

NUOVI SCENARI NEL TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE

Palermo, 1 Agosto 2025



PROCESSI E TRATTAMENTI AVANZATI PER L'ADEGUAMENTO DEGLI IMPIANTI DI TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE IN ACCORDO ALLA DIRETTIVA UE 2024/3019

Prof.ssa Anna Laura EUSEBI - Università Politecnica delle Marche



UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE

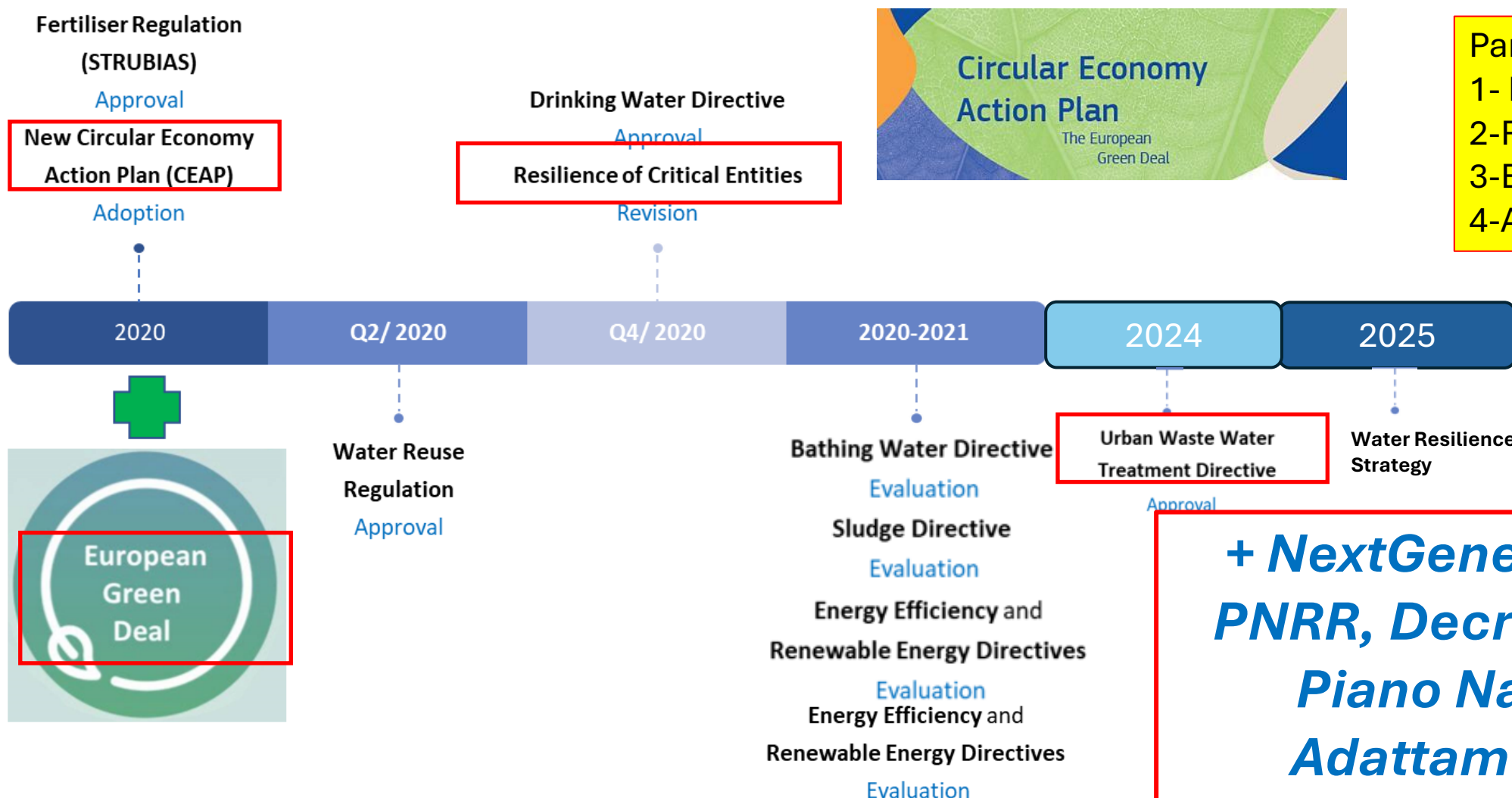


Con il patrocinio di:



EVENTO ORGANIZZATO NELL'AMBITO DEL PROGETTO SMARTEE-PLANTS: SMART ENERGY-EFFICIENCY WASTEWATER TREATMENT PLANTS FINANZIATO DAL PROGRAMMA OPERATIVO COMPLEMENTARE (POC) 2014-2024 DELLA REGIONE SICILIANA - PROGETTO N. 08CT36000000330

Veniamo da un **quadriennio cruciale** per **RIVEDERE/RINNOVARE** settore idrico in Unione Europea



Parole Chiave
 1- DECARBONIZZAZIONE
 2-RESILIENZA
 3-ECONOMIA CIRCOLARE
 4-ANALISI DI RISCHIO

**+ NextGeneration EU ,
 PNRR, Decreto siccità,
 Piano Nazionale
 Adattamento CC**

EVIDENZA	NEUTRALITA' ENERGETICA
ASPETTI IN DIRETTIVA	<ul style="list-style-type: none">Il suddetto obiettivo dovrebbe essere conseguito progressivamente, con traguardi intermedi, entro il 31 dicembre 2045. Una quantità limitata di energia non fossile, non connessa direttamente alle attività di trattamento delle acque reflue urbane, può essere acquistata a partire da fonti esterne nel 2040 e nel 2045, ricorrendo a una deroga legata a condizioni. Il raggiungimento della neutralità energetica contribuirà in particolare a ridurre le emissioni evitabili di gas a effetto serra del settore, sostenendo nel contempo il perseguimento degli obiettivi di neutralità climatica entro il 2050 e degli obiettivi nazionali e dell'Unione ad essi connessi, come quelli fissati nel regolamento (UE) 2018/842 del Parlamento europeo e del ConsiglioLe iniziative volte a conseguire la neutralità energetica non dovrebbero tuttavia comportare un aumento delle emissioni di metano e di protossido d'azoto

EFFICIENZA ENERGETICA NEGLI IMPIANTI DI TRATTAMENTO



1° Livello

DIAGNOSI DEI CONSUMI ENERGETICI = AUDIT ENERGETICO

- ❑ “What gets measure gets managed”
- ❑ effettuare misurazioni significa diventare consapevoli dei consumi
- ❑ un dettagliato audit energetico permette di **COMPRENDERE** (→ **RIDURRE**) l'energy footprint
- ❑ **si stima un 5% di risparmio solo conoscendo i consumi (senza altri interventi)**
- ❑ tutti gli impianti di depurazione hanno un potenziale di risparmio energetico

osservazioni reali → esiste almeno un comparto in cui il consumo energetico può essere ridotto

Obbligo attuale per Grandi Imprese, Energivore, secondo Metodi ISO 50001, oppure ISO 140001, oppure EMAS

Commissione europea **CORDIS** Risultati della ricerca dell'UE Italiano Ricerca

HOME PACK TEMATICI PROGETTI E RISULTATI VIDEO E PODCAST NOTIZIE A PROPOSITO DI NOI RICERCA ACCEDI

Standard method and online tool for assessing and improving the energy efficiency of wastewater treatment plants

Scheda Informativa Risultati in breve Rendicontazione Risultati

View PDF Download full issue

ELSEVIER Applied Energy Volume 242, 15 May 2019, Pages 897-910

ENERWATER – A standard method for assessing and improving the energy efficiency of wastewater treatment plants

S. Longo^{a,1}, M. Mauricio-Iglesias^a, A. Soares^b, P. Campo^b, F. Fatone^c, A.L. Eusebi^c, E. Akkersdijk^d, L. Stefani^e, A. Hospido^a

Show more

TECHNICAL REPORT **CEN/TR 17614**

RAPPORT TECHNIQUE

TECHNISCHER BERICHT January 2021

ICS 13.060.30; 27.015

English Version

Standard method for assessing and improving the energy efficiency of waste water treatment plants

Méthode standard d'évaluation et d'amélioration de l'efficacité énergétique des stations d'épuration Standardmethode zur Bewertung und Verbesserung der Energieeffizienz von Kläranlagen

This Technical Report was approved by CEN on 4 January 2021. It has been drawn up by the Technical Committee CEN/TC 145.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Republic of North Macedonia, Romania, Serbia, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey and United Kingdom.

