

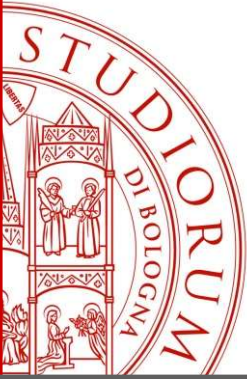
Prof. Davide Pinelli

Dip. di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM)

University of Bologna

E-mail: davide.pinelli@unibo.it

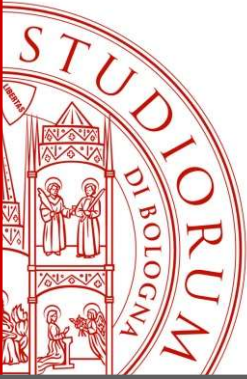
Presentazione degli argomenti di ricerca per tesi sperimentale



Line 1: ADSORPTION process for the selective removal of pharmaceuticals from treated wastewater

General goal: to develop and optimize a selective adsorption process for the removal of micropollutants (mainly pharmaceuticals) from tertiary treated wastewater , before its reuse for irrigation or managed aquifer recharge

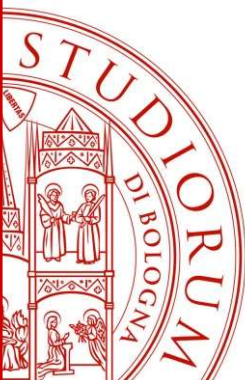
International collaborations: the activity is performed in the framework of the Horizon Europe research project “MAR2PROTECT” (<https://mar2protect.eu>).



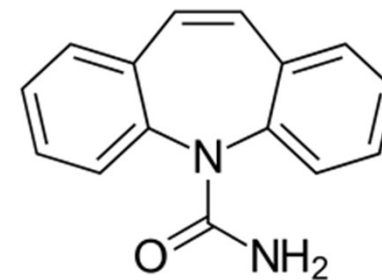
Line 1: ADSORPTION process for the selective removal of pharmaceuticals from treated wastewater

Specific activities:

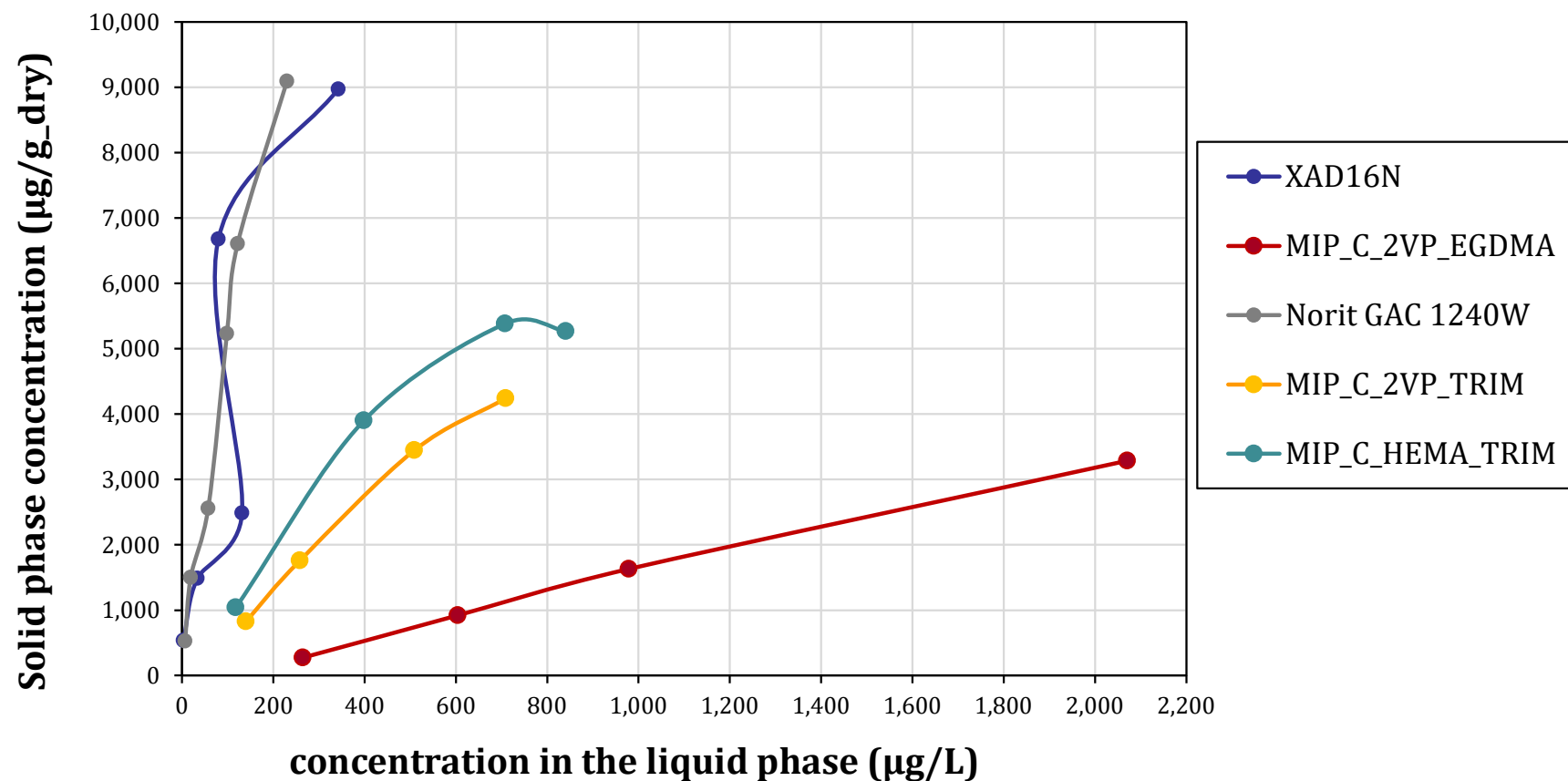
- 1) Testing of different adsorption / ion exchange resins, to select the optimal one for the selective removal of the target micropollutants; this step includes both **batch tests (isotherms) and continuous flow tests, conducted with real wastewater treatment plant effluents**
- 2) Testing of **different desorption solvents and procedures**, to select the optimal one; this step includes mainly continuous flow tests
- 3) Identifying the **optimal operational conditions for the adsorption process and for the desorption process** (contact time, superficial velocity, regeneration solvents, etc)
- 4) **Developing a kinetic and fluid-dynamic model of the process**, both for the adsorption and the desorption step
- 5) **Developing a cost-benefit analysis of the process**

