



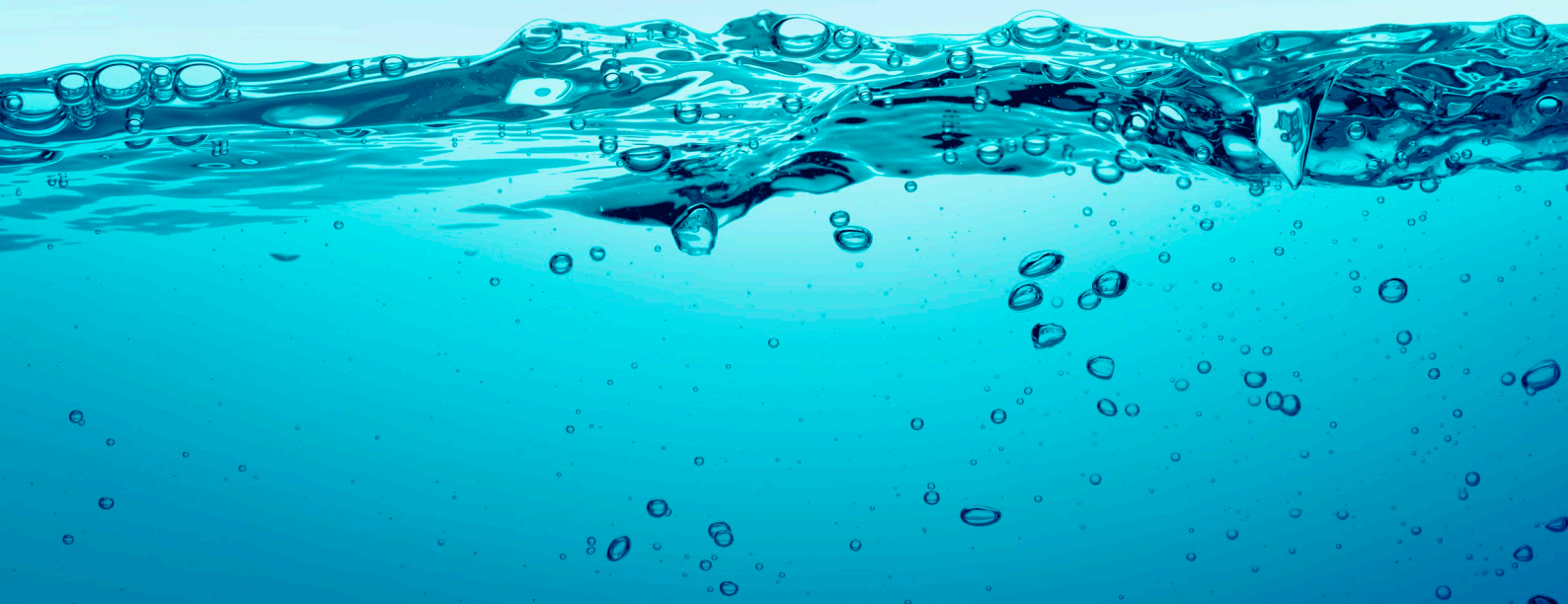
www.lifecleanup.eu

Layman report



LIFE16 ENV/ES/000169





INDICE

	Pagina
01. Introduzione e background del progetto	03
02. Cos'è life clean up?	04
2.1 Il problema.	04
2.2 L'obiettivo.	05
2.3 Descrizione della soluzione metodologica.	06
2.4 Tecnologie impiegate.	07
03. Principali azioni e risultati.	09
04. Sostenibilità e replicabilità del progetto.	12
05. Diffusione.	13

PROGETTO LIFE CLEAN UP

Progetto LIFE
Numero LIFE16 ENV/ES/000169.



01

INTRODUZIONE E BACKGROUND DEL PROGETTO



Budget totale
1,492,412€



Associati
Istituzioni

Questo documento è una sintesi delle principali attività sviluppate nell'ambito del progetto LIFE CLEAN UP (numero di progetto LIFE16 ENV/ES/000169).

Il progetto ha avuto inizio nel secondo semestre del 2017, in ottobre, si è concluso nel settembre 2020 ed è stato prorogato fino a giugno 2022 dopo aver raggiunto gli obiettivi perseguiti, mettendo al servizio dell'ambiente le conoscenze scientifiche.

Il progetto è il risultato di una stretta collaborazione tra l'Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM, Spagna) in qualità di coordinatrice, l'Università degli Studi di Bari Aldo Moro (UNIBARI, Italia), il Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per i Processi Fisici e Chimici (CNR-I-PCF, Italia), il Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y la Alimentación (CTC, Spagna) e i partner privati coinvolti HIDROGEA, HIDROTEC e REGENERA (tutti della Spagna).

Il budget totale del progetto è stato di 1.492.512 euro; quasi il 60% (895.506 euro) è stato cofinanziato dall'Unione Europea attraverso il Programma Life come progetto close-to-market.

02

COS'È LIFE CLEAN UP?



LIFE CLEAN UP è stato realizzato per migliorare la gestione della depurazione delle acque reflue attraverso una tecnologia efficiente e rispettosa dell'ambiente, che consente di ottenere acque trattate prive di inquinanti emergenti (EP).

