

Cum poate restaurarea zonelor umede de coastă să atenueze schimbările climatice? Ce știm și ce rămâne încă neclar



© Universitatea din Salento-LIFEWatch ERIC

MESAJE CHEIE

- **Restaurarea zonelor umede de coastă reprezintă o soluție bazată pe natură (NbS) cu potențial pentru atenuarea schimbărilor climatice.** Zonele umede restaurate acționează ca puțuri nete de carbon, prin creșterea stocurilor de carbon din biomasa vegetală și din soluri/sedimente, fără o creștere corespunzătoare a emisiilor de gaze cu efect de seră (GES).
- **Dovezile privind stocurile de carbon și emisiile de gaze cu efect de seră (GES) sunt inegale între diferite locații și tipuri de zone umede.** Majoritatea datelor existente provin din regiuni tropicale și subtropicale; Europa temperată este foarte puțin studiată. Zonele umede de apă dulce și apele de tranziție sunt frecvent întâlnite în Europa, însă sunt insuficient reprezentate în furnizarea de dovezi empirice privind efectele restaurării asupra stocării carbonului și fluxurilor de gaze cu efect de seră (GES). Monitorizarea direcționată la nivel european poate reduce aceste lacune.
- **Multe studii se concentrează asupra stocurilor de carbon, dar nu și asupra emisiilor de gaze cu efect de seră (GES).** Fluxurile nete de gaze cu efect de seră (GES) sunt parametri importanți pentru înțelegerea și cuantificarea eficienței a beneficiilor acțiunilor de restaurare, însă există puține studii de bilanț de masă. Prioritizarea măsurătorilor fluxurilor de gaze cu efect de seră (GES) este importantă pentru a acoperi lacunele de dovezi și pentru a orienta finanțarea către acțiunile de restaurare.
- **Raportarea datelor privind fluxurile de gaze cu efect de seră (GES) nu este standardizată.** Datele existente, în special cele privind fluxurile de gaze cu efect de seră (GES), nu sunt standardizate, iar rezultatele nu sunt, prin urmare, comparabile. Este necesară o monitorizare, raportare și verificare standardizate, similare celor prevăzute pentru raportarea în cadrul Directivei-cadru privind apa (DCA), pentru a permite extinderea acestor valori de la nivel local la nivelul Uniunii Europene.

Introducere

Printre serviciile ecosistemice furnizate de zonele umede de coastă, capacitatea acestora de a capta și stoca carbonul în soluri/sedimente pe perioade îndelungate a atras o atenție deosebită. Acest potențial de stocare a carbonului pe termen lung poziționează în prezent protecția și restaurarea zonelor umede de coastă ca unele dintre componentele-cheie ale opțiunilor de atenuare a schimbărilor climatice, atât la nivelul Uniunii Europene, cât și la nivel global.

Ce sunt zonele umede de coastă?

Zonele umede de coastă sunt ecosisteme situate la interfața dintre uscat și mare, caracterizate prin inundare periodică sau permanentă cu apă sărată, salmastră sau dulce. Acestea susțin vegetație hidrofită sau submersă și includ habitate precum mlaștini sărate, pajiști de ierburi marine, suprafețe intertidale și mangrove. În conformitate cu Convenția Ramsar, zonele umede includ suprafețe de mlaștină, mlaștină minerotrofă (fen), turbărie sau ape - naturale sau artificiale - cu ape stătătoare sau curgătoare, dulci, salmastre sau sărate, inclusiv zone marine de coastă cu adâncimi mai mici de șase metri la reflux. Aceste ecosisteme furnizează

servicii esențiale, precum susținerea biodiversității, protecția țărmurilor și stocarea carbonului, însă cartografierea extinderii lor complete rămâne dificilă, ceea ce conduce adesea la subestimarea acoperirii lor la nivel global.

Care sunt căile carbonului în zonele umede de coastă?