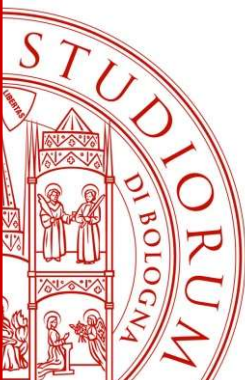


Adsorption of CARBAMAZEPINE in batch tests

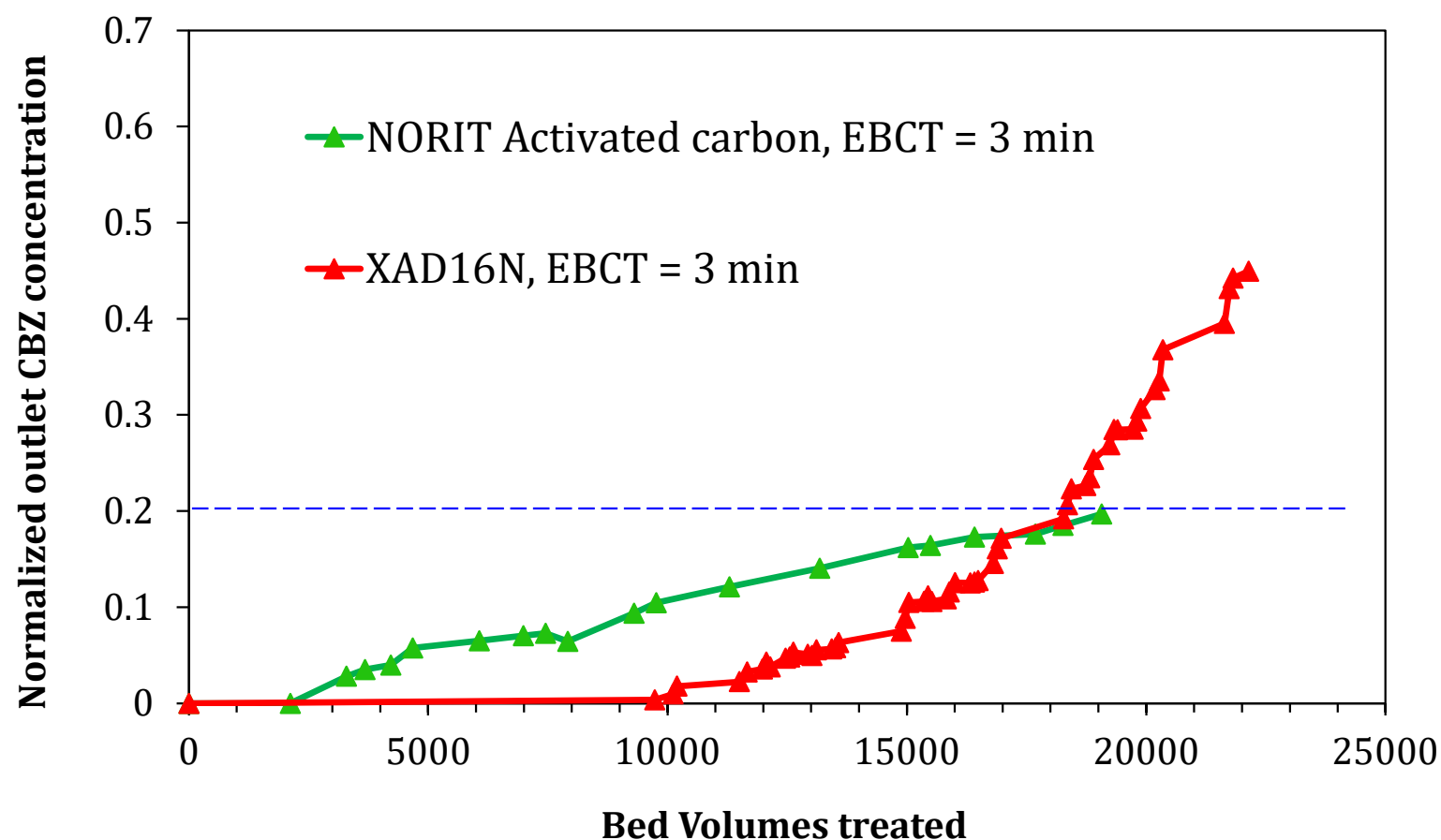
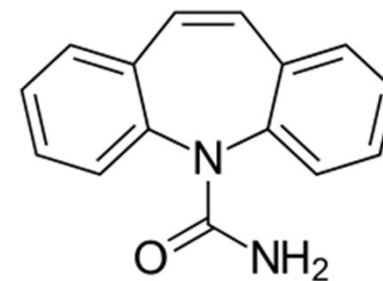