2.1 IL PROBLEMA

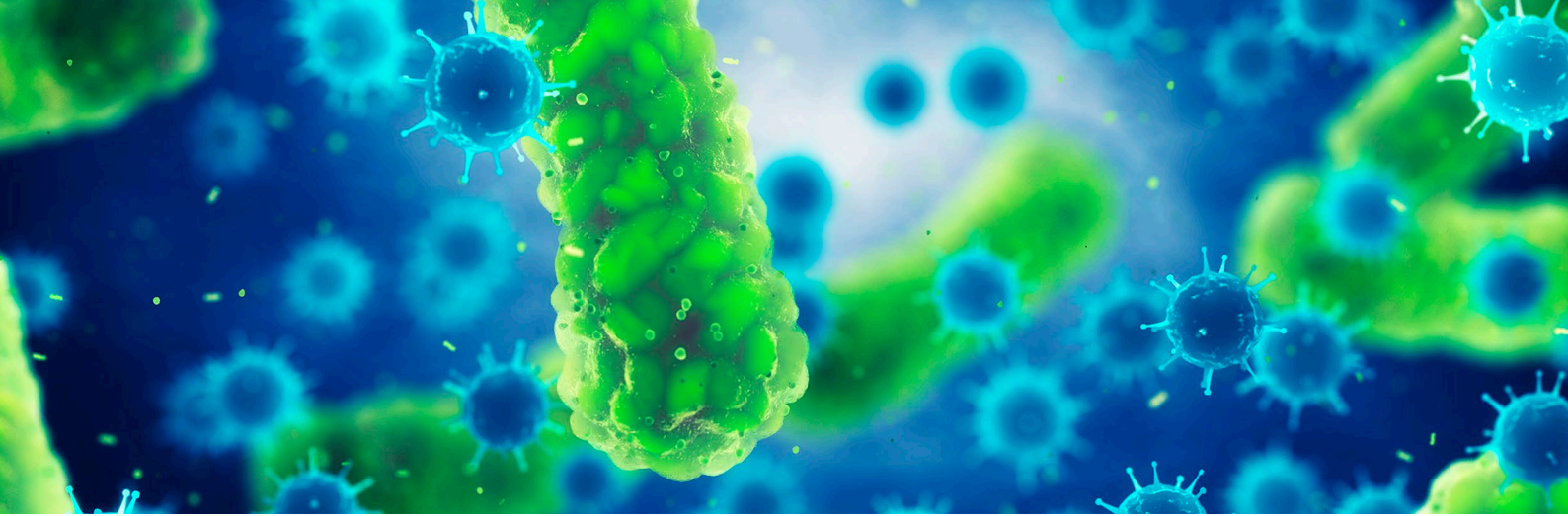
L'approvvigionamento idrico è essenziale per il sostentamento umano, lo sviluppo socio-economico e la salute dell'ecosistema, soprattutto nelle aree aride o semi-aride, dove la carenza d'acqua richiede una gestione adeguata delle risorse idriche. La carenza idrica è diventata, in molte aree del mondo, uno dei principali rischi per lo sviluppo sostenibile. Pertanto, in uno scenario in cui lo stress idrico e i cambiamenti climatici sono sempre più evidenti, il riutilizzo dell'acqua si presenta come un'alternativa affidabile alle risorse idriche convenzionali. Tuttavia, per garantire un riutilizzo sicuro dell'acqua, è necessario un quadro giuridico che garantisca la sicurezza e un elevato livello di protezione dell'ambiente, nonché della salute umana e animale. A tale scopo, il Regolamento (UE) 2020/741 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 25 maggio 2020, stabilisce i requisiti minimi di qualità dell'acqua e di monitoraggio per il riutilizzo come acqua di irrigazione agricola, nel contesto della gestione integrata delle acque. Questo regolamento, oltre agli indicatori di qualità microbiologica (E. coli, C. perfringens, spore e colifagi), considera le sostanze di interesse emergente (metalli pesanti, pesticidi, sottoprodotti

della disinfezione, prodotti farmaceutici, ecc.) come requisiti aggiuntivi a livello di valutazione del rischio per la salute umana.

Questo è il caso degli inquinanti emergenti. La contaminazione dell'acqua da parte di questi contaminanti comporta rischi ambientali significativi. Questi inquinanti provengono principalmente dall'industria, dall'uso domestico (prodotti farmaceutici, cosmetici, pulizia, ecc.) e dall'agricoltura.

La rimozione di questi inquinanti è problematica perché i metodi di depurazione convenzionali non riescono a rimuovere completamente questi composti e perché i metodi avanzati di trattamento delle acque non sono fattibili a causa dei loro costi elevati.

Pertanto, la scarsa capacità delle tecnologie convenzionali nella rimozione degli EP, insieme alle crescenti politiche di restrizioni legali sullo scarico degli effluenti e sul riutilizzo delle acque di recupero e alla consapevolezza ambientale, rappresenta una sfida che richiede risposte tecnologiche efficaci ed ecologicamente sostenibili.



2.2 L'OBIETTIVO

Alla luce del problema esposto, l'obiettivo principale del progetto LIFE CLEANUP è la convalida di un sistema per la rimozione degli EP e dei microrganismi patogeni, che non vengono adeguatamente rimossi dai sistemi convenzionali di trattamento delle acque reflue. Per questa proposta è stata impiegata una combinazione di tecnologie che includono tecniche di filtrazione, adsorbimento e processi di ossidazione avanzata (AOP).

In particolare, **gli obiettivi** da raggiungere erano:

01

Ottimizzare la capacità di adsorbimento dei materiali utilizzati per le diverse famiglie di EP.

02

Adattare la metodologia per lo sviluppo di polimeri e biomateriali per lo scale-up industriale.