ESEMPI

Fig. 1 – Logo e maschera grafica di dialogo del software DEES - Depurazione Efficienza Energetica e Sostenibilità, sviluppato da ENEA per la definizione di scenari di efficienza energetica dei processi depurativi.

2°
Livello

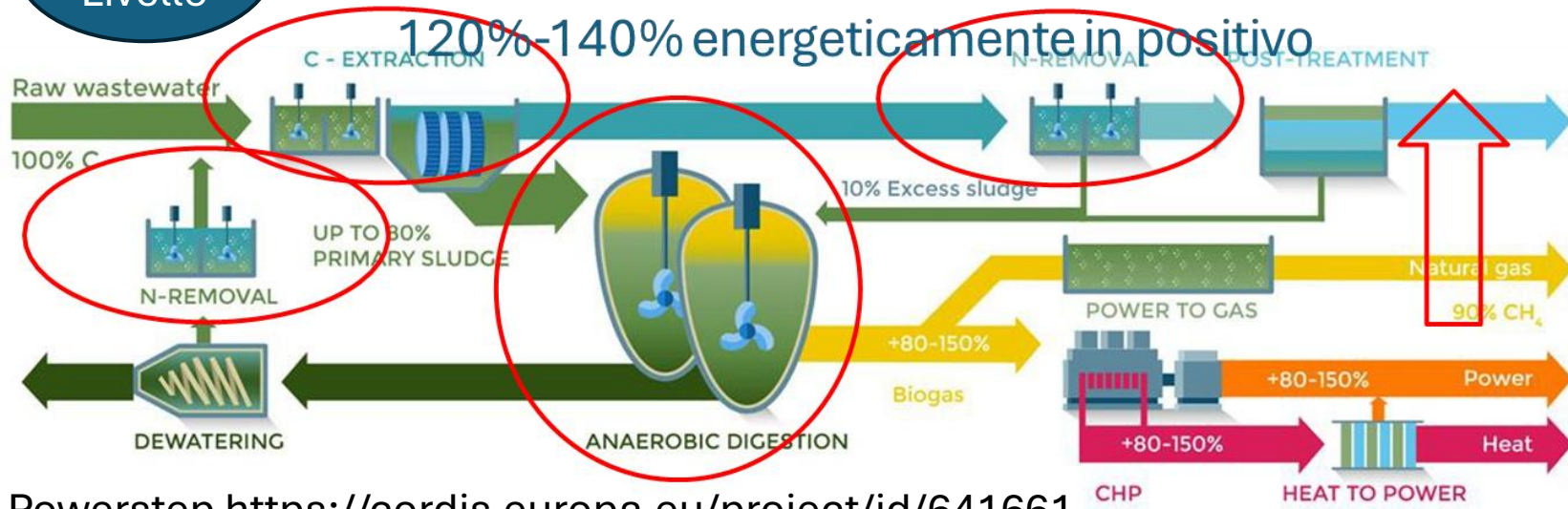
- **elevato risparmio energetico e modifica delle filiere della linea acque**
- **alta efficienza di conversione (elettromeccanica)**

Modulo POWERSTEP (www.powerstep.eu)

- 1) Separazione spinta a monte del carbonio verso la digestione anaerobica
- 2) Efficienza energetica nella linea acque
- 3) Trattamento dedicato dei surnatanti anaerobici (alto carico N e P)

3°
Livello

Co-digestione anaerobica di fanghi e FORSU
120%-140% energeticamente in positivo



Powerstep <https://cordis.europa.eu/project/id/641661>

Caso di studio: Ejby Mølle – Odense (385.000 AE)



Energeticamente
positivo:
+ 150%

Caso studio: Strass WRRF



In 2011:
-250 000 PE
-37 000 m3/d Winter
-23 000 m3/d Summer

Produzione energia da
cogenerazione biogas >> 50-100%
del consumo elettrico
dell'impianto ottimizzato

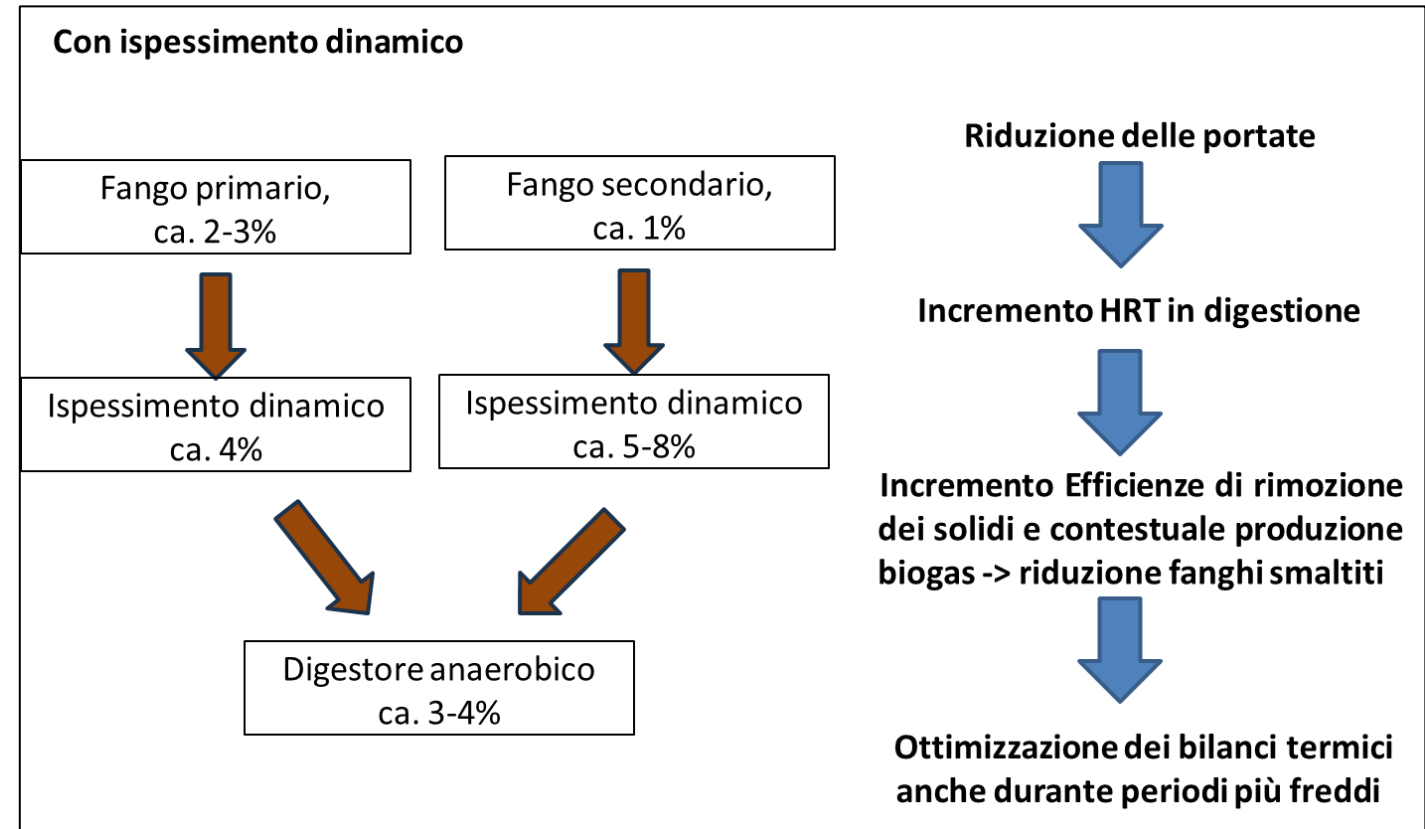
Strategie di ottimizzazione/intensificazione del processo di digestione anaerobica

-> Verifica delle condizioni operative (HRT, SRT, temperatura..)