Zonele umede de coastă acționează ca puțuri de carbon, stocând carbonul în biomasa vegetală și în soluri/sedimente prin procese cunoscute în mod colectiv sub denumirea de căi ale „carbonului albastru” (Figura 1). Fotosinteza captează CO_2 atmosferic, care este apoi stocat în vegetație și sedimente. Condițiile saturate cu apă, anoxice, încetinesc descompunerea, permițând acumularea carbonului pe parcursul a secole. Procesele microbiene, precum metanogeneza, au loc în condiții cu conținut scăzut de oxigen, producând metan (CH_4), deși acest proces este adesea inhibat în mediile saline. Degradarea zonelor umede, în special cea mediată de creșterea materiei organice, conduce la scăderea potențialului redox în sedimente și are ca rezultat creșterea emisiilor de CH_4 . Restaurarea zonelor umede degradate poate reactiva căile carbonului albastru, poate spori stocarea carbonului și poate contribui la atenuarea schimbărilor climatice.

Ce sunt fluxurile de gaze cu efect de seră (GES) în zonele umede de coastă?

Fluxurile de gaze cu efect de seră (GES) în zonele umede de coastă implică schimburi de CO_2 , CH_4 și N_2O între solurile, apele și vegetația zonelor umede și atmosferă (Figura 1). Deși aceste ecosisteme acționează ca puțuri puternice de carbon, ele pot emite, de asemenea, metan și protoxid de azot, în special în condiții de apă dulce sau bogate în nutrienți. Restaurarea îmbunătățește, în general, stocarea carbonului, dar nu asigură întotdeauna reducerea emisiilor de CH_4 sau N_2O , evidențiind complexitatea fluxurilor nete de gaze cu efect de seră (GES). Prin urmare, măsurătorile și raportarea precise sunt esențiale pentru fundamentarea acțiunilor climatice.

Întrebarea-cheie de politică este dacă restaurarea îmbunătățește într-adevăr bilanțul net al gazelor cu efect de seră (GES) în zonele umede de coastă, și nu doar în modele teoretice. În cadrul RESTORE4Cs, am sintetizat studii evaluate inter pares¹ care compară zonele umede de coastă degradate și restaurate, pentru a evalua la nivel global potențialul acestora de atenuare a schimbărilor climatice.

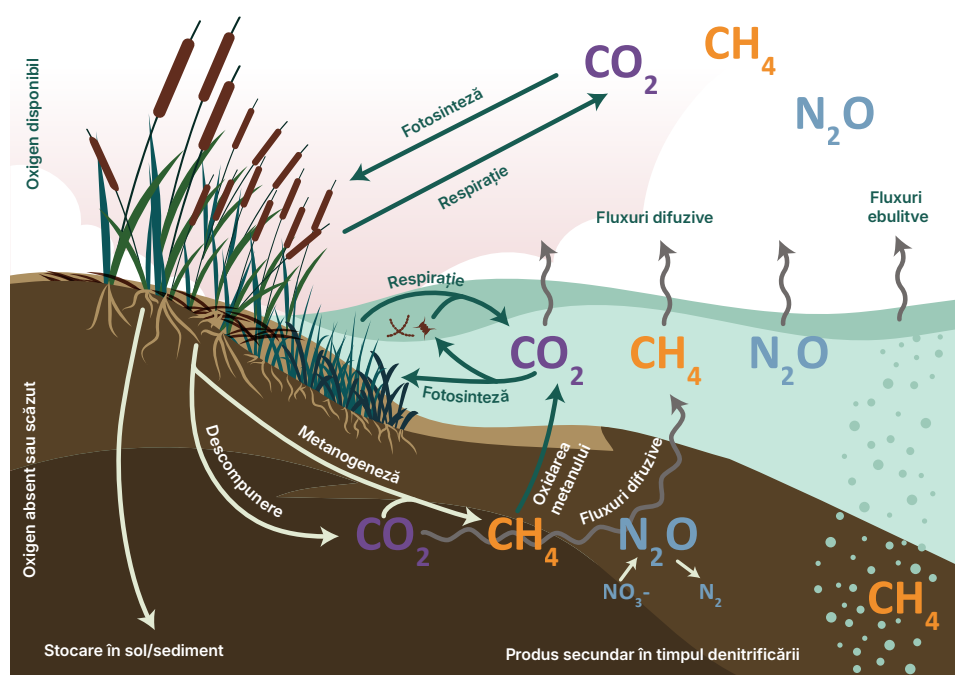


Figura 1. Prezentare schematică a fluxurilor de carbon și a căilor gazelor cu efect de seră (GES) în zonele umede de coastă. © Universitatea din Salento-LIFEWatch ERIC