03

Validazione economica e ambientale della tecnologia dei processi avanzati di ossidazione (AOP) applicati, come l'impulso di luce, la fotocatalisi e i fotosensibilizzatori.

04

Convalidare e dimostrare un prototipo che integri le tecnologie proposte (ritenzione mediante materiali adsorbenti e distruzione mediante AOP) su scala semi-industriale in un impianto di trattamento delle acque reflue (WWTP).

05

Convalidare il processo confrontando i risultati ottenuti nell'impianto con quelli ottenuti su scala di laboratorio.

06

Dimostrare l'utilizzo di energie rinnovabili per l'implementazione del sistema su scala industriale.

07

Facilitare la riproduzione su scala industriale attraverso studi di fattibilità e analisi costi-benefici.

08

Consentire il trasferimento del sistema di depurazione ad altri settori industriali.

09

Aumentare la consapevolezza degli inquinanti emergenti, delle loro cause, conseguenze e opzioni per ridurre al minimo la loro presenza.

10

Sviluppare un prodotto commerciale da lanciare al termine del progetto.

2.3 DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE METODOLOGICA

Per rimuovere gli EP dagli effluenti degli impianti di trattamento delle acque reflue (WWTP) è stata impiegata una combinazione di tecnologie. La Figura 1 mostra lo schema sperimentale dell'impianto pilota. Il sistema prevede un primo stadio di pretrattamento basato su micro e ultrafiltrazione [1], che garantisce la qualità microbiologica dell'acqua e prolunga la vita utile dei polimeri a base di ciclodestrina (CD), in quanto materiale efficiente per

adsorbire una grande quantità di EP [2], e che può essere riutilizzato. All'uscita, l'acqua viene sottoposta a AOP mediante fotocatalisi (FC) [3] per degradare gli inquinanti non trattenuti. Il prodotto del desorbimento carico di EP viene accumulato in un serbatoio degli scarti per un ulteriore trattamento mediante un sistema a luce pulsata (PL) [4] che distrugge gli inquinanti desorbiti.

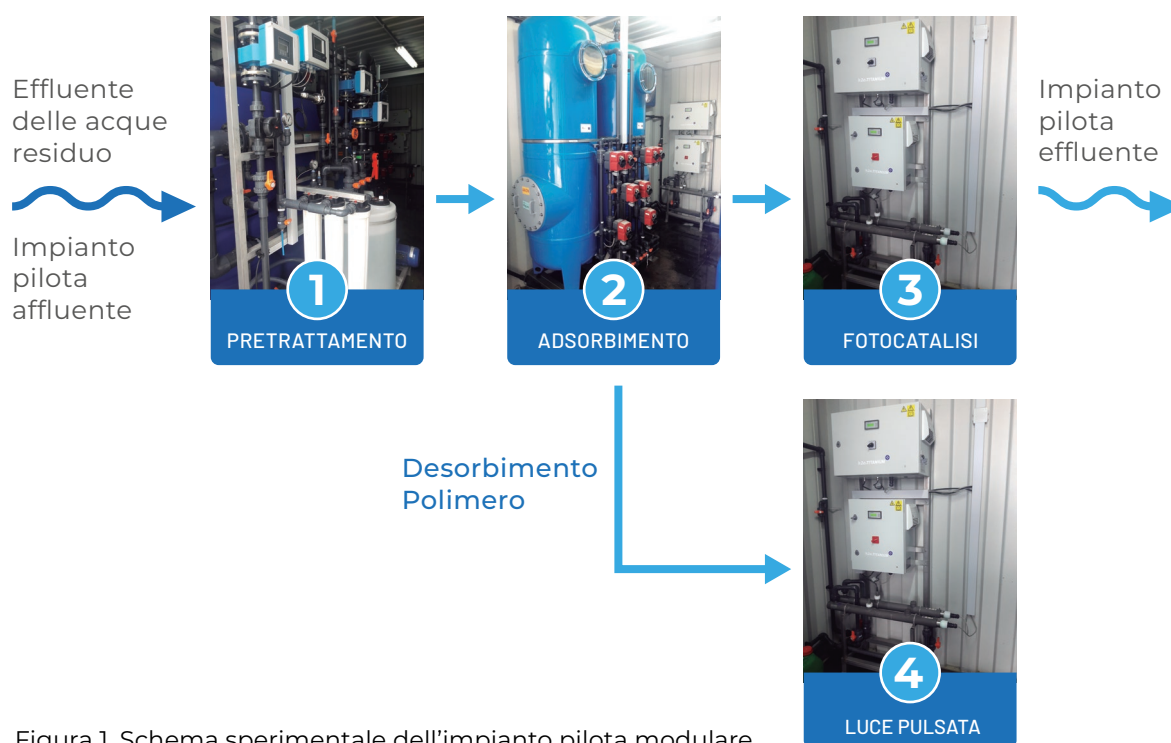
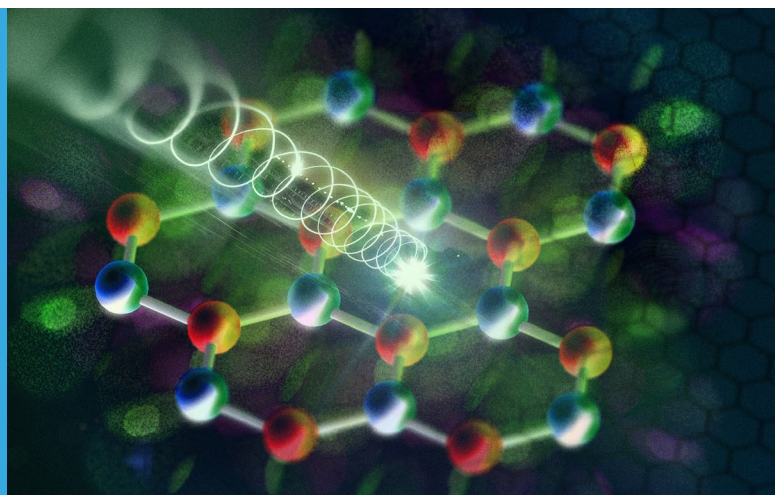
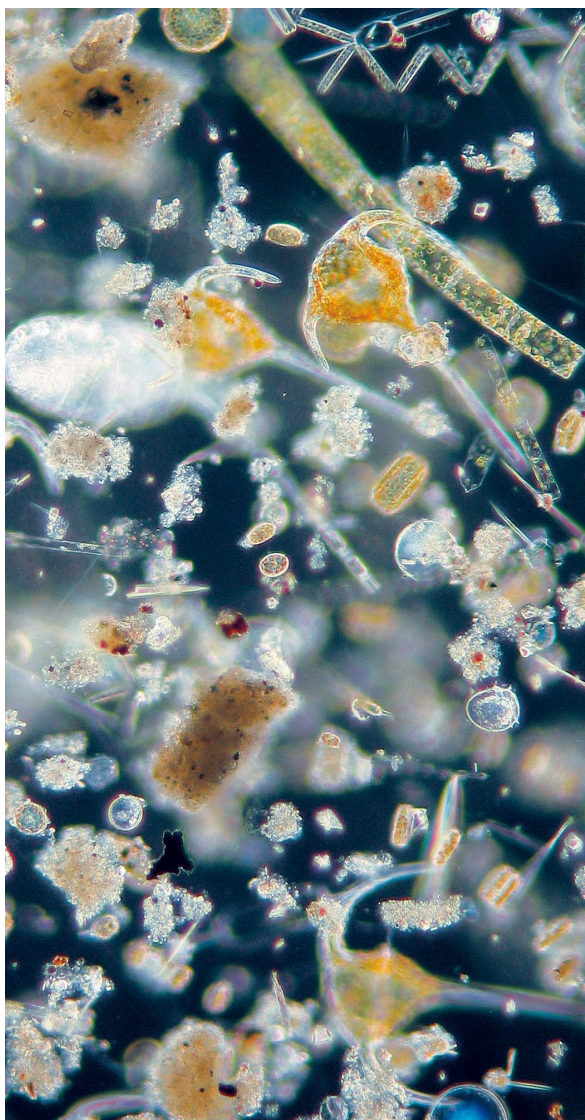


