

RIDUZIONE DELL'INQUINAMENTO CHIMICO TRAMITE TRATTAMENTI IDRICI INNOVATIVI ISPIRATI DALLA NATURA



RHE-MEDIation

Il progetto RHE-MEDIation¹, finanziato dal programma Horizon Europe dell'Unione europea, è un progetto triennale (2023-2026), coordinato da RINA Consulting SpA, che mira a ridurre l'inquinamento chimico presente nel Mar Mediterraneo mediante la sperimentazione e la convalida di una tecnologia di bonifica innovativa: i fotobioreattori a base di microalghe. I fotobioreattori sono stati integrati nei sistemi esistenti di trattamento delle acque/acque reflue per migliorare la rimozione di nutrienti, metalli pesanti e sostanze chimiche persistenti. Il sistema include anche sistemi di rilevamento mobili e fissi per identificare e misurare le sostanze chimiche presenti nelle acque dolci, reflue e marine. I dati provenienti da questi sensori vengono poi caricati sul portale dati della Rete europea di osservazione e dati marini (EMODnet) per contribuire al Digital Twin of the Ocean.

Il presente documento illustra i principali risultati rilevanti dal punto di vista strategico del progetto RHE-MEDIation.

Organizzazioni partner progetto RHE-MEDIation

Il partenariato del progetto RHE-MEDIation è composto da 11 partner che rappresentano grandi imprese, università, organismi di ricerca, PMI, società di gestione delle risorse idriche e delle acque reflue, nonché l'European Marine Board.



Ridurre l'inquinamento chimico nel Mar Mediterraneo

Il Mar Mediterraneo è un bacino semi-chiuso (Figura 1), con circa 250 milioni di abitanti nelle zone costiere, che ospita ogni anno un terzo dei turisti mondiali (360 milioni nel 2024²). Questa regione è inoltre caratterizzata da un'intensa attività agricola e industriale e da un traffico marittimo molto intenso. La sua conformazione geografica e oceanografica unica nel suo genere intrappola gli inquinanti che, sommati all'alta densità di popolazione, all'industria pesante e alla gestione dei rifiuti, talvolta inefficiente, causano un **significativo inquinamento marino**. Gli inquinanti provengono da fonti terrestri, attraverso punti di scarico e discariche, dal deflusso fluviale superficiale e dalla sedimentazione atmosferica. Altri inquinanti derivano direttamente dalle attività marine come il trasporto marittimo, l'estrazione mineraria e l'esplorazione di petrolio e gas (UNEP/MAP e Plan Bleu, 2020).

Per prevenire ed eliminare l'inquinamento nel Mar Mediterraneo, l'Unione Europea (UE) ha lanciato il progetto "Mediterranean Lighthouse" nell'ambito della **missione UE "Restore our Ocean and Waters by 2030"**³. Il progetto pilota Mission Ocean "Lighthouses" mira a mettere in atto, sviluppare e implementare iniziative nei mari e nei bacini fluviali dell'UE per favorire la realizzazione, l'impegno regionale e la cooperazione. Il progetto RHE-MEDIation sostiene il "Mediterranean Lighthouse" nella prevenzione, nel contenimento e nel controllo dell'inquinamento, nonché nell'eliminazione e nel risanamento dei siti inquinati nel Mar Mediterraneo.

¹ <https://rhemediation.eu/>

² IUCN, IATUR, IDDRI ed eco-union. (2025). Turismo blu sostenibile nel Mediterraneo: tendenze, sfide e percorsi politici. Iniziativa per il Turismo Blu. Centro IUCN per la Cooperazione nel Mediterraneo, Malaga, Spagna. <https://bluetourisminitiative.org/main-publications/sustainable-blue-tourism-in-the-mediterranean-trends-challenges-and-policy-pathways/>

³ https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/eu-missions-horizon-europe/restore-our-ocean-and-waters_en