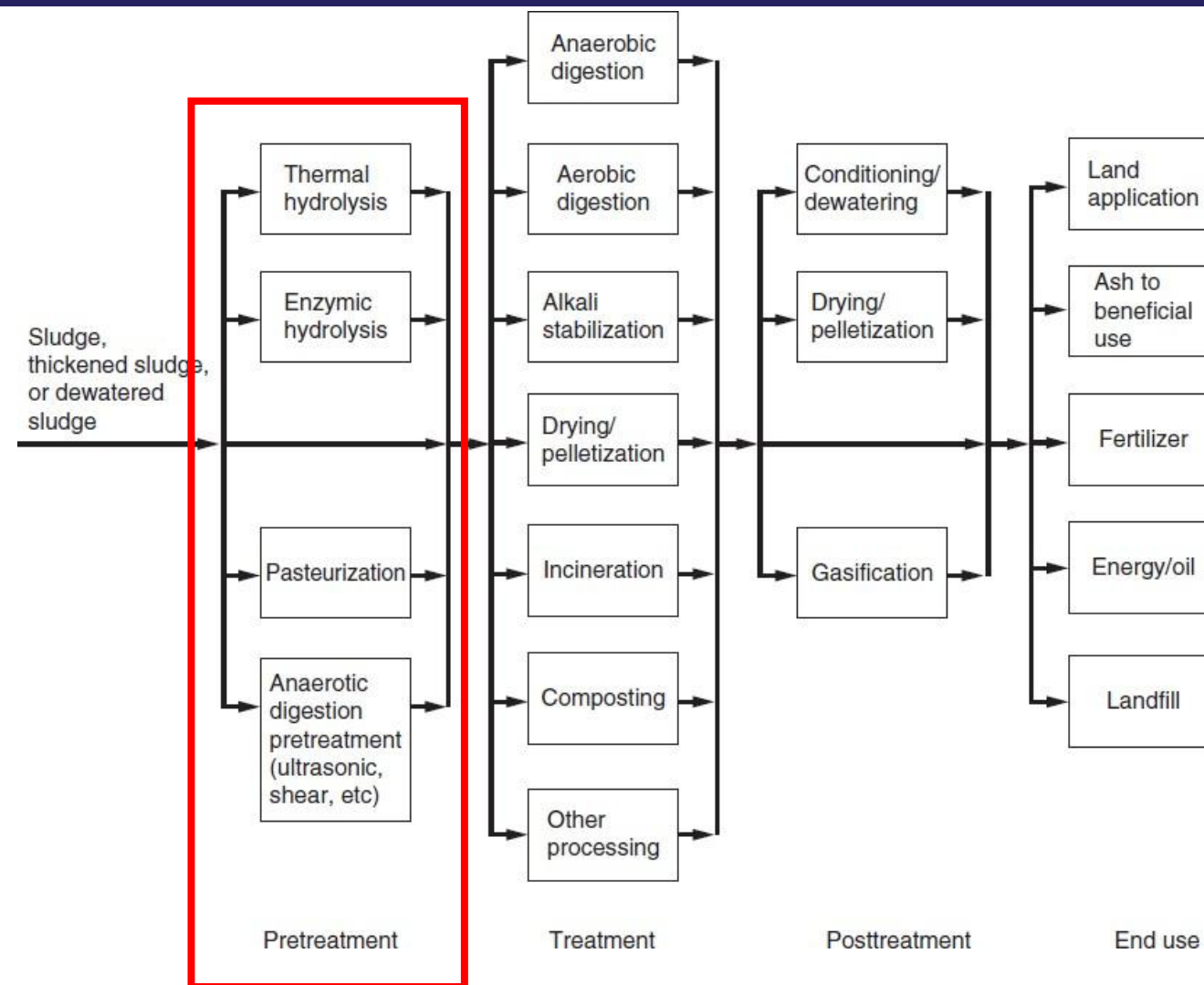
-> Valutazione configurazioni di processo alternative e mescolamento: fase singola/doppia fase/plug-flow

-> Eventuali pretrattamenti (aumentare biodegradabilità dei fanghi);

-> Co-digestione anaerobica (rifiuti organici urbani, rifiuti prodotti dal settore primario...)



Trattamento fanghi: molte combinazioni disponibili

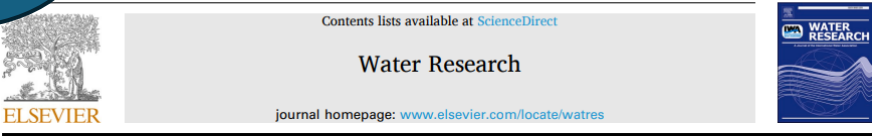


Courtesy of Nicola Frison

Pretrattamento	Descrizione	Range tipici di lavoro	Benefici
Idrolisi termica	Processo che utilizza il calore per rompere i legami organici complessi nei fanghi, rendendo i substrati più facilmente biodegradabili per i microrganismi.	Temperatura: 150-180°C; Tempo: 30-60 min;	Fino al 30% in più come produzione di biogas;
Idrolisi chimica	Aggiunta di reagenti alcalini per alterare la struttura del materiale organico migliorandone la digeribilità	pH 12-13 per 1-2 ore; Temperatura: 60-100 °C	Fino al 50-60% di rimozione della materia organica
Ossidazione ozono	Aumento della biodisponibilità mediante ossidazione dei composti organici complessi	Dose di ozono: 1-10 g O ₃ /g sostanza secca; Tempo: 10-60 min	Fino al 25-40% nella rimozione di materia organica
Trattamento con ultrasuoni	Aumento della biodisponibilità mediante l'azione delle onde acustiche ad alta frequenza	Frequenza: 20-40 kHz; Potenza: 20-100 W/L; Durata: 10-60 min	Fino al 20-30% in più di biogas
Trattamenti meccanici con modifica della reologia	Trattamenti fisici, come tritura e pressatura, che aumentano la superficie di contatto dei materiali organici con i microrganismi, migliorando la digestione.	Pressione: 10-100 bar	Circa 10-15% in più come produzione di biogas

Svantaggi:

- Necessaria valutazione su impatto energetico, consumo di chemicals....;
- Alcune tecnologie richiedono competenze specifiche;
- Effetto sui ritorni di azoto, fosforo e sostanze recalcitranti -> valutazione impatti nella linea acque



Review
Interconnection between renewable energy technologies and water treatment processes
Paula Jungwon Choi, Jechan Lee*, Am Jang*
Department of Global Smart City, Sungkyunkwan University (SKKU), 2066 Seobu-ro, Jangnam-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, 16419, Republic of Korea

ARTICLE INFO
Keywords:
Alternative energy
Carbon neutrality
Hybrid system
Sustainable process
ABSTRACT
The renewable-energy-based water-energy nexus is a promising approach that contributes to climate change mitigation. Increasing concerns on GHG emission and energy demand, policies have been implemented in many countries to make use of renewable energy as much as possible. Renewable energy technologies can be directly employed in desalination processes, including membrane-based (e.g., reverse osmosis (RO) and membrane distillation (MD)) and thermal-based (e.g., multistage flash distillation (MSF)) processes (RO, MD, and MED) are after desalination processes have



