controlul calității

Pentru a asigura acuratețea datelor, evaluările sunt efectuate în principal de oameni de știință și specialiști de mediu cu experiență, în parteneriat cu comunitatea largă.

Parametrii de măsurare Seagrass-Watch

Măsurători principale

Procentul de acoperire al ierburilor marine și compoziția speciilor, înălțimea coronamentului, acoperirea cu epifite, acoperirea cu macroalge și dimensiunea granulelor de sediment.

Raportare

Rapoartele privind starea ierburilor marine sunt publicate pe site-ul programului, iar rezultatele sunt utilizate la nivel local și regional pentru sprijinirea obiectivelor de conservare.



Parametri suplimentari

În funcție de capacitatea locală: flori/fructe ale ierburilor marine, densitatea semințelor, peisajul pajiștii (fragmentare), erbivorie, concentrații de nutrienți în țesutul frunzelor, temperatură și lumină.

Frecvența evaluării

Frecvența depinde de capacitatea locală și poate fi trimestrială (la fiecare trei luni), semestrială, anuală sau ad hoc.



Rețeaua globală de monitorizare SeagrassNet



Acoperire globală Protocol standardizat

Înființată în 2001, SeagrassNet investighează și documentează starea pajiștilor de ierburi marine prin monitorizarea a 126 de situri din 33 de țări.

Fiecare zonă monitorizată are trei transecte permanente de 50 de metri, cu 12 poziții replicate de eșantionare, monitorizarea fiind realizată în principal de autorități locale și specialiști în domeniul mediului.



Parametri complecși

Parametrii biologici includ speciile, acoperirea, înălțimea coronamentului, biomasa și florile/fructele, precum și extinderea/retragerea pajiștii, măsurate împreună cu temperatura, lumina, salinitatea și caracteristicile sedimentului.



Coordonarea eforturilor globale de monitorizare a ierburilor marine

Coordonare GOOS

Sistemul Global de Observare a Oceanului (GOOS) lucrează pentru coordonarea eforturilor globale de monitorizare a ierburilor marine în contextul variabilelor oceanice esențiale (EOV).

Rezultatele SeagrassNet evidențiază schimbările ierburilor marine pe intervale de timp relevante pentru management și susțin afirmații fundamentate științific privind starea habitatelor de ierburi marine și amploarea necesității acțiunilor de management.

Scopul abordării bazate pe variabile oceanice esențiale biologice (EOV), inclusiv EOV pentru ierburi marine, este de a dezvolta comunități de practicieni la nivel global care să măsoare variabile biologice cheie într-un mod coordonat global și comparabil între regiuni.

Integrare MBON

Rețeaua de Observare a Biodiversității Marine (MBON) contribuie la integrarea monitorizării ierburilor marine cu alte observații ale biodiversității marine.

Standarde naționale

Protocolul SeagrassNet (adaptat) a fost adoptat ca standard național în Brazilia, demonstrându-și eficiența și adaptabilitatea.

Standard metodologie

Protocoloale pentru metadata

Managementul datelor

Crearea de sisteme pentru stocarea, partajarea și analizarea datelor de monitorizare a ierburilor marine pe diferite platforme și între organizații.

Pe lângă dezvoltarea parteneriatelor și a unei comunități de practicieni, această comunitate lucrează la elaborarea bunelor practici pentru monitorizare, metadata și managementul datelor. De exemplu, depozitul Ocean Best Practices (www.oceanbestpractices.net) a fost creat pentru a colecta și arhiva cele mai bune practici în cercetarea și observarea oceanului, precum și în gestionarea datelor și informațiilor.



Programe existente de monitorizare a ierburilor marine



La nivel mondial există numeroase programe de monitorizare bine stabilite, inclusiv rețelele de monitorizare Posidonia oceanica din Insulele Baleare, Catalonia și Comunitatea Valenciană (Spania), GIS-Posidonie în Franța, programul național danez de monitorizare și evaluare, programul estonian de monitorizare a mediului și Cooperative Monitoring in the Baltic Marine Environment (COMBINE).

Rețelele globale precum Seagrass Watch și SeagrassNet oferă coordonare și standardizare între aceste inițiative regionale, contribuind la o înțelegere globală mai cuprinzătoare a ecosistemelor de ierburi marine.

Date deschise privind distribuția ierburilor marine

1

Set de date privind distribuția globală

Eforturile de centralizare a datelor privind distribuția ierburilor marine au dus la dezvoltarea setului de date Global Distribution of Seagrasses.

2

Inventare regionale

Inventarele regionale sau naționale deținute de organizații interguvernamentale, guvernamentale și neguvernamentale oferă date locale detaliate.