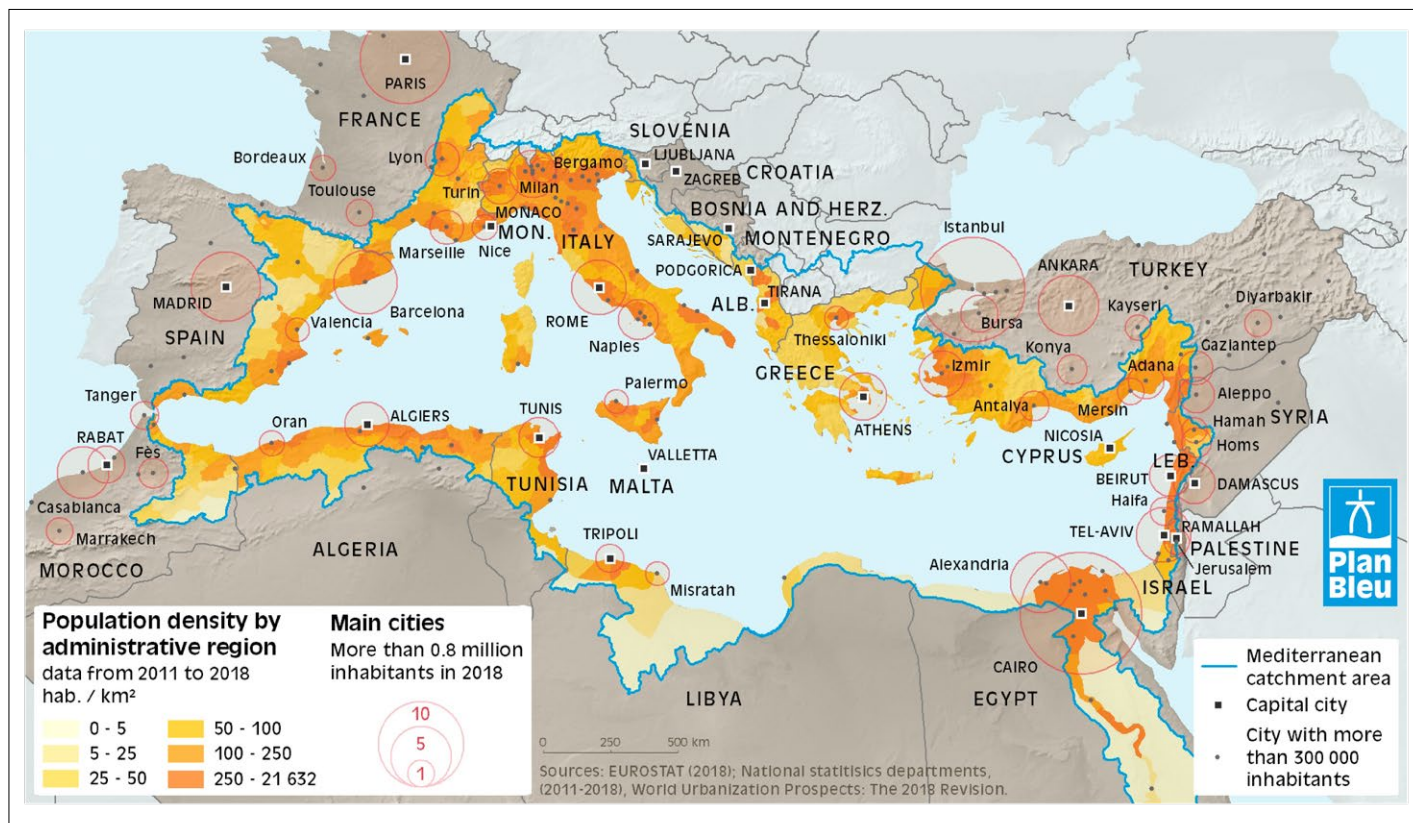


Figura 1: Densità demografica per regione amministrativa e per principali città nel bacino idrografico del Mediterraneo. (Fonte: EUROSTAT, 2018; Dipartimento nazionale di statistica, 2011-2018; UNDESA, Prospettive di urbanizzazione mondiale: revisione 2018).

Nell'ambito della **Convenzione di Barcellona**⁴, l'UE e le altre parti contraenti si sono impegnate ad adottare misure adeguate per prevenire, ridurre, contrastare ed eliminare il più possibile l'inquinamento nel Mar Mediterraneo. Il suo Protocollo per la protezione del Mar Mediterraneo dall'inquinamento da fonti e attività terrestri traduce questi impegni in obiettivi specifici volti a ridurre e, gradualmente, eliminare le sostanze tossiche, persistenti e soggette a bioaccumulo, quali gli inquinanti organici persistenti (POP – Persistent Organic Pollutants), i rifiuti marini e il mercurio.

Nell'UE questi obiettivi sono attuati mediante una serie di norme vincolanti volte a ridurre l'inquinamento degli ecosistemi marini e d'acqua dolce. La **direttiva quadro sulle acque** (WFD – Water Framework Directive)⁵ evidenzia le azioni necessarie per prevenire l'eutrofizzazione causata dai nutrienti, eliminare e/o ridurre al minimo l'impatto dei microinquinanti e delle sostanze chimiche persistenti e mantenere buone condizioni ecologiche e chimiche delle acque europee. La **direttiva quadro sulla strategia per l'ambiente marino** (MSFD – Marine Strategy Framework Directive)⁶ fornisce soglie e criteri di valutazione per monitorare l'ambiente marino, tra cui quelli volti a garantire che i metalli pesanti,

gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), i policlorobifenili (PCB) e i pesticidi non incidano sul buono stato ambientale (GES – Good Environmental Status) delle acque marine europee. La **strategia europea per la resilienza idrica 2025** (European Water Resilience Strategy) delinea le azioni da intraprendere per raggiungere tre obiettivi chiave volti a ripristinare e proteggere il ciclo dell'acqua, dalla sorgente al mare:

- 1) costruire un'economia resiliente dal punto di vista idrico per aumentare la competitività,
- 2) attrarre investimenti e promuovere l'industria idrica dell'UE e
- 3) garantire acqua pulita e servizi igienico-sanitari accessibili a tutti.

Contemporaneamente, l'UE promuove un approccio circolare al trattamento delle acque e dei rifiuti: il **regolamento sul riutilizzo delle acque** (Water Reuse Regulation)⁷ incentiva l'uso di acqua riciclata per l'irrigazione delle colture e per attività industriali rilevanti, riducendo al contempo l'uso di fertilizzanti sintetici e la domanda di acqua dolce. La **direttiva aggiornata sul trattamento delle acque reflue urbane** (UWWTD – Urban Wastewater Treatment Directive)⁸ rafforza i requisiti in materia di monitoraggio, rendicontazione e riduzione

⁴ <https://www.unep.org/unepmap/who-we-are/barcelona-convention-and-protocols>

⁵ Direttiva 2000/60/EC <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/60>

⁶ Direttiva 2008/56/EC <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/56>

⁷ Regolamento (EU) 2020/741 <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/741>

⁸ Direttiva 2024/3019 <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/3019>

dell'inquinamento alla fonte. Essa richiede un trattamento terziario⁹ per la rimozione dei nutrienti al fine di evitare l'eutrofizzazione e la riduzione dei microinquinanti con un trattamento quaternario. Richiede inoltre che gli impianti di trattamento raccolgano e trattino le acque reflue in tutte le aree urbane con più di 1,000 abitanti entro il 2035, siano energeticamente neutrali e riducano le emissioni di gas a effetto serra entro il 2045. Incoraggia inoltre il riutilizzo dell'acqua depurata nelle regioni soggette a stress idrico, come il Mar Mediterraneo.