Lecții desprinse dintr-o analiză sistematică a cunoștințelor privind restaurarea zonelor umede de coastă

Restaurarea zonelor umede de coastă reprezintă o soluție bazată pe natură cu potențial pentru atenuarea schimbărilor climatice

Restaurarea zonelor umede de coastă crește cantitatea de carbon stocat atât în biomasa vegetală aeriană și subterană, cât și în soluri sau sedimente mareice. Emisiile raportate de CO_2 , CH_4 și N_2O nu prezintă o modificare consecventă după restaurare, așa cum este frecvent observat în cazul altor tipuri de zone umede. Pe baza cunoștințelor științifice actuale, putem concluziona, așadar, că, în general, restaurarea reprezintă un instrument cu potențial pentru atenuarea schimbărilor climatice (Figura 2).

Dovezile actuale privind fluxurile de gaze cu efect de seră (GES) sunt limitate și inegale

Dovezile existente privind fluxurile nete de gaze cu efect de seră (GES), care reprezintă balanța dintre emisii și stocare, sunt limitate și inconsistente în cazul zonelor umede de coastă. Acest lucru face dificilă evaluarea completă a beneficiilor climatice ale eforturilor de restaurare în Europa. Majoritatea studiilor disponibile provin din regiuni tropicale, în timp ce zonele de coastă temperate ale Europei, în special zonele umede de apă dulce și salmastră, frecvente pe întreg continentul, sunt încă insuficient studiate. Cercetarea se concentrează în principal asupra stocurilor de carbon, existând mult mai puține studii care măsoară fluxurile de gaze cu efect de seră (GES), deși aceste fluxuri determină dacă restaurarea conduce la beneficii climatice nete.

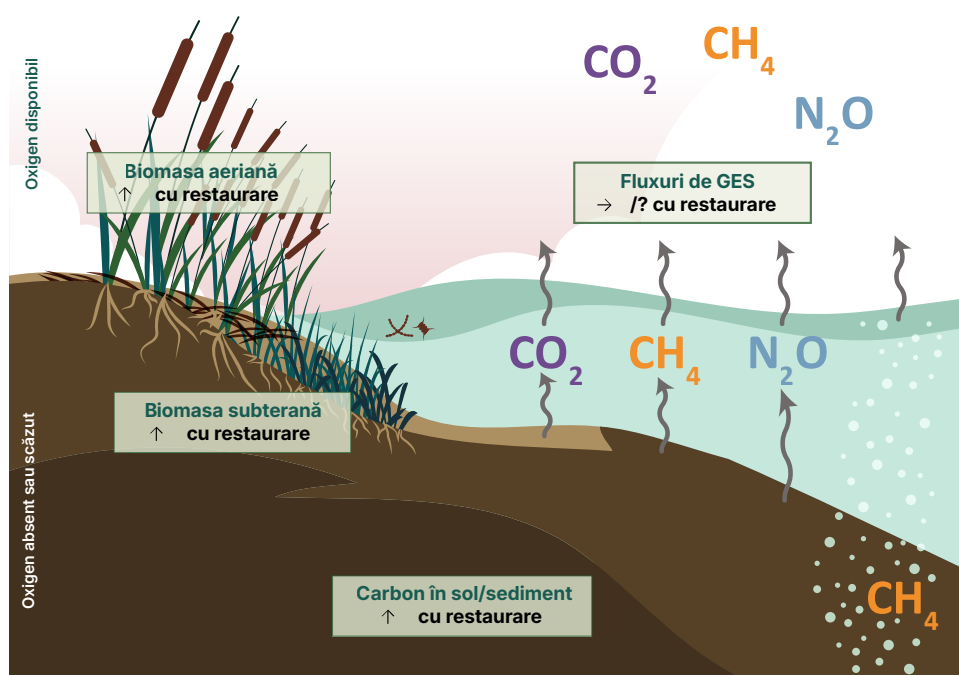


Figura 2: Prezentare generală a stocurilor de carbon și a fluxurilor de gaze cu efect de seră (GES) analizate în sinteza noastră de literatură, incluzând principalele rezultate. © Universitatea din Salento-LIFEWatch ERIC