Figura 1. Schema sperimentale dell'impianto pilota modulare.

Grazie a questo progetto, è stato costruito e testato un prototipo. Si tratta di un'unità che contiene al suo interno materiale adsorbente riutilizzabile, collegata a due lampade di fotocatalisi per degradare gli inquinanti rimanenti e a un'apparecchiatura a impulsi luminosi che elimina gli PE intrappolati nella cavità interna dei polimeri a base di ciclodestrina (CD) una volta rigenerati.





2.4 TECNOLOGIE IMPIEGATE

01. Pretrattamento Fase di filtrazione

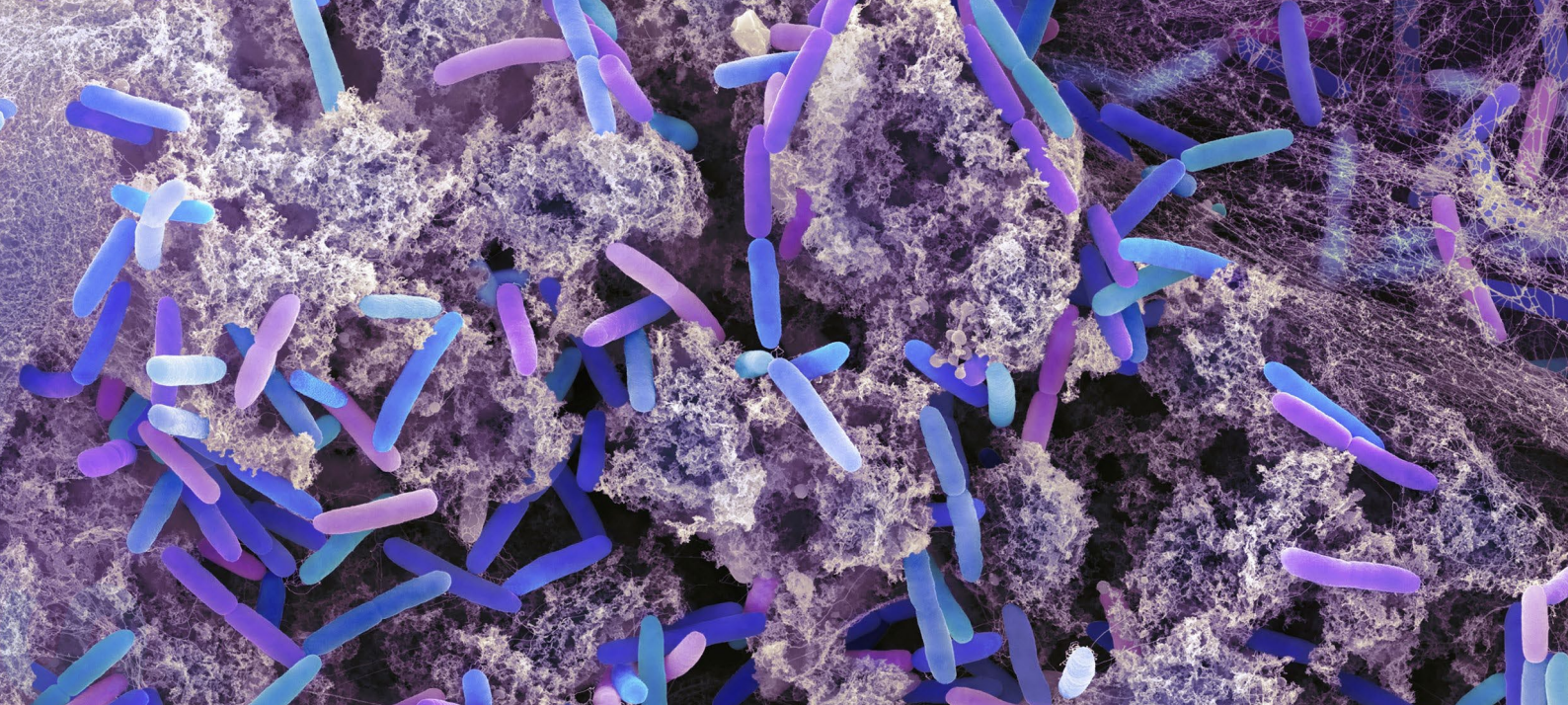
La filtrazione è un metodo fisico basato sulla ritenzione e sull'eliminazione degli inquinanti in base alla dimensione minima delle particelle, con un'elevata capacità di disinfezione. In questo caso, le membrane di micro e ultrafiltrazione sono state utilizzate come trattamento per migliorare la qualità dell'acqua e come pretrattamento per aumentare l'efficacia delle fasi di trattamento successive.