Queste politiche e normative stabiliscono numerosi **requisiti per il trattamento delle acque. Inoltre, sono necessari aggiornamenti periodici per consentire soluzioni personalizzate e a lungo termine**, in particolare per conformarsi ai requisiti più severi previsti dalla revisione della direttiva UWWTD. Ciò è particolarmente rilevante se si considera che circa l'80% degli ecosistemi marini europei valutati è risultato alterato da sostanze inquinanti (EEA, 2019).

La **sfida della gestione dell'inquinamento idrico nel Mar Mediterraneo** non deriva dalla mancanza di conoscenze scientifiche o di quadri politico-normativi, **ma da una loro applicazione e attuazione disomogenea**, aggravata dalle ampie disparità di capacità economica tra i paesi dell'area

L'approccio RHE-MEDiation

Molti impianti di trattamento delle acque reflue non sono ancora in grado di raggiungere gli obiettivi crescenti di riduzione dell'inquinamento, e i **quadri normativi dell'UE in materia di acque reflue e protezione delle acque non riconoscono né incentivano ancora l'impiego di tecnologie di trattamento innovative e basate sulla natura, come i fotobioreattori a microalghe**. I fotobioreattori possono ridurre l'azoto e il fosforo, prevenire l'eutrofizzazione e contribuire alla buona qualità dell'acqua, ma non sono ancora stati sufficientemente testati in campo (Sarker & Kaparaju, 2023), in particolare per quanto riguarda la riduzione di PFAS, PCB, IPA e metalli. Sono state condotte solo ricerche limitate su farmaci come l'ibuprofene e il diclofenac (antinfiammatori) e sulla carbamazepina (anticonvulsivante) (García-Galán et al., 2021) e su pesticidi come il propanil e l'acetamiprid (Avila et al., 2022).

Il progetto RHE-MEDiation ha ampliato le conoscenze sulla capacità dei fotobioreattori di rimuovere sostanze **chimiche**

mediterranea (Ziveri et al., 2023). Nonostante gli impegni politici esistenti, il 21% delle acque reflue della regione viene sottoposto solo a un trattamento di base e meno dell'8% a un trattamento terziario (UNEP/MAP e Plan Bleu, 2020). Inoltre, mentre la direttiva UWWTD stabilisce un obiettivo programmatico generale di raggiungere l'80% della rimozione dei nutrienti, per altre sostanze inquinanti, tra cui le sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS), i prodotti farmaceutici, le microplastiche e le sostanze chimiche presenti nei prodotti per la cura personale, il relativo quadro normativo non prevede obiettivi specifici e applicabili per molti di questi composti chimici altamente eterogenei (ad esempio, esistono circa 10 000 composti PFAS diversi).

Sebbene gli impianti di trattamento delle acque reflue stiano aumentando la loro capacità di trattare o eliminare determinate sostanze, è probabile che non ci siano risorse tecnologiche o finanziarie adeguate a eliminare al 100% l'inquinamento idrico. Pertanto, **la prevenzione dell'inquinamento deve essere una priorità**. Tale prevenzione dovrebbe comprendere la riduzione e l'eliminazione graduale delle sostanze nocive già note alla fonte, la valutazione obbligatoria e rigorosa dell'impatto ambientale e sociale (compresa la salute) delle nuove sostanze, nonché la preparazione e la capacità di risposta in caso di inquinamento accidentale (UNEP/MAP e Plan Bleu, 2020).

industriali (come i PFAS), metalli, pesticidi e prodotti farmaceutici (Figura 2). La configurazione flessibile, modulare e sostenibile dell'approccio RHE-MEDiation può aiutare i comuni di piccole e medie dimensioni a soddisfare i requisiti della direttiva UWWTD, nonché gli obiettivi ambientali attuali e futuri. **Il sistema è in grado di rimuovere la materia organica biodegradabile (trattamento secondario delle acque reflue), gli inquinanti (terziario), le nuove sostanze inquinanti (quaternario) o di trattare le acque superficiali**. Sebbene le acque reflue non siano adatte al consumo umano (acqua potabile), potrebbero essere riutilizzate per usi ambientali controllati e per potenziali applicazioni non destinate al consumo umano (ad esempio l'irrigazione, se l'acqua trattata è conforme ai requisiti del regolamento UE sul riutilizzo dell'acqua) previa ulteriore disinfezione per garantire la sicurezza microbiologica. Si tratta di una soluzione naturale a basso consumo energetico a supporto del piano d'azione dell'UE per l'inquinamento zero¹⁰ (EU Zero Pollution Action Plan).

⁹ Processo successivo al trattamento secondario, volto a rimuovere gli inquinanti non eliminati in modo adeguato dai trattamenti precedenti (ad esempio: tracce di sostanze organiche, solidi sospesi, solidi disciolti, metalli).

¹⁰ Comunicazione della Commissione Europea COM/2021/400: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52021DC0400>