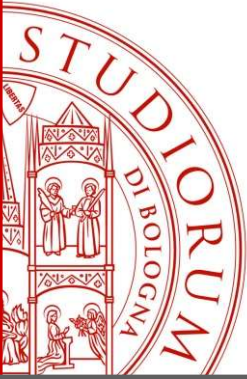
Carbamazepine isotherms in WWTP effluent





Adsorption of CARBAMAZEPINE (CBZ) in continuous flow tests conducted with different sorbents at very low contact time





Pilot plant for pharmaceutical removal FILTRATION + ADSORPTION

Section 1: 1 mm Filtration

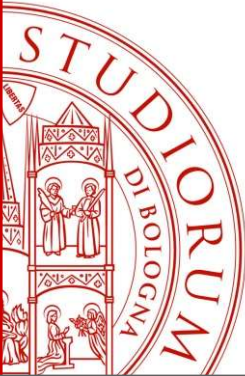
Section 2: Adsorption



Pilot plant main features:

- Flow rate: 30-90 L/d
- Storage tanks = 120 L
- Bed height = 0.60-1.0 m
- Adsorption contact time (EBCT) = 3 – 30 min
- Fully automatic control through a PLC

→ The pilot started to operate at the Bologna WWTP in May 2025



Linea 2: Recupero di fosforo e ammonio da acque reflue per produrre fertilizzanti

Obiettivo generale: sviluppare e ottimizzare un processo per il recupero selettivo di fosfato e ammonio dalle acque reflue mediante adsorbimento e/o scambio ionico, al fine di produrre miscele con capacità fertilizzante

Perché dovremmo recuperare fosfato e ammonio?

Chemical & Engineering News
GREEN CHEMISTRY

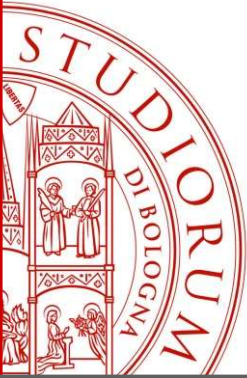
Industrial ammonia production emits more CO₂ than any other chemical-making reaction. Chemists want to change that

Scientists around the world are working to reduce how much greenhouse gas the ammonia-making process emits

by *Leigh Krletsch Boerner, special to C&EN*

JUNE 15, 2019 | APPEARED IN **VOLUME 97, ISSUE 24**

Collaborazioni internazionali: l'attività è svolta nell'ambito del progetto di PRIN research project “GEA”.



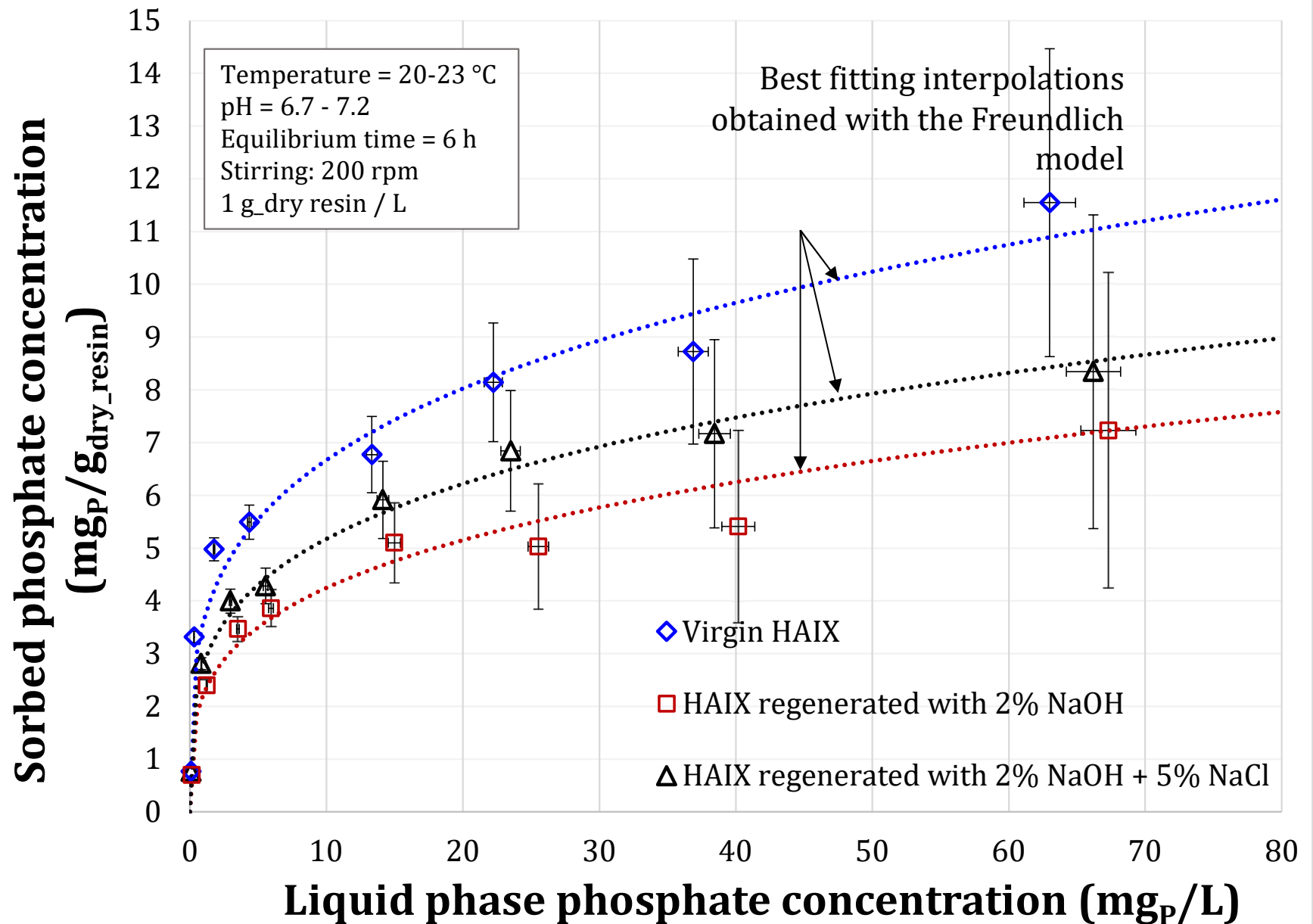
Linea 2: Recupero di fosforo e ammonio da acque reflue per produrre fertilizzanti