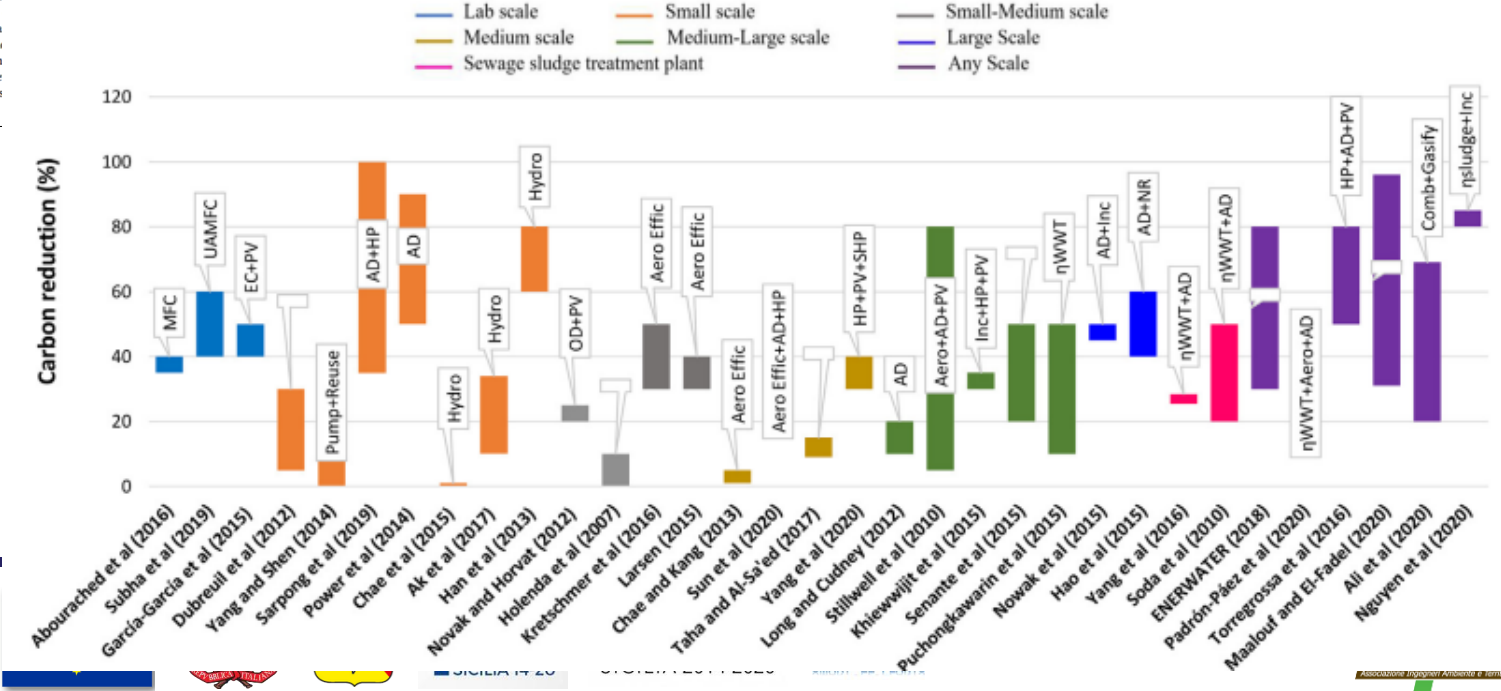
A review of energy optimization modelling tools for the decarbonisation of wastewater treatment plants
Shalini Nakkasunchi^{a,*}, Neil J. Hewitt^a, Claudia Zoppi^b, Caterina Brandoni^a
^a Centre for Sustainable Technologies, Belfast School of Architecture and the Built Environment, Faculty of Computing, Engineering and the Built Environment, University of Ulster, Newtownabbey, County Antrim, BT37 0QB, United Kingdom
^b Aest Spa, Wastewater Utility, Via Enrico Mattei 17, Fano, PS, 61032, Italy

ARTICLE INFO
Article history:
Received 23 January 2020
Received in revised form 28 July 2020
Accepted 15 August 2020
Available online 22 August 2020
Handling Editor: Jiri Jaromir Klemes
Keywords:
Modelling tools
Wastewater treatment
Energy optimization
Energy recovery
Renewable energy
ABSTRACT
Wastewater treatment plants strongly contribute to the Greenhouse Gas emissions of the water industry and are responsible for the 3% of the global energy demand. This proportion of energy is expected to double in the coming decade. It is therefore important to correctly investigate the optimal use of energy in wastewater treatment facilities that can reduce their Greenhouse Gas emissions. A review was developed on modelling tools that can be used for the analysis of the water-energy nexus in wastewater facilities, from over 200 research articles collected from different scientific resources published in the last 15 years. The aim was to analyse the state of art of existing tools to provide an aid for researchers and professionals to identify the most suitable tool to investigate decarbonisation strategies for wastewater facilities. Studies were grouped on the basis of the main intervention analysed: i) reduction of energy demand, ii) energy production from wastewater and iii) integration of the available renewable sources on-site (e.g. PV, hydro). The work developed also provides an overview of the most applicable decarbonisation strategies and their potential to reduce the CO₂ emissions of wastewater facilities. Results show that identifying the best tool strongly depends on the main aim of the intervention. Existing tools, in fact, can help to analyse separately either technologies to reduce the energy demand or the integration of the most common renewable sources from both wastewater (i.e. biogas and heat recovery) and renewable sources exploitable on site. However, the full decarbonisation of wastewater facilities can only happen by integrating different energy savings and renewables solutions. There is, therefore, the need for

1) NEUTRALITA' ENERGETICA

Overview of the models on WW treatment energy optimization, Energy recovery technologies and Renewables.

Reference	WW treatment technique	Energy recovery technology	Renewable technology	Energy optimization goal	Energy generation	Study location
Power et al. (2014)	Not specified, however mainly based on Activated	–	Micro hydropower (MHP)	Minimization of flow variation and payback	Up to 50%	Ireland and UK
Chae et al. (2015)	–	–	MHP	Effluent flow	0.83%	Kiheung Respia WWTP in Yongin (South Korea)
Ak et al. (2017)	–	–	MHP	Type of turbine and payback period	34%	Tatlar WWTP in Ankara (Turkey)
Chae and Kang (2013)	–	HP	Solar PV and Small hydropower	Optimizing size of the energy system	7–9% electricity and over 100% heat	Kiheung Respia municipal WWTP in Korea
Han et al. (2013)	Oxidation ditch	–	Solar PV	COD, Nitrogen and Phosphorus removal	100% electricity	–
García-García et al. (2015)	Electro-coagulation and Electro-oxidation	–	Solar cell	TOC, COD, Colour and Turbidity removal	100%	–
Hao et al. (2015)	–	AD and HP	Solar PV	Energy generation process	upto 60%	Municipal WWTP in Benjing (China)
Brandoni and Bošnjaković (2017)	Activated sludge process and Membrane bioreactor	AD	Solar PV and Wind	Optimal combination of energy sources	33–55%	Bahir Dahr, Ethiopia, Africa
Taha and Al-Sa'ed (2017)	Activated sludge process, Extended aeration and Membrane bioreactor	AD	Solar PV	Energy generation process	9–15%	WWTPs in Palestinian
Yang et al. (2020)	Anaerobic-Anoxic-Aerobic (AAO) process	Incineration and HP	Solar PV	Optimal combination of energy generation at source (WW and renewables)	Above 40%	WWTPs in China
Nguyen et al. (2020)	–	–	Solar PV, Wind,	Optimal combination of	Approximately 85%	WWTP in Vietnam



Impiego dei modelli di simulazione a supporto dell'efficienza energetica negli impianti di depurazione.

Modelli di simulazione applicati alla depurazione dei reflui municipali

- Activated Sludge Model (ASM), distinti in ASM1, 2 e 3
- BioWin (www.envirosim.com),
- EFOR (www.dhisoftware.com/efor),
- GPS-X (www.hydromantis.com),
- SIMBA (www.ifak-system.com),
- STOAT (<http://www.wrcplc.co.uk/software>)
- WEST (www.hemmis.com)
-

Disponendo di un modello, calibrato sulle prestazioni di uno specifico impianto, è possibile **ipotizzare scenari di gestione o modifiche di processo al fine di valutare soluzioni implementabili per un efficientamento delle performance impiantistiche**, tenendo conto delle rimozioni di inquinanti e dei consumi energetici.