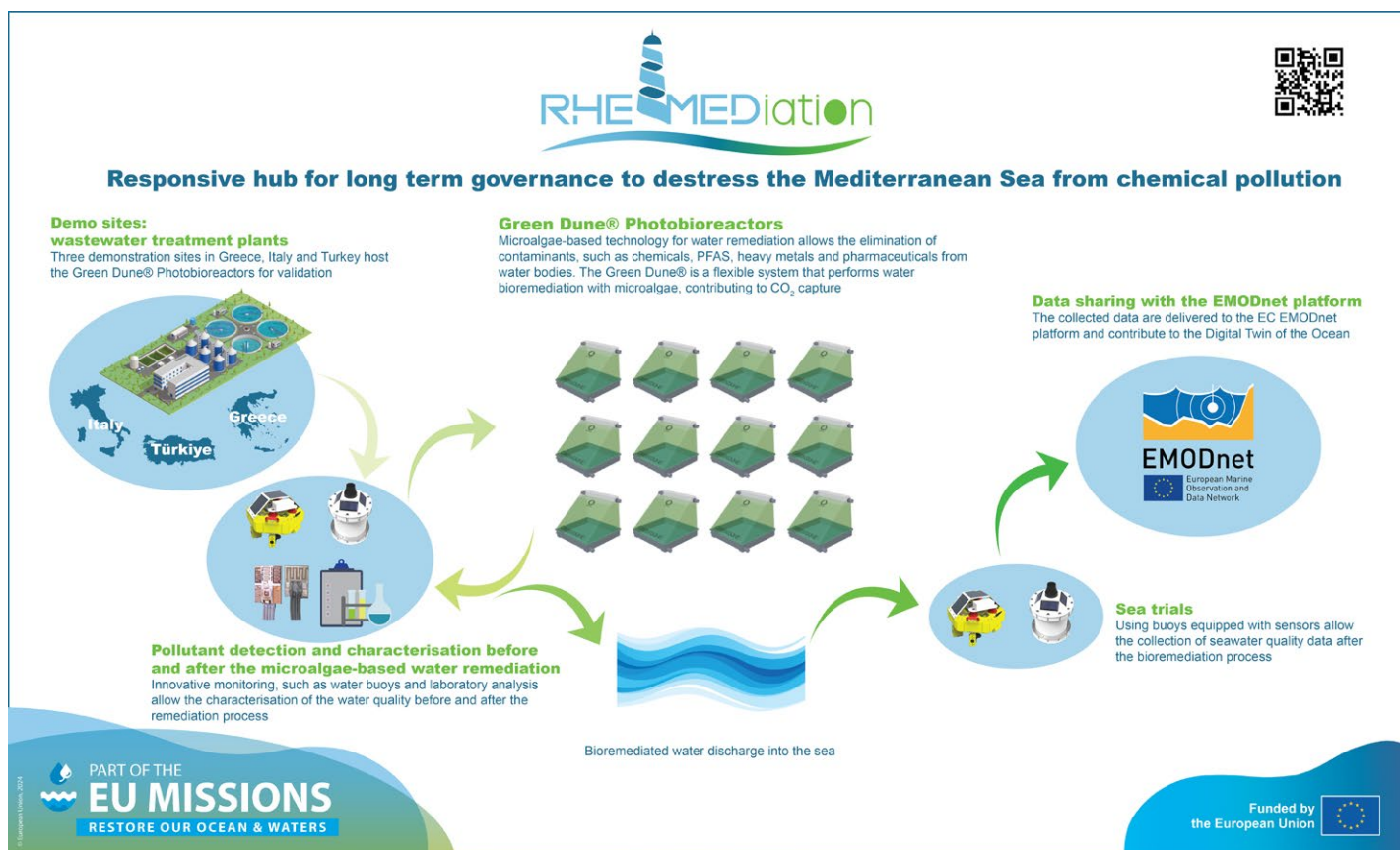


Figura 2: Il grafico illustra i principali componenti tecnici del sistema RHE-MEDIation.

La tecnologia di bonifica si basa sul fotobioreattore BLUEMATER¹¹ Green Dune® (Figura 3): **un modulo di trattamento che massimizza la crescita delle microalghe presenti nell'acqua** ottimizzando il rapporto superficie/volume e consentendo un'efficiente penetrazione della luce. Le microalghe utilizzano la luce solare naturale, i nutrienti presenti nell'acqua (azoto, fosforo) e la materia organica per svilupparsi. Se necessario, nel fotobioreattore possono essere immesse bolle di gas per distribuire in modo efficiente i nutrienti e la CO₂, evitando la sedimentazione sul fondo del reattore. Gli inquinanti presenti nell'acqua vengono metabolizzati dalle microalghe, immagazzinati nelle loro cellule o trattenuti dalle loro membrane.

Per monitorare in tempo reale le dinamiche degli inquinanti vengono utilizzati sensori e unità di monitoraggio fisse e mobili. Le unità fisse, sviluppate da MDM¹², sono installate all'ingresso e all'uscita dei fotobioreattori e rilevano i cambiamenti nell'acqua all'interno del sistema. Un sensore Smart Cable Water compatto e multiparametrico, sviluppato

da SENSICHIPS¹³, viene addestrato tramite apprendimento automatico per rilevare sostanze pericolose, come metalli pesanti e prodotti farmaceutici. Questi sensori avanzati e altri sistemi di controllo automatizzati integrati monitorano in tempo reale i parametri critici (ad esempio pH, temperatura), consentendo regolazioni rapide e remote dei fotobioreattori (ad esempio modificando la portata) per ottenere la massima efficienza.

Sono disponibili due formati delle unità mobili di superficie marina della MDM:

- 1) Drifter marini a basso costo e senza motore (Figura 4) impiegati in una regione costiera predefinita per raccogliere dati a bassa frequenza che vengono caricati su un servizio cloud; e
- 2) Veicoli di superficie autonomi (VSA, Autonomous Surface Vehicles – ASV) che eseguono campionamenti ad alta frequenza per valutare, a livello spaziale, il pH, la salinità, l'ossigeno disciolto e altri indicatori ecologici della qualità dell'acqua.

¹¹ <https://www.bluemater.com/>

¹² <https://www.mdmteam.eu/>

¹³ <https://www.sensichips.com/>



Figura 3: Fotobioreattori GREEN DUNE® installati presso l'impianto di trattamento delle acque reflue di Thrasio, Grecia.

Sia le unità fisse che quelle mobili forniscono dati georeferenziati a EMODnet¹⁴ tramite un servizio automatizzato di acquisizione dati sviluppato da RINA-C¹⁵.