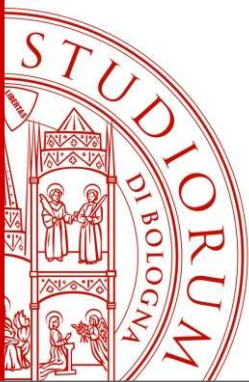
Attività specifiche:

1. Test di diverse resine di adsorbimento / scambio ionico, per selezionare quella ottimale; questo passaggio include sia test batch (isoterme) che test in continuo, condotti principalmente con WW reale;
2. Test di diversi solventi e procedure di desorbimento, per selezionare quello ottimale; questo passaggio include principalmente test in continuo;
3. Individuazione delle condizioni operative ottimali per il processo di adsorbimento e per il processo di desorbimento;
4. Sviluppo di un modello cinetico e fluidodinamico del processo, sia per l'adsorbimento che per la fase di desorbimento;
5. Sviluppare un'analisi costi-benefici (CBA) e una valutazione del ciclo di vita (LCA) del processo.

Resin selection for phosphate adsorption: isotherms

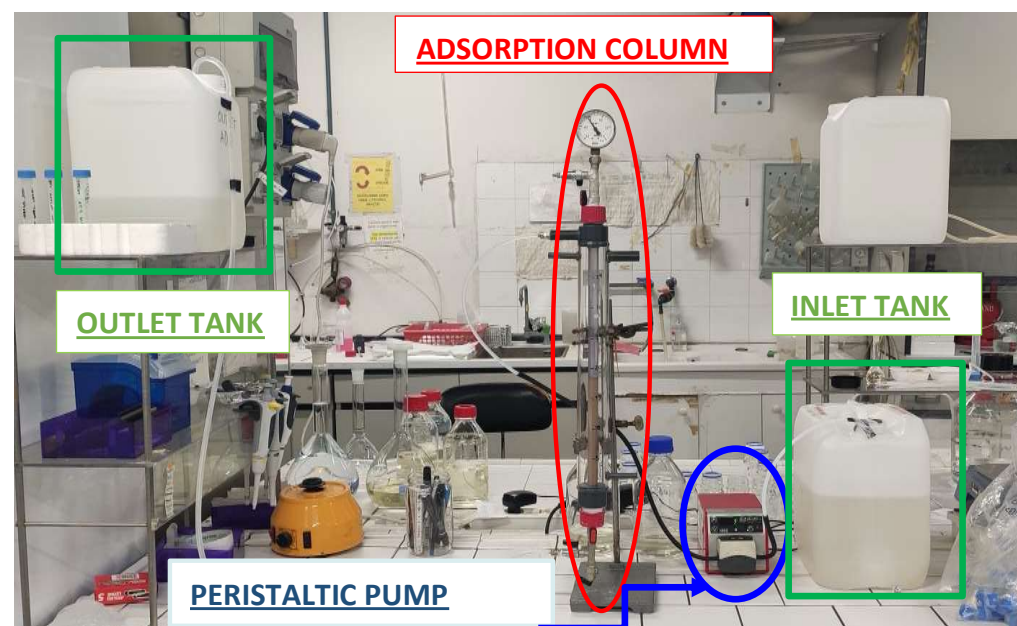
Isotherms with actual wastewater



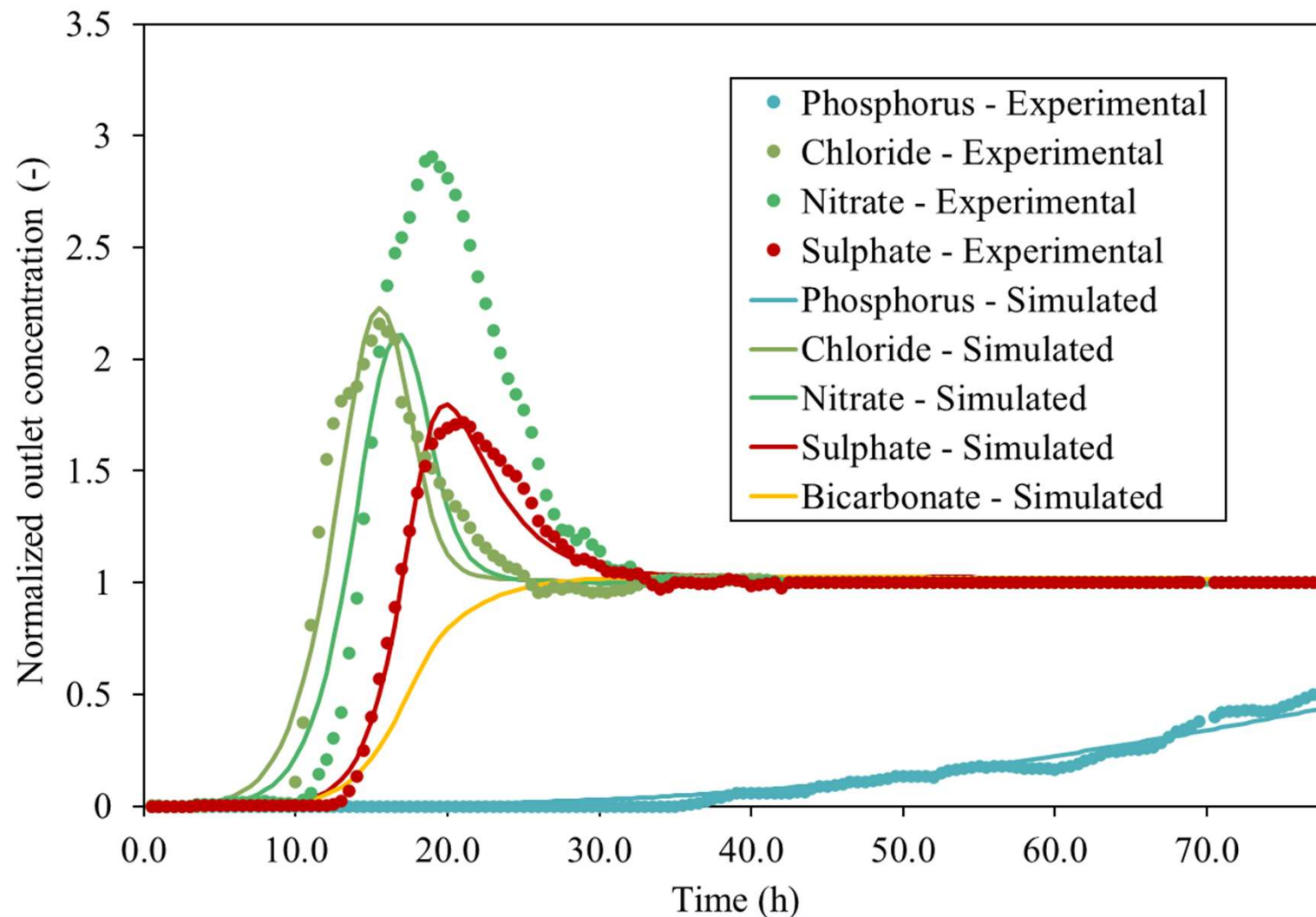