Delta Dunării, România © Universitatea din Salento-LIFEWatch ERIC

Exemple relevante de pe coastele europene, în special din zonele umede mediteraneene²⁻⁵, arată că managementul hidrologic și starea de conservare influențează în mod semnificativ fluxurile nete de carbon și emisiile de gaze cu efect de seră (GES). Aceste studii indică în mod consecvent că restaurarea sau practicile de management adaptiv tind să sporească reducerea netă a emisiilor, metanul având un rol deosebit datorită sensibilității sale ridicate la factori de mediu, precum salinitatea și temperatura⁴. De asemenea, acestea evidențiază faptul că managementul adaptiv va fi eficient doar dacă regimul hidrologic și structura ecosistemului sunt menținute. Deși acest aspect necesită confirmări empirice suplimentare, el ar trebui să servească deja drept principiu director pentru planificarea și implementarea acțiunilor de restaurare. În detaliu, aceste studii arată că un management hidrologic adecvat și o stare generală bună a ecosistemului sunt esențiale pentru reducerea emisiilor, în special a metanului, care este extrem de sensibil la schimbările de mediu.

Lipsesc monitorizarea și raportarea standardizate ale rezultatelor restaurării

Sinteza noastră de literatură a evidențiat faptul că rezultatele restaurării sunt raportate într-un mod puternic inconsistent și incomplet, ceea ce limi-

tează sever orice sinteză cantitativă. Multe studii nu dispun de protocoale de monitorizare standardizate, de valori de referință anterioare restaurării sau de situri de control comparabile. Detalii metodologice esențiale - precum momentul și numărul măsurărilor, contextul de mediu și acțiunile specifice de restaurare - lipsesc adesea. Datele privind stocurile de carbon din sol și biomasă, precum și cele referitoare la fluxurile de CO₂, CH₄ și N₂O, lipsesc frecvent sau sunt colectate prin abordări necomparabile, ceea ce face dificilă evaluarea beneficiilor climatice la scară continentală sau globală.

Proiectul RESTORE4Cs demonstrează modul în care poate fi asigurată coerența metodologică între situri, aspect esențial pentru colectarea unor date fiabile. Prin armonizarea în prealabil a protocoalelor de eșantionare și a procedurilor de laborator, proiectul minimizează variabilitatea și consolidează comparabilitatea rezultatelor. Această abordare standardizată stă la baza integrării indicatorilor ecologici, a datelor privind utilizarea terenurilor și a variabilelor climatice în modele spațiale explicite, permițând evaluarea presiunilor și a potențialului de atenuare în diferite tipuri de zone umede. Un astfel de nivel de rigoare nu doar că sporește validitatea științifică, ci asigură și faptul că rezultatele restaurării pot fi extinse la scară largă și sunt relevante pentru elaborarea politicilor.

Relevanța restaurării zonelor umede de coastă și a cunoștințelor privind stocarea carbonului și fluxurile de GES pentru legislație, cadre strategice și procese conexe

Importanța restaurării zonelor umede de coastă pentru stocarea carbonului și atenuarea emisiilor de gaze cu efect de seră (GES) este deja recunoscută în politicile și procesele Uniunii Europene și la nivel global. Concluziile desprinse din această analiză a cunoștințelor existente pot contribui la îmbunătățirea implementării acestora. Acestea includ în special:

- **Acordul de la Paris și NDC.** Zonele umede de coastă restaurate pot funcționa ca puțuri nete de carbon și pot fi recunoscute drept măsuri de atenuare bazate pe natură în cadrul Contribuțiilor Naționale Determinate (NDC) ale UE, cu contabilizarea explicită a carbonului din biomasă și soluri, susținută de sisteme adecvate de măsurare, raportare și verificare (MRV).
- **Convenția Ramsar privind zonele umede.** Multe zone umede de coastă sunt situri Ramsar; restaurarea acestora contribuie la conservarea habitatelor, reglarea regimului hidrologic și atingerea obiectivelor de atenuare a schimbărilor climatice.
- **Legislația UE privind clima.** Obiectivul obligatoriu de neutralitate climatică pentru 2050 și ținta de reducere pentru 2030 recunosc restaurarea ecosistemelor - inclusiv a zonelor umede de coastă - ca factori care contribuie la puțurile de carbon ale Uniunii Europene.
- **Regulamentul UE LULUCF (2023-2030).** Zonele umede de coastă restaurate pot consolida puțurile de carbon din sectorul utilizării terenurilor la nivel național și pot sprijini atingerea țintei de absorbție stabilite la nivelul Uniunii Europene.