La tecnologia adattiva basata sulle microalghe di RHE-MEDIation è compatta e modulare e può essere facilmente integrata nelle infrastrutture esistenti per integrare altri processi di trattamento delle acque. Il sistema massimizza l'efficienza con un ingombro inferiore rispetto ai metodi di trattamento tradizionali. È in grado di trattare fino a 3.000 m³ di acque reflue per ettaro, richiedendo meno spazio rispetto ai sistemi a fanghi attivi.

Approccio adattabile ai contesti locali e regionali

La natura modulare del sistema RHE-MEDIation lo rende versatile e adattabile (Figura 5). Il design flessibile e la semplice implementazione di questo sistema sono ideali per potenziare il trattamento delle acque in comuni di piccole e medie dimensioni in aree rurali o remote dove lo spazio non è un limite.

Modificando il flusso in ingresso e la durata di permanenza dell'acqua, **il sistema è in grado di adattarsi alle variazioni locali e stagionali** dovute alla presenza di agglomerati naturali e diversificati di microalghe nelle acque reflue o superficiali. Durante i periodi di scarsa illuminazione solare (ad esempio

L'investimento iniziale per le tecnologie RHE-MEDIation è simile a quello richiesto dai sistemi di osmosi inversa e dai tradizionali sistemi di trattamento delle acque reflue. I costi operativi del sistema RHE-MEDIation sono circa la metà di quelli dell'osmosi inversa. Il consumo energetico è minimo, poiché il sistema funziona principalmente attraverso processi semi-automatizzati e passivi e utilizza il flusso gravitazionale continuo delle acque reflue e la luce solare naturale. Le microalghe producono ossigeno, utilizzato dai batteri per decomporre le sostanze organiche residue, riducendo la necessità di aerazione meccanica. Ciò si traduce in una riduzione stimata dei costi energetici di circa il 75% rispetto alle tecnologie tradizionali per il trattamento delle acque reflue. Pertanto, **il sistema RHE-MEDIation riduce le spese operative, ha un'impronta di CO₂ molto più bassa e facilita il trattamento delle acque reflue urbane e industriali per il loro riutilizzo.**

I fotobioreattori Green Dune® richiedono l'uso di sostanze chimiche solo per la calibrazione, l'ottimizzazione e la pulizia delle membrane e, a seconda del carico di carbonio nelle acque reflue, potrebbe essere necessario aggiungere CO₂ per favorire la crescita delle microalghe durante l'installazione. La frequenza con cui i fotobioreattori devono essere puliti varia a seconda delle specie di microalghe che dominano il sistema. **I fanghi residui sono costituiti principalmente da biomassa microalgale concentrata, che può costituire una risorsa per prodotti secondari**, come fertilizzanti o biocarburanti (principalmente bioetanolo e biogas). Tuttavia, la classificazione e la gestione della biomassa dipendono dall'origine dell'effluente da trattare e dal suo potenziale di riutilizzo. Ad esempio, i risultati preliminari del sistema RHE-MEDIation suggeriscono che l'accumulo di metalli nella biomassa rientra nei limiti stabiliti dalla direttiva UE sui fanghi di depurazione¹⁶ per il riutilizzo agricolo, ma sono necessarie ulteriori ricerche. La biomassa può anche essere incenerita (pirolizzata) per degradare o concentrare gli inquinanti e produrre prezioso biochar, che può essere utilizzato come filtro nel trattamento delle acque reflue.

in inverno), la produttività diminuisce ma non si interrompe, poiché alcune specie di microalghe possono continuare a sopravvivere grazie alla CO₂ e al carbonio organico. È possibile utilizzare la luce artificiale per compensare la ridotta intensità luminosa; tuttavia, ciò richiede una valutazione approfondita delle condizioni ambientali, della natura e del carico dell'effluente, della qualità dell'acqua desiderata e della disponibilità di energia (ad esempio tramite pannelli solari). La produttività potrebbe anche essere temporaneamente influenzata da condizioni meteorologiche avverse o da shock tossici (l'ingresso di sostanze tossiche nel sistema). Tuttavia, le microalghe e i batteri naturali presenti nei fotobioreattori si

¹⁴ <https://ingestion-erddap.emodnet-physics.eu/erddap/search/index.html>

¹⁵ <https://www.rina.org/>

¹⁶ Direttiva 86/278/CEE del Consiglio <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1986/278>

rigenereranno in pochi giorni, e le microalghe che formano il biofilm offrono un'ulteriore resilienza alla comunità. Il sistema è inoltre dotato di un'unità di ultrafiltrazione che trattiene le microalghe e i batteri all'interno del sistema.

Il sistema RHE-MEDIation è stato testato in tre siti dimostrativi:

- L'impianto di trattamento delle acque reflue di Thriasio, gestito da EYDAP¹⁷, serve diversi comuni urbani, industrie e aziende vicine e scarica nel Golfo di Elefsis (Attica, Grecia). Qui è stato implementato il sistema RHE-MEDIation come trattamento post-secondario, consentendo la valutazione della sua efficienza nella rimozione degli inquinanti chimici che eludono parzialmente o completamente il trattamento tradizionale. Dopo aver trattato 3.500 m³ di acque reflue, i risultati dimostrano un'efficace rimozione (50-100%) di nutrienti e metalli (zinco e piombo), raggiungendo un'efficienza di rimozione massima >50% per oltre 100 composti farmaceutici, sostanze chimiche industriali (compresi i PFAS), dolcificanti artificiali, stimolanti, prodotti per la cura personale, prodotti fitosanitari, tensioattivi, IPA e PCB. Il sistema ha trattato l'acesulfame (sospettato di aumentare il rischio di cancro) e i farmaci triclosan e rifaximina al 100% in tutti i casi. Ha inoltre raggiunto un'efficienza di rimozione massima del 100% per l'acido perfluorodecanoico (PFDA), l'acido perfluorododecanoico (PFDoA), l'atenololo, la caffeina, la nicotina, il fludioxonil, il trazodone, il pentaclorofenolo e il clopidogrel. Inoltre, il sistema ha trattato l'acido perfluoroottansolfonico (PFOS) con un'efficienza di rimozione massima del 98% e l'acido perfluorononanoico (PFNA) con un'efficienza di rimozione massima del 78%. Questi tassi di rimozione erano conformi alla normativa UE e nazionale, nonché agli obiettivi ambientali.
- L'impianto municipale avanzato di trattamento biologico delle acque reflue di Dilovasi, gestito da YURT MUH¹⁸, tratta le acque reflue domestiche e industriali e le scarica nella baia di İzmit (Kocaeli, Turchia). Il sistema RHE-MEDIation è stato installato dopo il trattamento primario, testando il sistema con carichi organici e sospesi più elevati. Dopo aver trattato 500 m³ di acque reflue, i risultati mostrano tassi di rimozione efficienti per i nutrienti (40-97%), i metalli prioritari come nichel, piombo e mercurio (>50%), altri inquinanti, come IPA e pesticidi (>50%), e tassi elevati per il materiale sospeso (73-95%), rispettando i limiti nazionali di scarico.
- Nel Vivio Leggiadrezze è stato testato il sistema per trattare le acque naturali che vi scorrono all'interno e che sfociano nel fiume Galeso, le cui acque sono degradate dalla presenza di rifiuti lungo le sue rive e che sfociano nel Mar Piccolo (Taranto, Italia). Il sistema RHE-MEDIation ha monitorato continuamente i nutrienti e i composti chimici, ottenendo una rimozione media dei nutrienti (>30%) e una rimozione efficiente del boro (>20-70%).

I siti dimostrativi del progetto RHE-MEDIation mostrano che la rimozione di nutrienti, metalli e sostanze chimiche dalle acque reflue e dalle acque naturali è dipendente dal contesto, dai composti e dalla stagione. Tuttavia, sono necessari ulteriori test e messa a punto per affrontare le sfide operative, come l'intasamento dei filtri dovuto all'aumento della proliferazione delle alghe. Alcune variazioni nei risultati possono essere ricondotte alle fluttuazioni operative durante l'installazione del sistema e il funzionamento iniziale. La variabilità potrebbe anche dipendere dalle diverse specie di microalghe e batteri presenti nell'acqua trattata. Poiché il sistema RHE-MEDIation è stato testato in diversi ambienti e in diverse stagioni, i risultati evidenziano la natura dinamica dei fotobioreattori, con la rimozione di inquinanti come il fosforo che dipende dalla comunità di specie di microalghe. I migliori tassi di rimozione degli inquinanti si sono generalmente ottenuti nel periodo estivo, grazie alle temperature e alla radiazione solare più elevata.

È importante che i futuri sviluppatori valutino attentamente:

- 1) le caratteristiche delle acque reflue da trattare;
- 2) la qualità dell'acqua desiderabile; e
- 3) l'uso previsto dell'acqua trattata o il luogo di scarico, per garantire che il sistema RHE-MEDIation soddisfi le loro esigenze.



Figure 4: Nodo di monitoraggio per la raccolta dei dati idrici durante una prova.

¹⁷ <https://www.eydap.gr/en/home>

¹⁸ <http://yurtmuhendislik.com.tr/>

Il progetto RHE-MEDIation ha inoltre sviluppato **strategie di replicazione e piani d'azione con le autorità locali di Bulgaria, Egitto, Moldavia e Marocco**, che hanno beneficiato di fondi europei per dimostrare la fattibilità, la replicabilità e la trasferibilità dell'approccio RHE-MEDIation nella lotta all'inquinamento nei loro siti selezionati. Questa collaborazione mirata ha rafforzato i legami tra l'Europa e le regioni limitrofe, dando origine a una sinergia a lungo termine nella regione del Mediterraneo. Ha inoltre offerto opportunità per rafforzare la cooperazione istituzionale attraverso l'assistenza tecnica, il dialogo politico e meccanismi di apprendimento condiviso, compresi l'accesso a moduli di formazione, sessioni di scambio tra pari nei siti di prova e assistenza diretta per l'adattamento delle tecnologie di bonifica alle condizioni ambientali e normative locali. È stato facilitato il matchmaking tra fornitori di soluzioni e autorità regionali, consentendo la coprogettazione di piani di attuazione che riflettono sia le prove scientifiche sia le priorità territoriali, oltre a superare la frammentazione delle responsabilità nella gestione delle risorse idriche.

Tuttavia, un'implementazione efficace richiede:

- 1) capacità tecnologiche,
- 2) strutture di governance adeguate,
- 3) preparazione istituzionale,
- 4) coordinamento tra le agenzie e
- 5) impegno politico per il raggiungimento di obiettivi ambientali a lungo termine.

Ad esempio, nei paesi europei la responsabilità del trattamento delle acque ricade principalmente sui comuni, mentre nei paesi extra-UE tale responsabilità può essere condivisa da diverse autorità, quali i ministeri o i singoli impianti di trattamento delle acque. L'adattabilità è fondamentale per garantire che i futuri siti di replica adattino l'intervento al proprio contesto ecologico, sociale e normativo, migliorando il successo a lungo termine e la riproducibilità delle azioni di bonifica dall'inquinamento.

Governance inclusiva attraverso il potenziamento a livello locale

Il coinvolgimento sistematico delle parti interessate durante il progetto RHE-MEDIation ha consentito di rafforzare il ruolo attivo di tutti i soggetti coinvolti a tutti i livelli e ha moltiplicato l'approvazione, l'accettazione e l'adozione dell'approccio a livello locale, regionale e nazionale. Ciò si è basato su un coinvolgimento continuo e multilivello dei cittadini e delle parti

interessate, garantendo che le soluzioni ambientali fossero sia legittime che sostenibili.