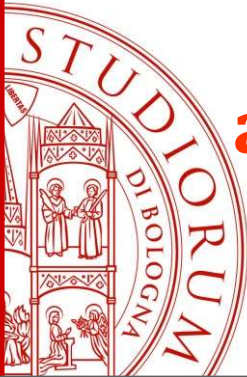
Pilot-plant for the continuous-flow adsorption and desorption of phosphate and/or ammonium

- Fully automatic plant controlled by a PLC
- Jacketed column to work at constant temperature
- Continuous flow monitoring of conductivity and pH at the outlet
- Automatic sampling at the inlet and outlet
→ analysis of the main anions and cations by Ion Chromatography



Breakthrough curves phosphate and other anions: experimental data and best-fitting simulations





Line 3: Wastewater treatment by microalgae and microalgae valorization for the production of biostimulants

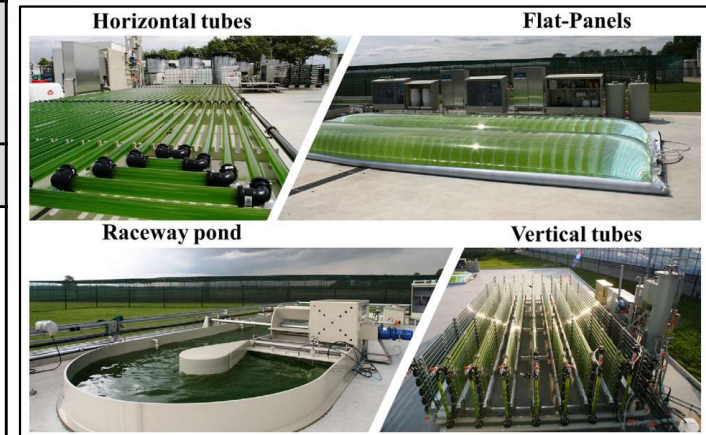
Industrial PhD co-financed by HERA

General goal: to develop and optimize a process of wastewater treatment using microalgae, and to convert the microalgae in fertilizers

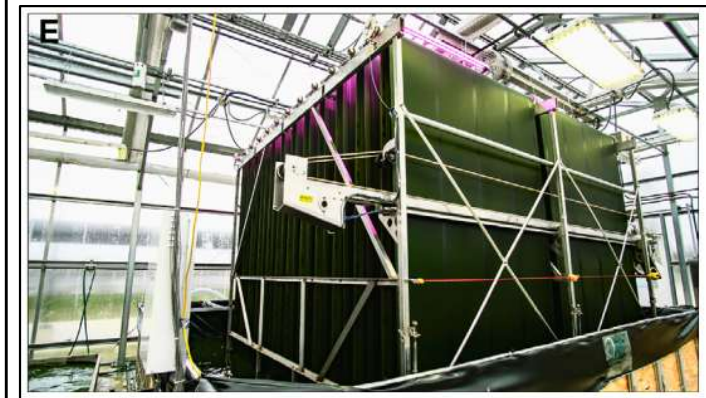
Collaborations: the activity is performed in collaboration with the HERA group.