02. Fase di adsorbimento Polimeri di ciclodestrina

I CD sono oligosaccaridi ciclici costituiti da unità di D-glucosio legate da legami alfa-1,4-glucosidici, ottenuti dalla lavorazione enzimatica dell'amido. Le CD alfa, beta e gamma, costituite rispettivamente da sei, sette e otto unità di D-glucosio, sono le più comuni. Possono essere reticolati da agenti polimerizzanti come l'epicloridrina (EPI) per formare una rete insolubile di dimensioni maggiori e con proprietà diverse da quelle del monomero CD iniziale, che è facilmente rimovibile dalle acque reflue dopo l'adsorbimento degli inquinanti e riutilizzabile, poiché una volta saturo, il polimero può essere rigenerato da un agente caotropico, consentendone l'uso ripetuto.

Infatti, la rete tridimensionale formata conferisce al polimero caratteristiche anfifiliche con proprietà sia idrofile, dovute alla presenza di unità di glucosio (CD), principalmente gruppi idrossilici, sia idrofobiche, dovute principalmente ai gruppi metilici e ai legami eterei dell'agente reticolante e ai legami CD-glicerina. Questo è vantaggioso per la rimozione di tracce di inquinanti di diversa natura in soluzioni complesse, rispetto ai sorbenti convenzionali come il carbone attivo o le resine a scambio ionico.

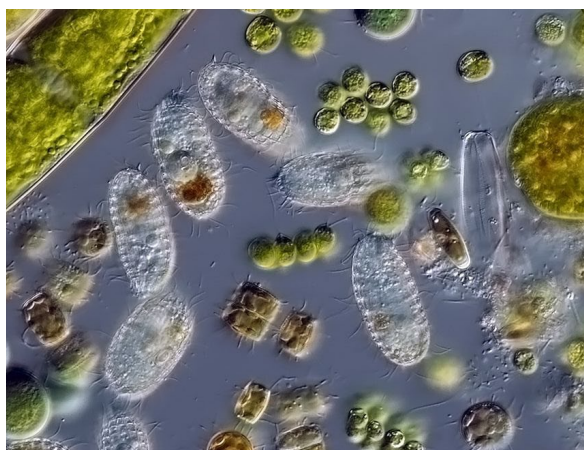
Infatti, la rete tridimensionale permette al polimero di intrappolare gli inquinanti attraverso interazioni aggiuntive (esterne ai siti di inclusione), che integrano la capacità di assorbimento considerando i soli complessi di inclusione. Grazie a questo legame aggiuntivo, è stato dimostrato che le costanti di stabilità di questi complessi inquinanti sono spesso maggiori di quelle delle interazioni CD-inquinante native, giustificando l'intera serie di risultati di assorbimento ottenuti in questo progetto.



03. Fase di ossidazione - Fotocatalisi

La fotocatalisi è una tecnologia sostenibile basata su una reazione fotochimica in presenza di una sorgente luminosa sulla superficie di un catalizzatore o di un substrato, costituito da un materiale semiconduttore che accelera il tasso di reazione. Durante il processo avvengono reazioni di ossidazione e riduzione che comportano la generazione di radicali idrossilici, ad alto potenziale ossidante.

In questo modo è possibile rimuovere la maggior parte degli inquinanti presenti nell'acqua. Il TiO_2 è il fotocatalizzatore più utilizzato per la degradazione degli inquinanti organici grazie al suo basso costo, alla sua stabilità, alla bassa tossicità e alla sua compatibilità ambientale.