Per coinvolgere le amministrazioni locali, i movimenti della società civile, l'industria e i giovani (studenti delle scuole e delle università), sono stati organizzati sondaggi, interazioni dirette, workshop con tavole rotonde e iniziative di sensibilizzazione e di divulgazione. Ciò ha consentito alle parti interessate di esprimere le proprie opinioni sull'inquinamento chimico e di partecipare alla progettazione delle azioni pilota. La convalida specifica per sito, con le parti interessate, ha consentito l'ottimizzazione della progettazione e l'allineamento normativo e di monitoraggio, creando al contempo un clima di fiducia. Le attività di coinvolgimento successive sono state estese dall'ambito locale a quello nazionale, dove si è discusso delle barriere finanziarie e della necessità di migliorare le capacità tecniche. I confronti non si sono concentrati esclusivamente sui benefici immediati, ma anche sulle implicazioni sociali più ampie dell'approccio RHE-MEDIation. Alcuni dei possibili benefici sociali includono:

- **Accesso ad acqua più pulita;**
- **Meno inquinamento olfattivo e miglioramento della salute pubblica della comunità locale grazie al potenziamento delle infrastrutture di trattamento delle acque;**
- **Minore pressione sulle riserve di acqua potabile, poiché le acque reflue trattate e conformi alle normative possono essere utilizzate per usi non potabili;**
- **Contributo allo sviluppo economico attraverso la creazione di opportunità di lavoro a livello locale;**
- **Condizioni di lavoro più sicure grazie alla riduzione dell'uso di sostanze chimiche;**



Figura 5: Il sistema RHE-MEDIation installato nell'impianto di trattamento delle acque reflue di Dilovasi, Turchia.

- Collaborazione con le industrie e i fornitori locali per migliorare la sostenibilità del settore; e
- Promozione di nuove tecnologie nel settore del trattamento delle acque e dei sistemi di monitoraggio.

L'approccio RHE-MEDIation ha avuto un impatto sociale positivo sulla comunità locale, oltre a essere economicamente vantaggioso nel lungo termine.

Raccomandazioni

L'approccio RHE-MEDIation interviene sugli inquinanti esistenti ed emergenti, è in linea con gli obiettivi dell'UE in materia di inquinamento e clima (ad esempio, la riduzione delle emissioni di CO₂ degli impianti di trattamento delle acque reflue) e consente la valorizzazione della biomassa (ad esempio, la produzione di biocarburanti dai fanghi residui), offrendo vantaggi sia ambientali sia economici. Sulla base dei risultati

del progetto e dell'esperienza maturata nella sperimentazione di una tecnologia innovativa di bonifica per ridurre in modo significativo la pressione dell'inquinamento chimico, le seguenti raccomandazioni contribuiranno a modernizzare il trattamento delle acque reflue e a consentire l'adozione dell'approccio RHE-MEDIation:

Prevenzione dell'inquinamento e riduzione dei rischi

- **La Commissione europea** dovrebbe dare priorità alla riduzione e all'eliminazione graduale delle sostanze nocive note e applicare valutazioni di impatto ambientale e sociale (compresa la salute) delle nuove sostanze inquinanti come misura di prevenzione dell'inquinamento.
- **Le autorità regionali e locali** dovrebbero promuovere l'implementazione di sistemi di monitoraggio in tempo reale che fungano da sistemi di allerta precoce per rilevare guasti agli impianti di trattamento delle acque o inquinamento accidentale/illegittimo causato da composti o sostanze pericolose/tossiche non trattate.

Riconoscimento del trattamento a base di microalghe

- **Gli Stati membri dell'UE e le autorità regionali e locali** dovrebbero riconoscere i sistemi di trattamento delle acque reflue basati sulle microalghe come opzioni di trattamento secondario, terziario, quaternario o completo, per facilitare l'attuazione della direttiva sul trattamento delle acque reflue urbane (UWWTD) e del regolamento sul riutilizzo dell'acqua, e per contribuire agli obiettivi della direttiva quadro sulle acque (WFD) e della direttiva quadro sulle strategie marine (MSFD).
- **La Commissione europea, gli Stati membri dell'UE e le autorità regionali e locali** dovrebbero incentivare i partenariati pubblico-privato-accademici per approfondire lo studio dell'implementazione del trattamento delle acque reflue basato sulle microalghe in diversi settori (ad esempio agricoltura, ospedali, macelli e lavorazione della carne; industria tessile, farmaceutica, alimentare e delle bevande), accelerare l'adozione di approcci innovativi al trattamento delle acque ed esplorare usi alternativi dell'acqua e della biomassa risultanti (ad esempio, edilizia, refrigerazione delle attrezzature, produzione di energia).
- **La Commissione europea e gli Stati membri dell'UE** dovrebbero fornire orientamenti tecnici e incentivi finanziari per la valutazione delle caratteristiche degli effluenti e la definizione degli obiettivi di trattamento nelle comunità di piccole e medie dimensioni (oltre 1.000 abitanti) in aree rurali o remote, al fine di adottare e integrare impianti di trattamento basati sulle microalghe nelle infrastrutture esistenti, laddove vi sia disponibilità di suolo ma manchino adeguate infrastrutture di trattamento delle acque reflue.