- **Regulamentul UE privind restaurarea naturii și Strategia UE pentru biodiversitate 2030** Țintele de restaurare pentru mlaștini sărate, pajiști de ierburi marine și alte ecosisteme de coastă sprijină atât consolidarea puțurilor de carbon, cât și obiectivele de biodiversitate.
- **Deceniul ONU pentru Restaurarea Ecosistemelor și Deceniul ONU pentru Ocean** Ambele inițiative acordă prioritate extinderii restaurării zonelor umede de coastă - inclusiv a mlaștinilor sărate și a mangrovelor - ca soluții bazate pe natură esențiale pentru acțiunea climatică, reziliența zonelor de coastă și progresul către Obiectivele de Dezvoltare Durabilă (ODD). Proiectele derulate în aceste habitate pot servi drept exemple de bună practică, demonstrând stocarea măsurabilă a carbonului alături de co-beneficii ecologice, monitorizate prin utilizarea combinată a indicatorilor de carbon și ecologici.
- **Piețele și finanțarea carbonului.** Cadrul de creditare a carbonului albastru se extinde pentru a include zonele umede de coastă, solicitând ca proiectele să demonstreze caracterul suplimentar (additionality), permanența și absența efectelor de transfer (leakage). Standardele sunt tot mai aliniate cu normele UE, precum Regulamentul privind agricultura carbonului și eliminarea carbonului (CRCF) și cadrele actualizate de finanțare durabilă (2025), consolidând măsurarea, raportarea și verificarea (MRV) și direcționând capitalul către rezultate climatice cu integritate ridicată - deschizând astfel noi fluxuri de finanțare pentru restaurare.
- **Inventare și modele naționale de gaze cu efect de seră (GES)** Inventarele naționale de gaze cu efect de seră (GES) și modelele sistemului Pământului ar trebui să distingă zonele umede restaurate de cele degradate, întrucât sistemele restaurate stochează mai mult carbon în biomasă și soluri și emit cantități minime de metan. Reflectarea acestor diferențe îmbunătățește acuratețea raportării la nivel național și surprinde pe deplin valoarea de atenuare a restaurării.



Delta sud-vestică a Olandei, Olanda
© Universitatea din Salento-LIFEWatch ERIC

Integrarea restaurării zonelor umede de coastă în politica climatică a UE și în contabilizarea carbonului: recomandări de politică

Pe baza cunoștințelor generate de proiectul RESTORE4Cs, există oportunitatea de a promova restaurarea zonelor umede de coastă și de a le consolida rolul în stocarea carbonului și reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră (GES) în cadrul politicilor existente. Cu toate acestea, serviciul de atenuare a schimbărilor climatice oferit de aceste ecosisteme nu poate compensa emisiile globale de gaze cu efect de seră, astfel încât decarbonizarea profundă a economiei globale rămâne esențială. În aceste condiții, rolul ecosistemelor și, în special, al zonelor umede de coastă în atenuarea schimbărilor climatice poate fi consolidat prin următoarele acțiuni de politică:

- **Garantarea calității și credibilității datelor** prin proceduri de asigurare a calității, evaluarea incertitudinilor și verificare independentă, pentru a sprijini raportarea la nivel național și la nivelul Uniunii Europene.

Se pot trage învățăminte din procesul care a stat la baza Protocol Handbook for NICE – Nitrogen Cycling in Estuaries⁶, utilizat pentru standardizarea studiilor privind eutrofizarea în estuare și pentru sprijinirea implementării Directivei-cadru privind apa (DCA) în apele de tranziție.

Acțiunea 1

Instituirea unui sistem armonizat de măsurare, raportare și verificare (MRV), bazat pe date deschise (principiile FAIR).