04. Fase di rigenerazione e distruzione dei contaminanti trattenuti Luce pulsata

La rigenerazione dell'adsorbente viene effettuata con una soluzione di NaCl 0,1 M, che non altera la capacità di adsorbimento del polimero, consentendo una rigenerazione facile e veloce e permettendo un recupero quasi completo dei contaminanti trattenuti. In questo modo si evita l'uso di solventi organici o di costi energetici elevati, secondo i principi della "Chimica Verde"

I sistemi a luce pulsata producono uno spettro continuo di luce che va dall'infrarosso all'UV-C, con la sottobanda UV-C che è la più efficace nella degradazione dei contaminanti emergenti.

Le apparecchiature PL sono tipicamente progettate e costruite per l'attivazione dei microrganismi lavorando in modo discontinuo.

Per questo motivo, è degno di nota il fatto che, in questo progetto, l'apparecchiatura a luce pulsata sia stata adattata per consentire un lavoro continuo, incorporando uno speciale condotto che attraversa la camera di trattamento, consentendo il passaggio dei raggi UV. Ad oggi, non esiste sul mercato un'apparecchiatura con queste caratteristiche.

03

PRINCIPALI AZIONI E RISULTATI

Distruzione di inquinanti

80% prodotti farmaceutici 100% rifiuti fitosanitari

01.

Caratterizzazione degli EP nelle acque reflue trattate negli impianti di trattamento (WWTP)

L'identificazione dei contaminanti presenti in modo ricorrente nelle acque reflue analizzate ci ha permesso di concentrare la nostra attenzione sulle azioni successive del progetto. In questo modo, è stato elaborato un elenco di composti appartenenti a diverse famiglie, tenendo conto della loro pericolosità e incidenza nelle acque analizzate, e gli analiti inclusi sono stati studiati a fondo durante il progetto, per applicare le condizioni di lavoro più realistiche.

02.

Ottimizzazione del processo per l'ottenimento di diversi materiali adsorbenti a base polimerica

Dopo aver confrontato diversi materiali di assorbimento, tutti i risultati ottenuti in termini di adsorbimento, desorbimento, capacità di rigenerazione, tempo di contatto e costi, hanno indicato il polimero EPI-CD come quello da utilizzare come modello per la scalabilità semi-industriale nel prototipo. Tuttavia, la sintesi di questo materiale a tale scala presenta problemi dovuti alla tossicità del processo di sintesi. Per questo motivo, nel prototipo semi-industriale è stato utilizzato un polimero MnCD-BDE.

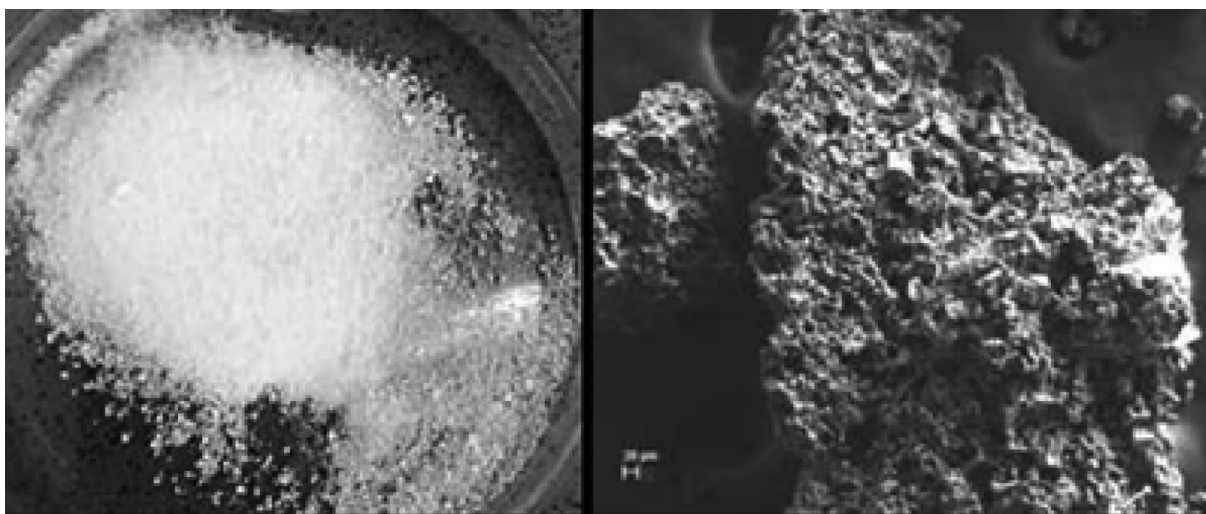


Figura 2. Fotografie del polimero ciclodestrina epicloridrina.(A) (sinistra) Polimero EPI-CD secco. (B) (destra) Micrografia SEM del polimero EPI-CD

03.

Ottimizzazione di innovativi Processi di Ossidazione Avanzata

I test di fotocatalisi hanno dimostrato che trattamenti brevi di 5 secondi non sono efficaci per la maggior parte dei composti. Pertanto, i tempi di contatto per il prototipo

semi-industriale variano tra i 5 e i 25 secondi. Il passaggio dell'acqua contaminata attraverso lo stadio PL ha aumentato il tasso di degradazione degli EP.

04.