Standard, obiettivi e adeguamento normativo

- **La Commissione europea** dovrebbe stabilire obiettivi chiari e specifici per la rimozione degli inquinanti e norme relative ai livelli accettabili di emissione degli inquinanti emergenti (ad esempio prodotti farmaceutici, prodotti per la cura personale e PFAS) nelle direttive dell'UE in materia di acque, al fine di garantire la coerenza tra gli Stati membri.
- **La Commissione europea** dovrebbe uniformare a livello UE le normative relative ai livelli consentiti di inquinanti per un riutilizzo sicuro dell'acqua trattata e delle biomasse (ad esempio come fertilizzanti o biocarburanti), al fine di promuovere il riutilizzo di tali prodotti nell'agricoltura o in altre attività industriali.

Monitoraggio & indicatori

- **La Commissione europea** dovrebbe sviluppare un monitoraggio standardizzato e linee guida tecniche chiare (ad esempio, procedure di laboratorio) per garantire il rispetto dei limiti di emissione di inquinanti prestabiliti, compresi indicatori di prestazione relativi all'assorbimento di CO₂ da parte delle microalghe e al potenziale di riutilizzo della biomassa.

Riferimenti

Avila, R., García-Vara, M., López-García, E., Postigo, C., de Alda, M. L., Vicent, T., & Blánquez, P. (2022). Evaluation of an outdoor pilot-scale tubular photobioreactor for removal of selected pesticides from water. *Science of the Total Environment*, 804, 150040. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150040>

EEA, 2019, Marine messages II — navigating the course towards clean, healthy and productive seas through implementation of an ecosystem-based approach, EEA Report N° 17/2019, European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/marine-messages-2>

García-Galán, M. J., Matamoros, V., Uggetti, E., Díez-Montero, R., & García, J. (2021). Removal and environmental risk assessment of contaminants of emerging concern from irrigation waters in a semi-closed microalgae photobioreactor. *Environmental research*, 194, 110278. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110278>

Sarker, N. K., & Kaparaju, P. (2023). A Critical Review on the Status and Progress of Microalgae Cultivation in Outdoor Photobioreactors Conducted over 35 Years (1986–2021). *Energies*, 16(7), 3105. <https://doi.org/10.3390/en16073105>

United Nations Environment Programme/Mediterranean Action Plan and Plan Bleu (2020). State of the Environment and Development in the Mediterranean. Nairobi. <https://www.unep.org/unepmap/resources/2020-edition-state-environment-and-development-mediterranean-soed>

Ziveri, P., Grelaud, M., Pato, J. 2023, Research for REGI Committee – [Study on Actions of cities and regions in Mediterranean Sea area to fight sea pollution; Reducing marine litter and plastic pollution], European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels. [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOL_STU\(2023\)733123](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOL_STU(2023)733123)



Fonte: EYDAP

Ringraziamenti

L'European Marine Board ringrazia gli autori e i revisori.

Autore: Ángel Muñiz Piniella, European Marine Board.

Coordinamento e revisione: Ángel Muñiz Piniella & Sheila J.J. Heymans, European Marine Board.

Revisori: Francesco Camonita, Despo Fatta-Kassinou

Contributi aggiuntivi: Luca Ricci, Elisa Acciaro, Laura Magnasco, Rocio Milagros Renna, Lorenzo Ferlin (RINA-C); Giorgos Katsouras, Theodora Paramana, Anthi Yfanti, George Tsatsanifos (EYDAP); Constantine Parinos, Nikos Streftaris, Ioannis Hatzianestis (HCMR); Magda Di Leo, Marcella Narracci, Antonino Adamo (CNR); Elif Atasoy Aytis, Mehmet Dilaver (TUBITAK MAM); Luísa Barreira, Davide Liberti (CCMAR); Nuno Gomes, Rita Polónia (BLUEMATER); Roberto Simmarano (SENSICHIPS); Angelo D'Amante (MDM); Paula Kellett, Britt Alexander, Ana Rodriguez Perez e Fernanda Bayo Ruiz (European Marine Board).

Design: ZoecK

Infografica: Leonardo Corsi

Immagine di copertina: EMB, EYDAP SA, YURT MUH, TUBITAK, MDM Team

Traduzione: Maria Giulia Rosini

Contatto per ulteriori informazioni

info@marineboard.eu; info@rhemediation.eu

Parole chiave

Inquinamento chimico, biorisanamento tramite microalghe, trattamento delle acque, sistemi di monitoraggio, coinvolgimento dei cittadini.

Riferimenti

RHE-MEDiation (2026). Reducing Chemical Pollution through Innovative Nature-Based Water Treatment. RHE-MEDiation Policy Brief, published by the European Marine Board, Ostend, Belgium. ISBN: 9789464206425. DOI: 10.5281/zenodo.18504548.

Copyright e utilizzo

Questa è una pubblicazione open access distribuita secondo i termini della licenza Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0). L'uso, la distribuzione o l'adattamento in altri ambiti sono consentiti, a condizione che vengano citati gli autori originali e i titolari dei diritti d'autore, che venga citata la pubblicazione originale, che venga fornito un link alla licenza Creative Commons e che vengano indicate eventuali modifiche apportate al contenuto originale. Non è consentito alcun uso, distribuzione o riproduzione che non sia conforme a questi termini.

Artificial intelligence statement

Lo strumento ChatGPT, basato sull'intelligenza artificiale, è stato utilizzato per assistere nella revisione linguistica del presente documento. L'intelligenza artificiale non è stata utilizzata per alcuna attività di scrittura fondamentale, come la produzione di approfondimenti scientifici, la revisione della letteratura, l'elaborazione di conclusioni scientifiche o la formulazione di raccomandazioni.

This Policy Brief was written by the EMB Secretariat and other partners in the RHE-MEDiation project.

PUBLISHED APRIL 2026

European Marine Board IVZW
Belgian Enterprise Number: 0650.608.890
Jacobsenstraat 1
8400 Ostend Belgium
Tel: +32 (0)59 56 98 00

www.marineboard.eu



**Funded by
the European Union**