EVIDENZA	RIMOZIONE AVANZATA AZOTO E FOSFORO E RECUPERO FOSFORO DAI FANGHI
ASPETTI IN DIRETTIVA	<ul style="list-style-type: none">È opportuno imporre sistematicamente il trattamento terziario a tutti gli impianti di trattamento delle acque reflue urbane che trattano un carico di 150 000 a.e. o più, in quanto detti impianti rappresentano un'importante fonte residua di scarichi di azoto e fosforo.preparano al riutilizzo, al riciclaggio e ad altri tipi di recupero delle risorse, in particolare del fosforo e dell'azoto, tenendo conto delle opzioni di valorizzazione nazionali o locali; Alla Commissione è conferito il potere di adottare atti delegati secondo la procedura di cui all'articolo 27 per integrare la presente direttiva specificando un tasso minimo combinato di riutilizzo e riciclaggio del fosforo presente nei fanghi e nelle acque reflue urbane non riutilizzate ai sensi della deroga di cui all'articolo 15, paragrafo 1

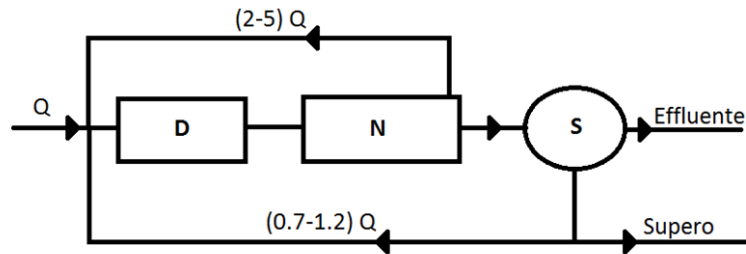
Parametri	Concentrazione	Percentuale minima di riduzione (cfr. note 1 e 2)	Metodo di riferimento per la misurazione
Fosforo totale (cfr. nota 4)	0,7 mg/l (10 000 – 150 000 a.e.) 0,5 mg/l (oltre 150 000 a.e.)	87,5 (10 000 – 150 000 a.e.) 90 (oltre 150 000 a.e.)	Spettrofotometria di assorbimento molecolare
Azoto totale (cfr. nota 4)	10 mg/l (10 000 – 150 000 a.e.) 8 mg/l (oltre 150 000 a.e.) (cfr. nota 5)	80 (cfr. nota 3)	Spettrofotometria di assorbimento molecolare

Nota 2: Se una frazione delle acque reflue urbane trattate è utilizzata per l'irrigazione agricola, i nutrienti contenuti in tale frazione possono essere inclusi nel calcolo del carico dell'affluente ed essere esclusi dagli scarichi.

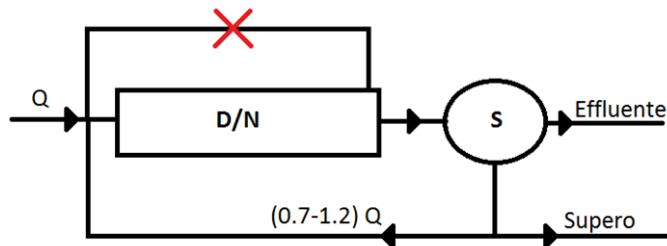
! RIUTILIZZO E FERTIRRIGAZIONE!

I nutrienti contenuti nelle acque reflue urbane possono essere utili nei casi in cui le acque reflue urbane trattate siano riutilizzate in agricoltura conformemente al regolamento (UE) 2020/741. In tali casi, gli Stati membri possono beneficiare, a determinate condizioni volte ad assicurare il massimo livello di protezione dell'ambiente e della salute umana, di una deroga all'obbligo di applicare il trattamento terziario a norma dell'articolo 7 della presente direttiva solo per la parte delle acque reflue urbane trattate che è riutilizzata in agricoltura.

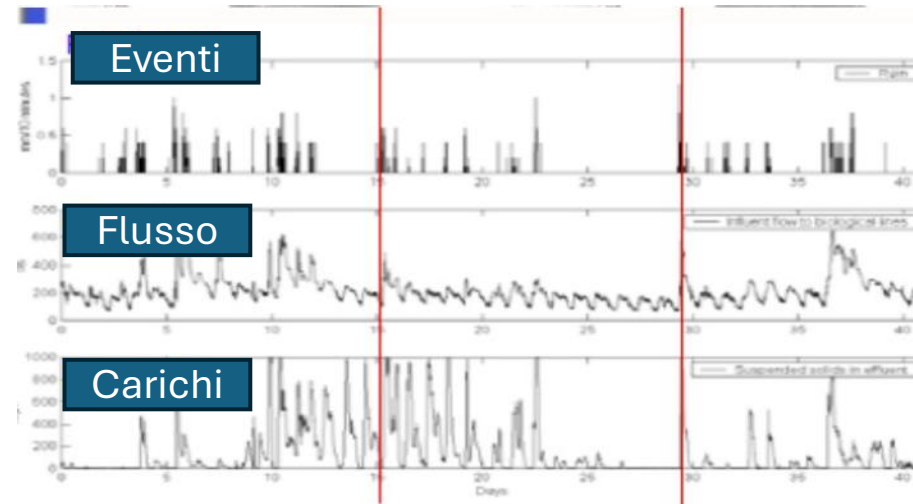
Predenitrificazione



Aerazione intermittente



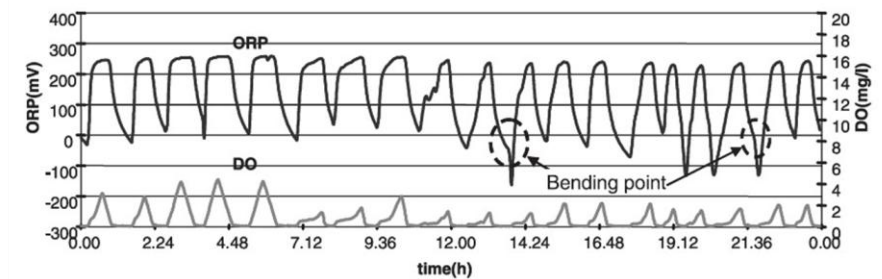
- Ottimizzazioni di controllo
- Applicazioni fasi intermittenti
- Innumerevoli applicazioni su scala reale



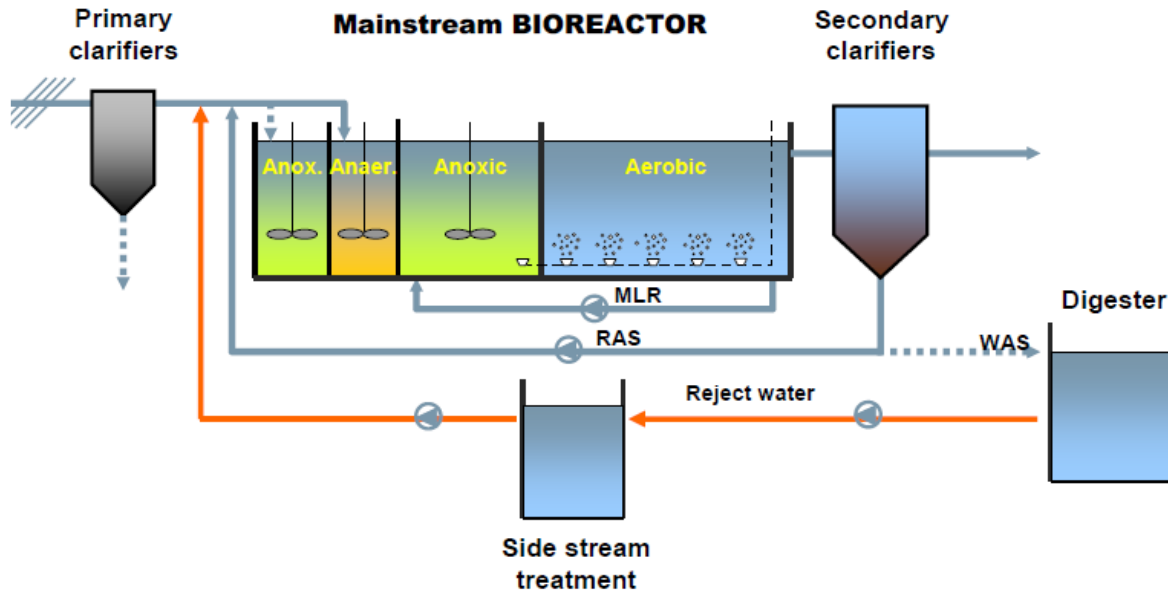
AERAZIONE INTERMITTENTE

- Approccio classico -

- Ci sono **diversi approcci**, alcuni brevettati
- Un approccio prevede il monitoraggio in tempo reale dei **parametri indiretti** (ossigeno, pH, ORP, NH_4 , NO_3 , Conduttività) per scegliere quando aerare