Tipologie di reattori per la depurazione di acque reflue con microalghe

	Sistemi di coltivazione a biomassa sospesa		Sistemi di coltivazione a biomassa immobilizzata
	Aperti	Chiusi	Reattori a biofilm
Efficienza fotosintetica	Bassa	Alta	Alta
Rapporto superficie/volume	Basso	Alto	Alto
Scambio di gas	Medio	Basso	Alto
Evaporazione	Alta	Bassa	Bassa
Controllo sul processo	Basso	Alto	Medio
Contaminazione	Alta	Bassa	Media
Produttività in biomassa	Bassa	Alta	Alta
Costi di investimento	Bassi	Alti	Alti
Costi operativi	Bassi	Alti	Alti
Superficie necessaria	Alta	Bassa	Bassa
Scalabilità	Alta	Media	Bassa
Raccolta biomassa	Difficile	Difficile	Semplificata



Sistemi a biomassa sospesa



Sistemi a biomassa immobilizzata

F. Wollmann, S. Dietze, J.U. Ackermann, T. Bley, T. Walther, J. Steingroewer, F. Krujatz. Microalgae wastewater treatment: Biological and technological approaches. Eng Life Sci. 2019; 19:860-871

Impianti full scale per la depurazione di acque reflue municipali con microalghe su scala reale



Spagna (Agramón, Chiclana de la Frontera, Mérida e Almería)

Impianti con capacità fino a 1000 m³/giorno e 5000 AE.

Sono costituiti da un sistema di pretrattamento e una laguna di microalghe di un ettaro. Sono stati realizzati nell'ambito del progetto SABANA.



Nuova Zelanda (Christchurch)

Sistema da 5 ettari per il trattamento delle acque reflue sedimentate, composto da quattro stagni da 1,25 ettari ciascuno. Hanno dimostrato riduzioni significative di nutrienti, BOD ed E. coli.

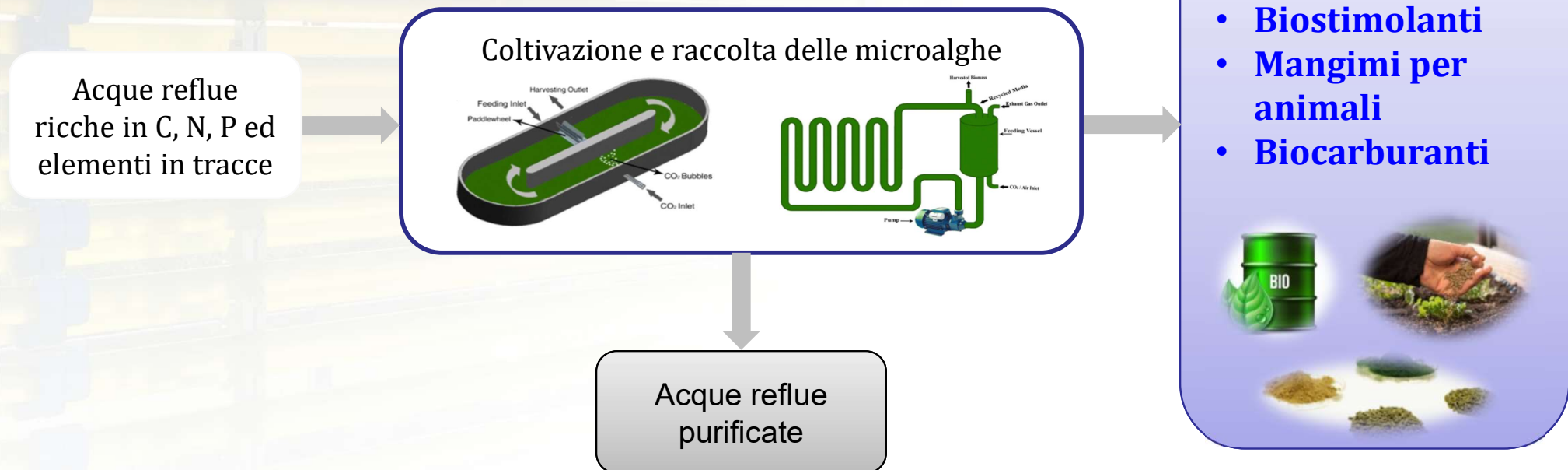
SABANA Project <https://cordis.europa.eu/project/id/727874>

Sutherland, D. L., & Ralph, P. J. (2020). 15 years of research on wastewater treatment high-rate algal ponds in New Zealand: discoveries and future directions. *New Zealand Journal of Botany*, 58(4), 334–357. <https://doi.org/10.1080/0028825X.2020.1756860>