Un cadru MRV unificat este esențial pentru o contabilizare climatică credibilă și comparabilă la nivelul Uniunii Europene. O armonizare similară a fost realizată anterior în domeniul eutrofizării, de exemplu prin Protocol Handbook for NICE – Nitrogen Cycling in Estuaries⁶, care, în cadrul programului UE MAST III din anul 2000, a furnizat metode standardizate de eșantionare, analiză și calcul pentru fluxurile de azot în estuare. Acest lucru necesită mai mulți pași:

- **Adoptarea unor protocoale standardizate**, aliniate orientărilor Panelului Interguvernamental privind Schimbările Climatice (IPCC), pentru măsurarea principalelor rezerve de carbon și a fluxurilor de gaze cu efect de seră (GES) (carbon din sol, biomasă, fluxuri de CO₂, CH₄ și N₂O).
- **Includerea măsurătorilor de referință** înainte de restaurare și asigurarea unei monitorizări regulate, pe termen lung, pentru a urmări evoluțiile în timp.
- **Raportarea rezultatelor cu comparații de referință**, prin prezentarea acestora alături de situri degradate și naturale comparabile.
- **Asigurarea unor date deschise și interoperabile**, prin publicarea metodelor, rezultatelor și informațiilor geospațiale în depozite accesibile, compatibile cu sistemele naționale de inventariere.

Acțiunea 2

Alinierea țințelor privind carbonul și a contabilizării carbonului cu cadrele de politici climatice.

Eforturile de restaurare ar trebui să fie ghidate de ținte clare, măsurabile și aliniate politicilor, în concordanță cu politicile climatice. Aceasta implică mai multe elemente-cheie:

- **Definirea unor ținte de carbon măsurabile**, inclusiv creșteri ale carbonului stocat în biomasă și soluri și praguri pentru emisiile acceptabile de CH₄ și N₂O, contabilizate ca echivalenți CO₂.
- **Alinierea țințelor de restaurare cu instrumentele de politică existente la nivelul UE și național**, inclusiv Contribuțiile Naționale Determinate ale UE (NDC), Legea europeană a climei, Regulamentul UE privind utilizarea terenurilor, schimbarea utilizării terenurilor și silvicultura (LULUCF) și Regulamentul UE privind restaurarea naturii.
- **Stabilirea unor valori de referință coerente pentru stările degradate**, pentru a asigura comparabilitatea între situri și între statele membre.
- **Aplicarea unor orizonturi temporale realiste pentru refacerea ecologică**, care să reflecte timpul necesar stabilizării ecosistemelor și obținerii unor beneficii climatice măsurabile, având în vedere că majoritatea zonelor umede de coastă sunt sisteme socio-ecologice.
- **Sprijinirea integrării în inventarele naționale de gaze cu efect de seră (GES)** prin asigurarea

faptului că țintele, valorile de referință și orienturile temporale sunt compatibile cu cerințele de raportare.

Acțiunea 3

Facilitarea accesului la finanțare din carbon prin scheme credibile de creditare a carbonului albastru.

Restaurarea zonelor umede de coastă poate genera finanțare din carbon prin piețe voluntare și piețe de conformare ale carbonului. Asigurarea credibilității și maximizarea impactului necesită mai multe acțiuni-cheie:

- **Stabilirea unor criterii clare de eligibilitate** pentru proiectele de carbon:
 - Demonstrarea caracterului suplimentar (additionality), a stocării pe termen lung a carbonului (permanență) și a efectelor minime de transfer (leakage).
 - Evitarea impactului negativ asupra mediului și biodiversității.
 - Utilizarea unor valori de referință conservatoare și a metodologiilor aliniate IPCC.
 - Aplicarea standardelor recunoscute, acolo unde acestea sunt disponibile, și elaborarea unor orientări specifice la nivelul UE pentru a facilita adoptarea acestora.
 - Luarea în considerare a efectelor climatice în funcție de potențialul radiativ al diferitelor gaze cu efect de seră, contabilizate ca echivalenți CO₂.
- **Dezvoltarea capacității locale** pentru a naviga procesele de creditare a carbonului:
 - Sprijinirea proiectării sistemelor de măsurare, raportare și verificare (MRV).
 - Asistență pentru procesele de certificare și accesul la piețe.
- **Reducerea costurilor de tranzacție și extinderea participării:**
 - Implementarea unor mecanisme preaprobate de finanțare și creditare.
 - Acolo unde este fezabil, corelarea generării creditelor de carbon cu inventarele naționale de gaze cu efect de seră (GES), prevenind în același timp dubla contabilizare.
- **Adoptarea unor cadre de management adaptiv:**
 - Alinierea practicilor de restaurare cu dinamica regimului hidrologic, a vegetației și a proceselor de carbon.
 - Dovezile provenite din proiecte europene (de exemplu, LIFE Wetlands4Climate) arată că gestionarea regimurilor hidrologice, a solurilor și a vegetației este esențială pentru menținerea potențialului de atenuare.
- **Maximizarea co-beneficiilor:**
 - Dincolo de carbon, zonele umede restaurate oferă îmbunătățirea biodiversității, reglarea inundațiilor și reținerea nutrienților, consolidând reziliența generală a ecosistemelor.