Side stream treatment



AMMONIA CONCENTRATION IN DIGESTERS

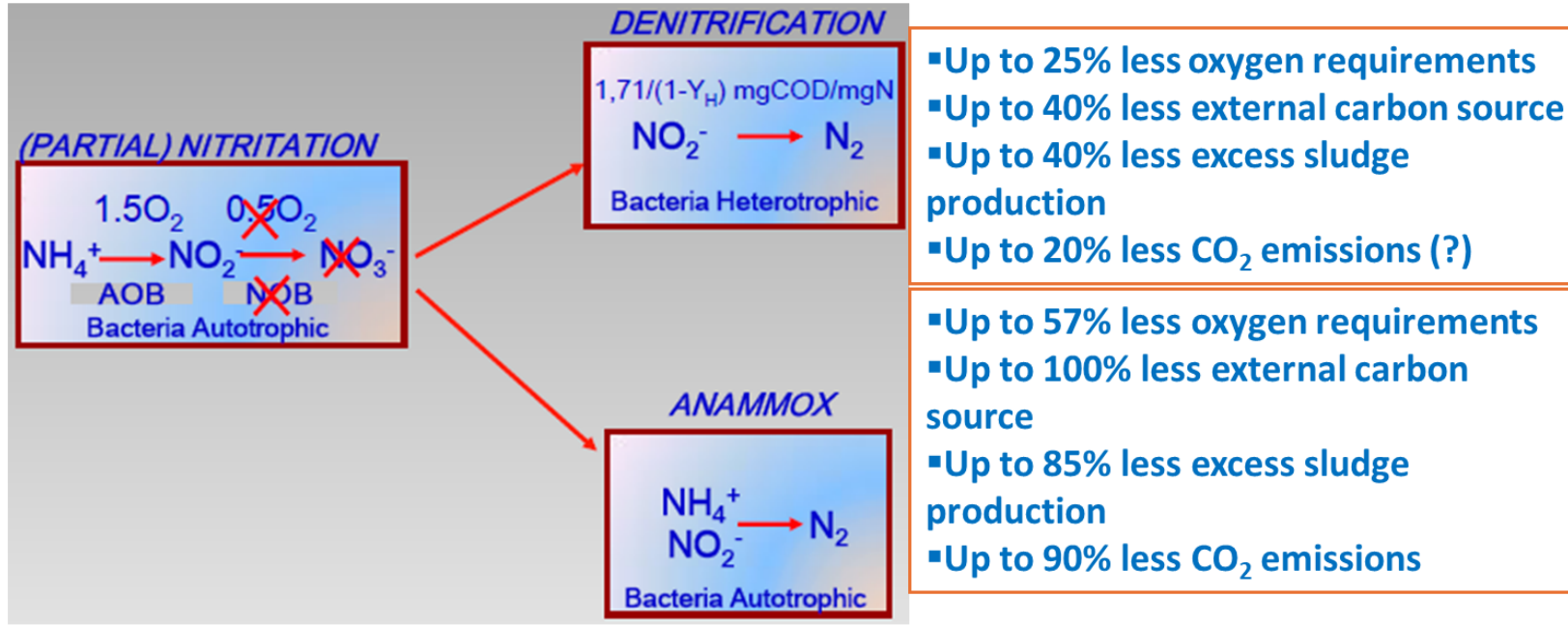
DIGESTER FEED DRY SOLIDS % w/w	DIGESTER AMMONIA CONCENTRATION (mg/l)															
VS DESTRUCTION	50%	51%	52%	53%	54%	55%	56%	57%	58%	59%	60%	61%	62%	63%	64%	65%
3.5	850	850	850	900	900	900	950	950	950	1,000	1,000	1,000	1,050	1,050	1,050	1,100
4.0	950	950	1,000	1,000	1,050	1,050	1,050	1,100	1,100	1,100	1,150	1,150	1,150	1,200	1,200	1,250
4.5	1,050	1,100	1,100	1,150	1,150	1,150	1,200	1,200	1,250	1,250	1,300	1,300	1,300	1,350	1,350	1,400
5.0	1,200	1,200	1,250	1,250	1,300	1,300	1,300	1,350	1,350	1,400	1,400	1,450	1,450	1,500	1,500	1,550
5.5	1,300	1,300	1,350	1,350	1,400	1,450	1,450	1,500	1,500	1,550	1,550	1,600	1,600	1,650	1,650	1,700
6.0	1,400	1,450	1,450	1,500	1,550	1,550	1,600	1,600	1,650	1,650	1,700	1,700	1,750	1,800	1,800	1,850
6.5	1,550	1,550	1,600	1,600	1,650	1,700	1,700	1,750	1,750	1,800	1,850	1,850	1,900	1,900	1,950	2,000
7.0	1,650	1,700	1,700	1,750	1,800	1,800	1,850	1,850	1,900	1,950	1,950	2,000	2,050	2,050	2,100	2,150
7.5	1,750	1,800	1,850	1,850	1,900	1,950	1,950	2,000	2,050	2,050	2,100	2,150	2,200	2,200	2,250	2,300
8.0	1,900	1,900	1,950	2,000	2,050	2,050	2,100	2,150	2,150	2,200	2,250	2,300	2,300	2,350	2,400	2,450
8.5	2,000	2,050	2,050	2,100	2,150	2,200	2,250	2,250	2,300	2,350	2,400	2,450	2,450	2,500	2,550	2,600
9.0	2,100	2,150	2,200	2,250	2,300	2,300	2,350	2,400	2,450	2,500	2,550	2,550	2,600	2,650	2,700	2,750
9.5	2,200	2,250	2,300	2,350	2,400	2,450	2,500	2,550	2,600	2,600	2,650	2,700	2,750	2,800	2,850	2,900
10.0	2,350	2,400	2,450	2,500	2,550	2,550	2,600	2,650	2,700	2,750	2,800	2,850	2,900	2,950	3,000	3,050
10.5	2,450	2,500	2,550	2,600	2,650	2,700	2,750	2,800	2,850	2,900	2,950	3,000	3,050	3,100	3,150	3,200
11.0	2,550	2,600	2,650	2,700	2,800	2,850	2,900	2,950	3,000	3,050	3,100	3,150	3,200	3,250	3,300	3,350

CONVENTIONAL

THP

Rappresentano fino a circa il 25% del carico di azoto e fino al 30% del fosforo totale trattato in linea acque; In linea acque il loro trattamento richiede genera un impatto energetico ($> 5 \text{ kW/AE y}$), oltre a volumetrie di reazione ($>40 \text{ L/AE}$).

Short cuts nel ciclo dell'azoto: come?



- Up to 25% less oxygen requirements
- Up to 40% less external carbon source
- Up to 40% less excess sludge production
- Up to 20% less CO_2 emissions (?)

- Up to 57% less oxygen requirements
- Up to 100% less external carbon source
- Up to 85% less excess sludge production
- Up to 90% less CO_2 emissions

Ideal solution for...

- High nitrogen concentration > 200 mg N/L
- High free ammonia concentration > 1 mg $\text{NH}_3\text{-N}$ / L
- $\text{BOD/N} < 2$
- High pH (7-9)
- $T(>20\text{-}25^\circ\text{C})$

...anaerobic digestate!