Prodotti del processo di depurazione delle acque reflue con microalghe

La coltivazione di microalghe nelle acque reflue permette di associare alla rimozione di nutrienti dal refluo la produzione di biomassa algale, consentendo:

- La valorizzazione della biomassa prodotta come materia prima seconda per ottenere **bio-prodotti con valore di mercato**
- L'uso di un **mezzo di crescita per le alghe a costo zero**
- La **riduzione del costo di trattamento delle acque reflue**



Xiao-ya Liu, Yu Hong. Microalgae-Based Wastewater Treatment and Recovery with Biomass and Value-Added Products: a Brief Review. Current Pollution Reports (2021) 7:227–245

I fotobioreattori realizzati nell'ambito di Algae to value

Raceway Pond



Reactor	Volume (L)	Superficie illuminata (m ²)
Raceway pond (RWP)	280	4.3
Tubular Glass Reactor (TGR)	340	5.8

Tubular Glass Reactor

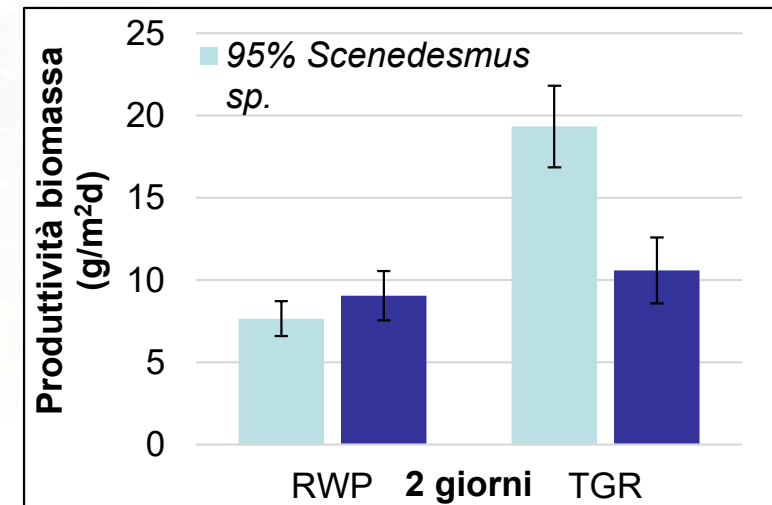


- Costruzione: marzo-giugno 2024
- Installazione: luglio 2024
- Start-up e conduzione in batch: agosto-ottobre 2024
- Conduzione in semi-continuo: da novembre 2024, con portate di refluo (e quindi apporto di nutrienti) decrescenti al decrescere della radiazione solare

Produttività in biomassa algale ottenute in batch ed in semi-continuo

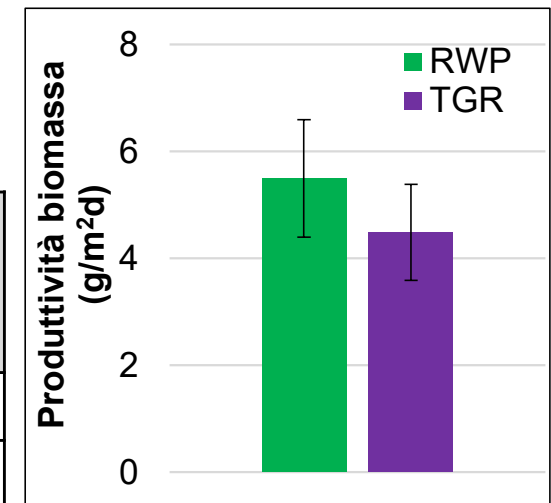
Test condotti in batch

	Radiazione orizzontale media (MJ/m ² d)	Reattore	Produttività biomassa nei primi 2 giorni (g/m ² d)	Consumo di energia termica (kWh/m ² d)
TEST1 95% <i>Scenedesmus</i> sp.	20.7	RWP	7.65	3.8
		TGR	19.34	6.8
TEST2 95% <i>Chlorella</i> sp.	13.5	RWP	9.05	1.5
		TGR	10.58	2