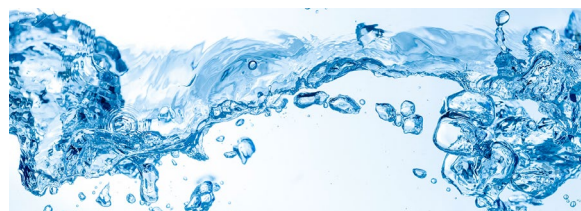
Studi preliminari e calcoli del prototipo a livello semi-industriale, installazione, messa in servizio e ottimizzazione

Sono state progettate e dimensionate diverse unità del prototipo: telaio/contenitore, serbatoio di alimentazione, pompa di processo, microfiltrazione, ultrafiltrazione, colonne di adsorbimento, strumentazione di misura e controllo, installazione elettrica, tubazioni, valvole, fotocatalisi, serbatoio del prodotto, pompa di processo di desorbimento, serbatoio di desorbimento.

Il sistema è costituito da due linee di adsorbimento alternative, una attiva e l'altra in rigenerazione/desorbimento/riposo per trattare un flusso di 3000 L/h. Il resto delle apparecchiature installate è comune.

È stata considerata una pompa sommergibile per la raccolta continua dell'effluente dall'impianto di trattamento delle acque reflue (WWTP), in modo che venga convogliato in un serbatoio per l'alimentazione del sistema CLEANUP. Il serbatoio è dotato di indicatori di livello minimo e massimo, in modo da attivare la pompa che fornisce l'acqua necessaria per il processo di pulizia.

Una volta che l'effluente si trova nel serbatoio di alimentazione, una pompa centrifuga preleva l'effluente da questo serbatoio e lo fa passare attraverso il sistema di pretrattamento, costituito da un sistema



di microfiltrazione e ultrafiltrazione dotato di membrane ceramiche, per evitare che le sostanze indesiderate passino e causino l'intasamento del materiale adsorbente. Una volta condizionata fisicamente e dopo aver controllato i parametri di pH e torbidità, l'acqua viene introdotta in uno dei due filtri di materiale adsorbente.

In modo che il processo sia sempre continuo, uno è sempre in funzione e l'altro in fase di desorbimento o standby. Al termine del processo di adsorbimento, l'acqua passa attraverso un'unità di fotocatalisi, in modo da eliminare per ossidazione le tracce di inquinanti emergenti che non sono state trattenute dal filtro di materiale adsorbente.

L'acqua viene infine convogliata in un serbatoio dell'acqua di prodotto, che consente di immagazzinare l'acqua necessaria per il processo di desorbimento, il controllo lavaggio e la spugnatura dei letti di materiale adsorbente.

L'acqua viene scaricata dal serbatoio attraverso un troppopieno nel flusso di uscita dell'impianto di trattamento (WWTP), in modo che il serbatoio rimanga sempre pieno e con acqua in movimento.



Il processo di desorbimento avviene quando viene raggiunto il tempo di esaurimento stimato per l'adsorbente. A questo scopo, una pompa a membrana preleva la soluzione desorbente, alla concentrazione e alla portata calcolate, per introdurla nella colonna di polimeri di ciclodestrina, in modo da produrre lo spostamento dell'inquinante verso la soluzione desorbente, lasciando ai polimeri di ciclodestrina la loro capacità di adsorbimento iniziale.

Il prodotto di desorbimento carico di con-

05.

Validazione della tecnologia e della fattibilità a livello semi-industriale

Il prototipo ha funzionato per la sua validazione per un anno (2021). Il sistema ha una capacità di adsorbimento di circa il 45% per i prodotti farmaceutici e del 100% per i residui fitosanitari. La fase di distruzione dell'inquinante mediante fotocatalisi migliora le prestazioni complessive di rimozione dei farmaci fino all'80%.

Inoltre, il sistema consente la disinfezione completa delle acque reflue, per cui può essere considerato un efficace trattamento terziario che non richiede l'aggiunta di reagenti (il che gli conferisce evidenti vantaggi rispetto alla clorazione, ad oggi il sistema di disinfezione più utilizzato) e permette anche l'eliminazione delle spore di *C. perfringens*, che sono altamente resistenti ai trattamenti più comunemente utilizzati negli impianti di trattamento delle acque reflue (WWTP), come i raggi UV e la clorazione. Pertanto, dal punto di vista microbiologico, il sistema proposto consente di rispettare il nuovo Regolamento (UE) 2020/741, relativo ai requisiti minimi

taminanti viene accumulato in un serbatoio di rigetto per un ulteriore trattamento. Questo prodotto sarà pompato ad una velocità adeguata attraverso un sistema a luce pulsata, in grado di distruggere i contaminanti presenti nella soluzione desorbente. Questo processo è stato ottimizzato in modo che la sua durata sia leggermente inferiore al tempo utile di saturazione del letto, in modo da poter dimensionare in modo razionale l'apparecchiatura per gli impulsi luminosi.

che le acque di bonifica devono soddisfare per il riutilizzo agricolo.

Degna di nota è anche la rigenerazione e la capacità rigenerativa del polimero. Considerando i test di riutilizzabilità effettuati, le caratteristiche fisico-chimiche dissimili dell'acqua in ingresso e la fase di rigenerazione ogni 200 m³ di acqua depurata, sarebbe consigliabile per il trattamento di questo tipo di acqua la sostituzione del materiale polimerico ogni sei mesi di funzionamento continuo.



Figura 3. Vista esterna del prototipo.

04

SOSTENIBILITÀ E REPLICABILITÀ DEL PROGETTO



Sono stati selezionati due siti di Replica e cinque siti di Trasferimento. I risultati ottenuti identificano il settore agroalimentare come target per la fase iniziale di utilizzo commerciale e lancio sul mercato della tecnologia LIFE CLEAN UP.