Confronto Processi

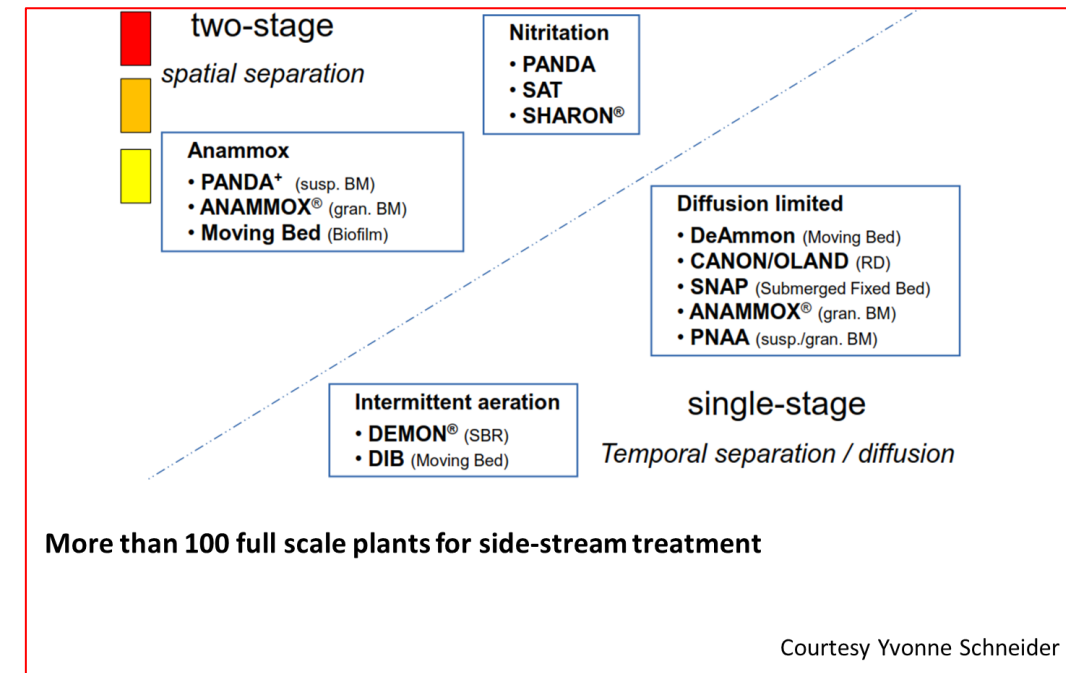
Processes ^a	O ₂ consumption (kg O ₂ (kg N) ⁻¹)	COD consumption (kg COD (kg N) ⁻¹)	CO ₂ emission (kg CO ₂ (kg N) ⁻¹)	Sludge production ^b (kg VSS (kg N) ⁻¹)
Nitrification-Denitrification (including bio-augmentation)	4.57	2.86	5.76	1 - 1.2
Partial Nitrification-Denitrification (over NO ₂)	3.43	1.71	4.72	0.8 - 0.9
Partial Nitrification-Anammox	1.71	0	3.14	< 0.1

^aMethanol was used as carbon source, the values were obtained from Eq. 1.20, 1.23 and 1.24.

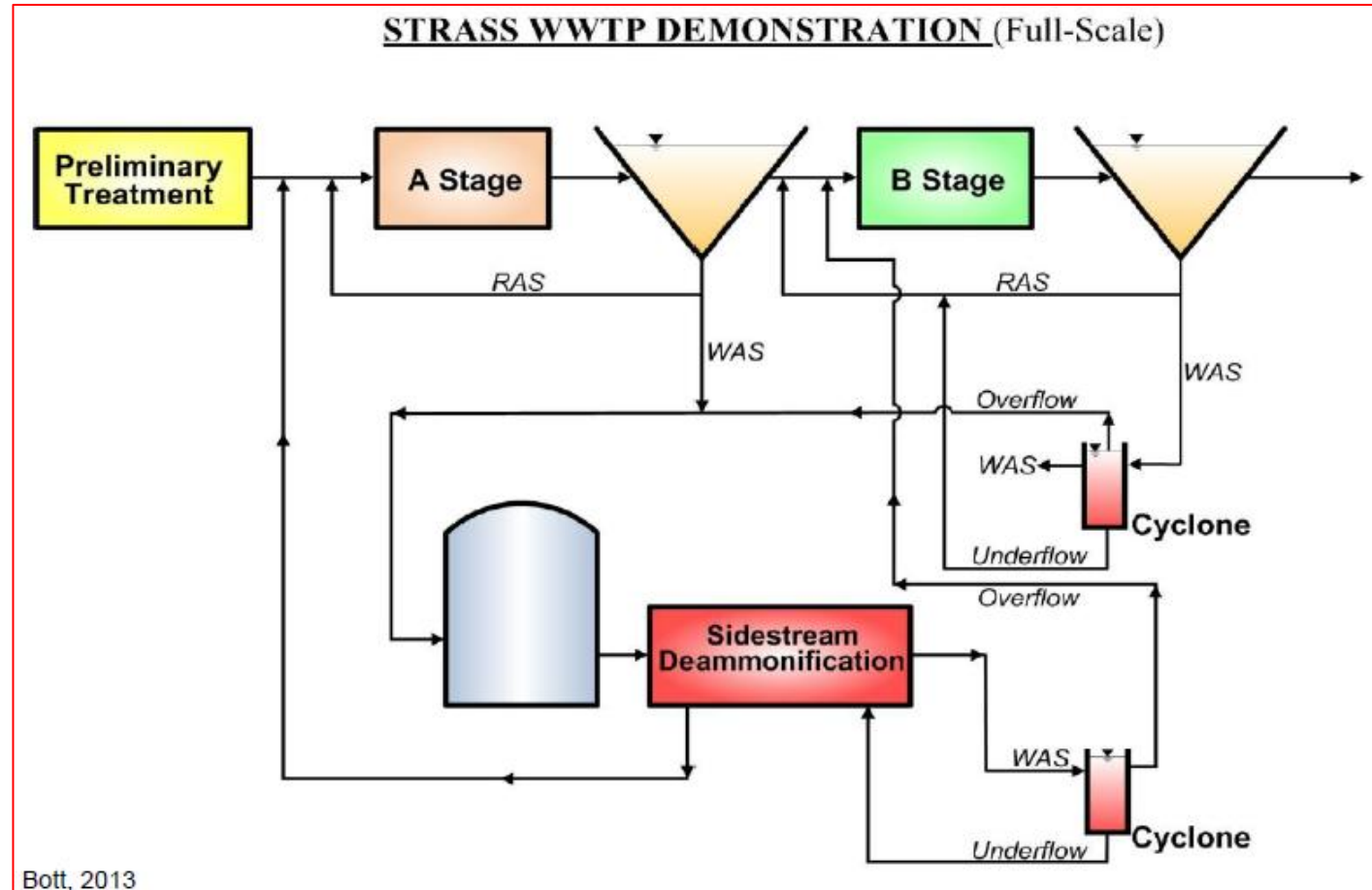
^bMulder, 2003.

	Conventional treatment	ANAMMOX [®]	
Power	3 - 5	1 - 2	kWh/kg N
Methanol	2.5 - 3	0	kg/kg N
Sludge production	0.5 - 1.0	0.1	kg VSS/kg N
CO ₂ emission	> 4.7	0.7	kg/kg N
Total Costs ¹	3 - 5	1 - 2	€/kg N

¹ Total Costs includes both operational cost and capital charge



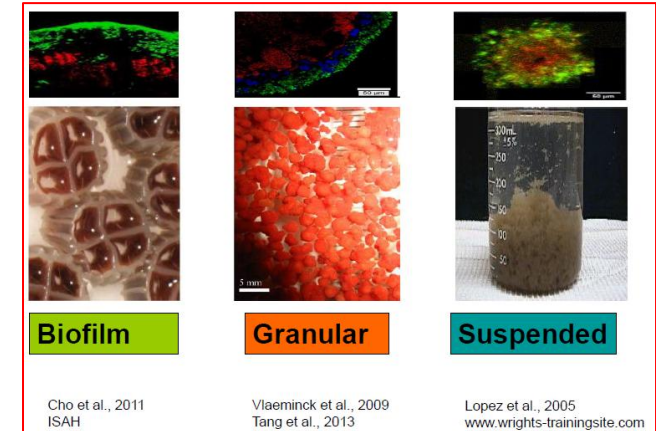
Courtesy Yvonne Schneider



■ The A Process:

- High Rate Activated Sludge
 - 0.5 Hr HRT; 12-18 Hr SRT
 - Particulate, Colloidal & SOLUBLE Organics Removal Without Chemical Addition
- Rapid Transfer from Aerobic Conditions to Anaerobic Conditions for Thickening Preserves Organics

B1: Shortcut nitrification and denitrification



B-System: Sustainable Nitrogen Removal

- High Efficiency Strip Panel Aeration.....
- Ability to Remove Nitrogen Cost Effectively
- Effective Aeration Control throughout the Mass Loading Diurnal