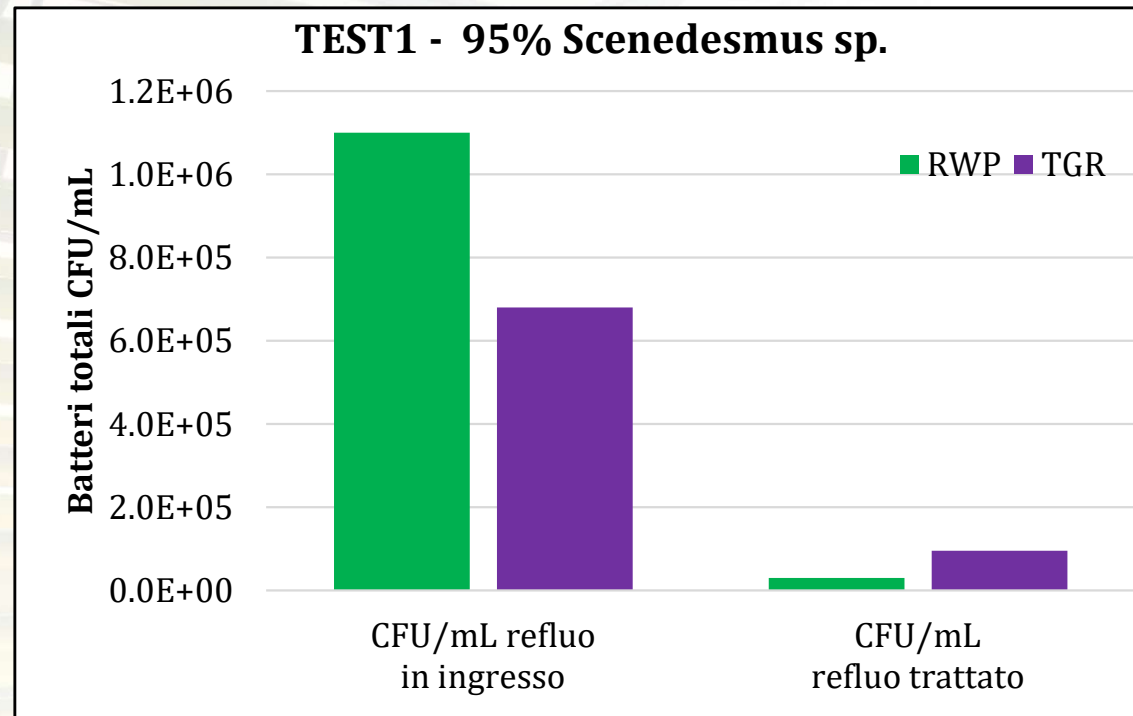


Test condotto in semi-continuo

	Radiazione orizzontale media (MJ/m ² d)	Reattore	Produttività biomassa media (g/m ² d)	Consumo di energia termica (kWh/m ² d)	Efficienza uso radiazione solare (g/MJ)
TEST1 Consorzio autoctono 95% <i>Scenedesmus</i> sp.	6,85	RWP	5,5	2,8	0,85
		TGR	4,5	3,4	0,59

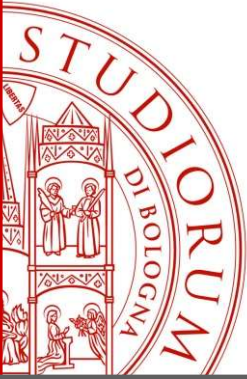


Rimozione nutrienti e capacità di disinfezione ottenute in batch



	Radiazione orizzontale media (MJ/m ² /d)	Reattore	Rimozione % TN	Rimozione % TP	Rimozione % COD	Batteri totali UFC/mL refluo in ingresso	Batteri totali UFC/mL refluo trattato
TEST1 95% <i>Scenedesmus sp.</i>	20.7	RWP	100%	100%	67%	110e+4	3e+4
		TGR	100%	100%	34%	68e+4	9.54e+4
TEST2 95% <i>Chlorella sp.</i>	13.5	RWP	97%	100%	83%	30e+4	21e+4
		TGR	98%	100%	75%	125e+4	62e+4



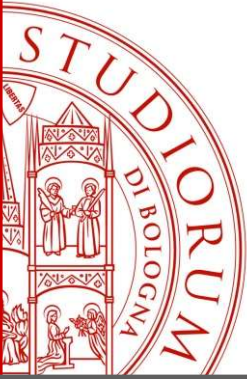


Linea 4: produzione biologica di metano/idrogeno (digestione anaerobica) da rifiuti organici e acque reflue

Obiettivo generale: sviluppare e ottimizzare un processo di digestione anaerobica di rifiuti o acque reflue per il quale il processo non è ancora sviluppato su scala industrial con lo scopo di produrre biogas (metano/idrogeno).

- I test vengono eseguiti in reattori a temperatura controllata (intervallo di volume: 1-30 L). Il processo è studiato in condizioni di flusso continuo e in batch.

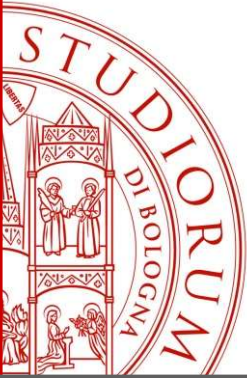
Collaborazioni: l'attività viene svolta in collaborazione con il gruppo HERA.



Linea 4: produzione biologica di metano/idogeno (digestione anaerobica) da rifiuti organici e acque reflue

Attività specifiche:

- Test di diversi rifiuti organici urbani e industriali (siero di latte di formaggio, alghe, reflui di polpa, residui agricoli, rifiuti organici urbani);
- Sviluppo di innovativi tipi di reattori a biomassa adesa (biofilm);
- Ottimizzazione del processo in termini di tempo di ritenzione, velocità di carico organico, tipo e intensità di miscelazione, temperatura, tipo di supporto per il biofilm, aggiunta di macro e micronutrienti (N, P, vitamine, ...)
- Testare pretrattamenti adeguati (termici, enzimatici o chimici);
- Sviluppare e calibrare un modello fluidodinamico e cinetico;
- Sviluppare un'analisi costi-benefici (CBA) e una valutazione del ciclo di vita (LCA) del processo.



Competenze che possono essere acquisite grazie alla tesi sperimentale su questi argomenti

- Uso di strumenti di analisi di laboratorio (gascromatografia, cromatografia liquida, spettrofotometria);
- Installazione e funzionamento di impianti pilota da laboratorio (1-30 L);
- Funzionamento di sistemi automatici per il controllo di processo (pH, temperature, ...);
- Interpretazione di dati sperimentali mediante modelli cinetici e fluidodinamici; calibrazione dei modelli mediante l'uso di software come Aspen, Comsol Multiphysics e Matlab;
- Partecipazione a incontri di ricerca, con l'opportunità di presentare periodicamente i risultati al team di ricerca.