Per i siti di replicazione e trasferimento scelti, è stata studiata la presenza degli analiti di interesse per determinare la loro idoneità all'introduzione della soluzione proposta. Per i due siti di replica (EMAHSA e SOLVIC) e per tre dei siti di trasferimento (Citromil, Ecologia Rizzi Arcangelo e Vivolat) è stata effettuata una visita in loco.

La strategia di commercializzazione di Life Clean Up è suddivisa in due fasi, una prima fase che inizia subito dopo la fine del progetto, con applicazioni basate sui risultati favorevoli dello studio di trasferimento al settore agroindustriale, e una seconda fase a medio termine in cui è già prevista la replica negli impianti di trattamento delle acque reflue (WWTP).

Il mercato target della prima fase è costituito da impianti industriali con un flusso di trattamento massimo di 200 m³ /giorno, per i quali si propongono scenari commerciali come le industrie lattiero-casearie o agroalimentari, nonché altri settori industriali come quello farmaceutico o sanitario. È necessario effettuare uno studio preventivo di fattibilità tecnica ed economica per verificare la fattibilità della tecnologia LIFE Clean Up in base alle caratteristiche di ciascun cliente.

Per la seconda fase, è necessaria una modifica del polimero per aumentare il flusso trattato dal sistema al fine di replicarlo negli impianti WWTP. La ricerca si propone di ricercare e testare materiali più permeabili, di ridurre la capacità di idratazione del polimero sviluppato o di modificarne la morfologia, cosa quest'ultima che può anche ridurre i costi di produzione. In questa fase, per la commercializzazione della tecnologia sviluppata è prevista la creazione della joint venture Life Clean Up.

05

DIFFUSIONE DEL PROGETTO



Visite web ricevute

171,070



Articoli

54

In questi 5 anni, il progetto Life Clean Up ha svolto attività di divulgazione e sensibilizzazione, sia nei confronti del pubblico in generale che degli scienziati che operano in aree simili.

Per quanto riguarda la divulgazione e la sensibilizzazione in generale, durante questo periodo Life Clean Up è apparso in 54 articoli (sia su carta stampata che online), 1 documentario nella TV regionale e 3 interviste alla radio, e ha organizzato 1 concorso in un festival di cortometraggi, 1 concorso di spot per sensibilizzare il pubblico in generale, 3 visite guidate ai media presso l'EDAR Cabezo Beaza, 2 visite di studenti con interessi comuni alle acque reflue e al loro riciclaggio. Il progetto ha inoltre partecipato a 2 Science Week (un evento regionale con più di 25.000 partecipanti, incentrato sulla scienza), 14 eventi di networking realizzati e diversi congressi. I partner hanno raggiunto più di 60.000 persone, solo negli eventi e nei congressi. Inoltre, i media online, i social media, le visualizzazioni dei nostri video e le visualizzazioni delle pagine del nostro sito web sono pari a 171.070.



Figura 4. Ricercatore UCAM, che ha ricevuto gli studenti del master per spiegare il funzionamento del prototipo industriale del progetto e la sua sostenibilità.



Figura 5. Visita dei media per mostrare il risultato finale alla dott.ssa Isabel Fortea, Direttore Generale per la Ricerca Scientifica e l'Innovazione della Regione di Murcia.

Per quanto riguarda la comunicazione tecnica del progetto LIFE CLEAN UP, sono stati pubblicati diversi articoli su riviste scientifiche (11), alcune delle quali ad alto impatto come “Journal of Hazardous Materials” “Chemical Engineering Journal” o “Science of the Total Environment”.

Abbiamo partecipato a dieci conferenze e fiere nazionali e sedici internazionali, nonché a sei workshop e seminari. È stata inoltre organizzata una conferenza sul progetto, con la partecipazione di ricercatori di altri progetti e aziende legate alla gestione e al trattamento delle acque. Inoltre, sono state organizzate cinque visite tecniche all'impianto dimostrativo per incoraggiare e sostenere la replica e il trasferimento del nuovo sistema di trattamento in altri luoghi e settori.



Figura 6. Il Dott. Jose Antonio Gabaldon, ricercatore principale del progetto, mostra il prototipo al Presidente della Regione di Murcia, Fernando López Miras, durante la Settimana della Scienza dell'UCAM.



Figura 7. Gli scienziati del progetto partecipanti al network LIFE AMIA nel 2022.



PROGETTO LIFE CLEAN UP

(LIFE Progetto N° LIFE16 ENV/ES/000169).



SITO DI TRASFERIMENTO

CITROMIL

Azienda di lavorazione di agrumi
Murcia (Spagna)

SITO DI REPLICAZIONE

EMAHA

WWTP
Huelva (Spagna)
Visita: 12/04/2022

SITI DI REPLICAZIONE MINORE

Tre aziende di lavorazione di formaggi

Visita: 30/03/2022
Barbianco, Gioia de Colle (Italia)

SITO DI REPLICAZIONE

S.o.l.v.i.c.

WWTP
Canosa di Puglia (Italia)
Visita: 30/03/2022

SITO DI TRASFERIMENTO

Ecologica RIZZI

Azienda di lavorazione di latticini
Gioia de Colle (Italia)
Visita: 30/03/2022

Maggiori informazioni sul progetto:
www.lifecleanup.eu



@LIFE_CleanUp



Life Clean Up



PROGETTO LIFE CLEAN UP

(LIFE Progetto N° LIFE16 ENV/ES/000169).