Camargue, Franța © Universitatea din Salento-LIFEWatch ERIC

Referințe

1. Misteli, B., Morant, D., Camacho, A., Adamo, M., Bachi, G., Bègue, N., Bučas, M., Cabrera-Brufau, M., Carballeira, R., Cavalcante, L., Cazacu, C., Coelho, J. P., Doebke, C., Dinu, V., Guel-mami, A., Giuca, R., Kataržytė, M., Lillebø, A. I., ... Attermeyer, K. (2025). Coastal wetland restoration and greenhouse gas pathways: A global meta-analysis. EarthArXiv preprint. <https://doi.org/10.31223/X51B39>
2. Morant, D., Picazo, A., Rochera, C., Santamans, A. C., Miralles-Lorenzo, J., & Camacho, A. (2020). Carbon metabolic rates and GHG emissions in different wetland types of the Ebro Delta. *PLOS ONE*, 15(4), e0231713. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231713>
3. Morant, D., Rochera, C., Picazo, A., Miralles-Lorenzo, J., Camacho-Santamans, A., & Camacho, A. (2024). Ecological status and type of alteration determine the C-balance and climate change mitigation capacity of Mediterranean inland saline shallow lakes. *Scientific Reports*, 14, 29065. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-79578-7>
4. Rochera, C., Picazo, A., Morant, D., Miralles-Lorenzo, J., Sánchez-Ortega, V., & Camacho, A. (2025). Linking carbon fluxes to flooding gradients in sediments of Mediterranean wetlands. *ACS ES&T Water*. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.4c00940>
5. Camacho, A., Picazo, A., Rochera, C., Santamans, A. C., Morant, D., Miralles-Lorenzo, J., & Castillo-Escrivà, A. (2017). Methane emissions in Spanish saline lakes: Current rates, temperature and salinity responses, and evolution under different climate change scenarios. *Water*, 9(9), 659. <https://doi.org/10.3390/w9090659>
6. Dalsgaard, T. (Ed.), Nielsen, L. P., Brotas, V., Viaroli, P., Underwood, G., Nedwell, D. B., Sundbäck, K., Rysgaard, S., Miles, A., Bartoli, M., Dong, L., Thornton, D. C. O., Ottosen, L. D. M., Castaldelli, G., & Risgaard-Petersen, N. (2000). *Protocol handbook for NICE – nitrogen cycling in estuaries: A project under the EU research programme Marine Science and Technology (MAST III)*. Silkeborg, Denmark: National Environmental Research Institute.

RESTORE4Cs este un proiect Horizon Europe care își propune să evalueze efectele acțiunilor de restaurare asupra capacității zonelor umede de a atenua schimbările climatice și de a oferi o gamă largă de servicii ecosistemice, utilizând o abordare integrată sistemică din perspectiva socio-ecologică. Mai multe informații sunt disponibile la: <https://www.restore4cs.eu/>

Autori: Misteli, B.¹, Attermeyer, K.^{1,2}, Rochera, C.³, Lillebø, A.I.⁴, Camacho, A.³

Evaluatori: Elkina, E.⁵, Štrbenac, A.⁶, Suárez, S.⁶

¹ WasserCluster Lunz, Austria; ² University of Vienna, Austria; ³ University of Valencia, Spain; ⁴ University of Aveiro, Portugal

⁵ Ecologic Institute, Germany; ⁶ MedWet, Franța

Citare: B: Misteli, B., Attermeyer, K., Rochera, C., Lillebø, A.I., Camacho, A. 2025. Cum poate restaurarea zonelor umede de coastă să atenueze schimbările climatice? Ce știm și ce rămâne încă neclar. Sinteză de politici. *Proiectul RESTORE4Cs*.



PARTENERI