3

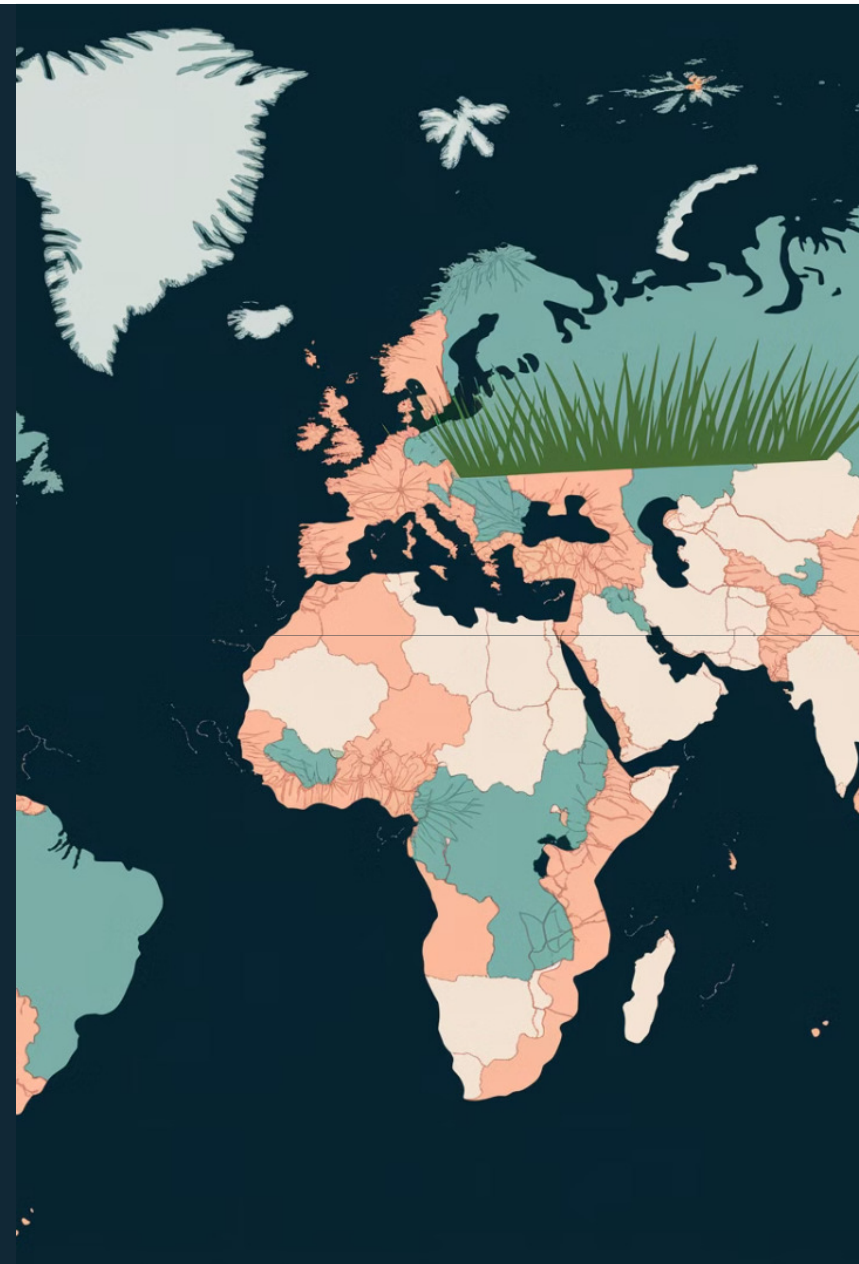
EMODnet

Harta la scară largă a habitatelor fundului mării realizată de Rețeaua Europeană de Observare și Date Marine include seturi de date EOVS lansate recent pentru ierburi marine, macroalge și corali vii.

4

GBIF și OBIS

Înregistrările punctuale individuale sunt disponibile prin Global Biodiversity Information Facility și Ocean Biogeographic Information System.





Provocări și direcții viitoare

1 Lacune de cunoaștere

Deși eforturile de îmbunătățire a înțelegerii distribuției ierburilor marine continuă, există încă lacune semnificative de cunoaștere, în special în regiunile îndepărtate sau insuficient studiate.

2 Lipsa seriilor temporale

Seriile temporale cuprinzătoare și la scară largă privind starea ierburilor marine rămân rare, limitând înțelegerea tendințelor pe termen lung.

3 Limitări tehnologice

Tehnologiile emergente întâmpină dificultăți în surprinderea diversității ierburilor marine existente la nivel global și pot fi costisitoare pentru utilizare regulată.

4 Eforturi de standardizare

IOC-UNESCO GOOS dezvoltă variabile oceanice esențiale pentru ierburile marine, pentru a contribui la standardizarea colectării datelor la nivel mondial.





Viitorul monitorizării ierburilor marine

Abordări integrate

Combinarea mai multor tehnici

Partajarea deschisă a datelor

Depozite accesibile



Tehnologii avansate

IA și cloud computing

Coordonare globală

Protocoale standardizate

Viitorul monitorizării ierburilor marine constă în integrarea mai multor abordări, de la teledetecția prin satelit la măsurători in situ, toate susținute de tehnologii avansate precum inteligența artificială și cloud computing.

Coordonarea globală prin protocoale standardizate și partajarea deschisă a datelor va fi esențială pentru construirea unei înțelegeri cuprinzătoare a ecosistemelor de ierburi marine la nivel mondial, sprijinind eforturile de conservare și deciziile de politică în contextul schimbărilor climatice și al altor presiuni antropice.

These training materials have been compiled by bringing together existing literature and general practices. While utmost care has been taken to ensure the accuracy and timeliness of the information contained within, it should be noted that relevant legislation, standards, and practices are subject to change. Therefore, the author is not responsible for any consequences arising from the use of the information presented in this material.