Journal of Water Process Engineering 70 (2025) 107075



Aerobic granular sludge-based wastewater treatment: Current trends, formation, applications, granulation, efficiency, and bottlenecks

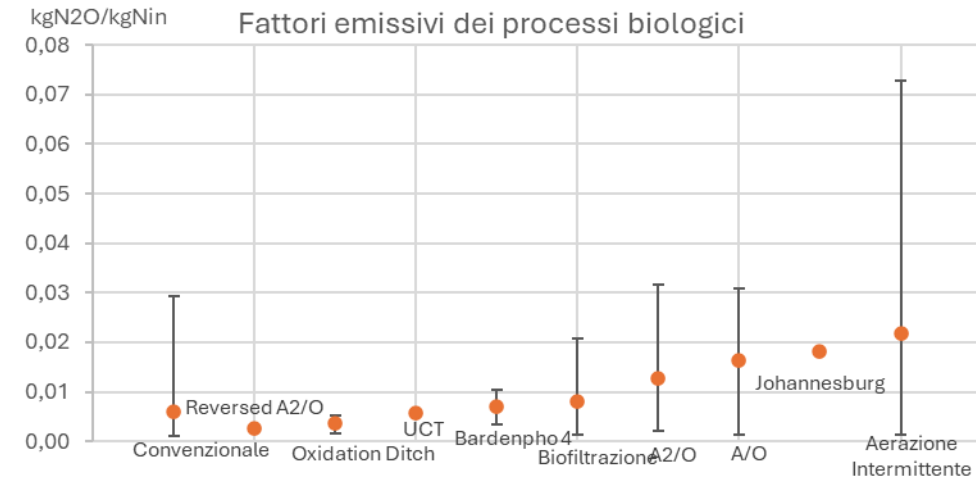
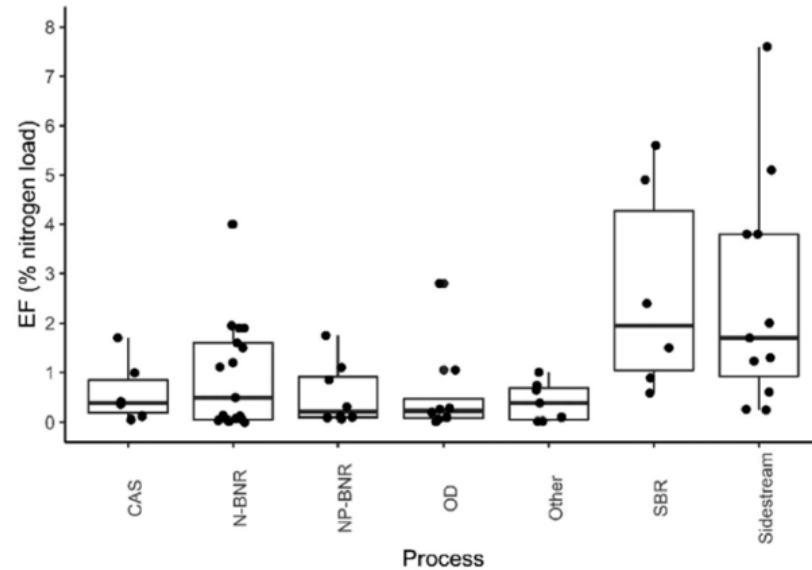
Pingili Vydehi^{a,*}, Gobinath Ravindran^b, G. Shyamala^{a,*}, S. Ramesh^c

^a Department of Civil Engineering, SR University, Warangal, Telangana 560371, India

^b University Center for Research and Development, Chandigarh University, Mohali, 140413, India

^c Department of Civil Engineering, K. S. Rangasamy College of Technology, Tiruchengode 637215, India

! Emissioni di gas serra !



Process type	Reactor	Emission factor	Reference
Two-stage deammonification			
SHARON-ANAMMOX®	Nitritation (SBR)	1.7 %	Kampschreur et al. (2008b)
	Anammox (UASB)	0.6 %	
NAS®	Nitritation (SBR)	5.1 – 6.6 %	Desloover et al. (2011a)
	Anammox (CSTR)	0 %	
Single-stage deammonification			
Nitritation-anammox	UASB	1.2 %	Kampschreur et al (2009a)
DEMON®	SBR	1.3 %	Weissenbacher et al. (2010)

© Schneider, 2013

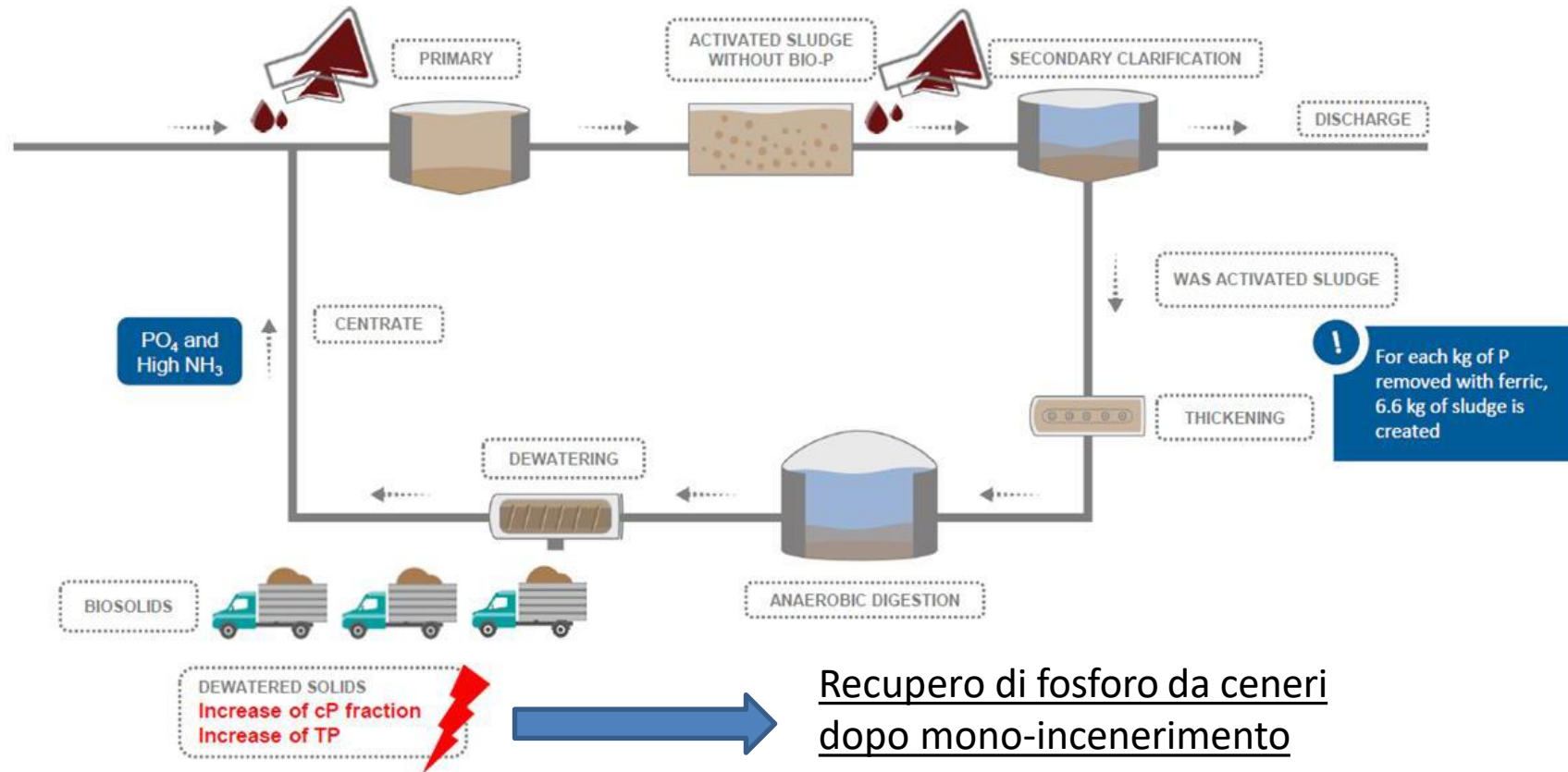


Con il patrocinio di:



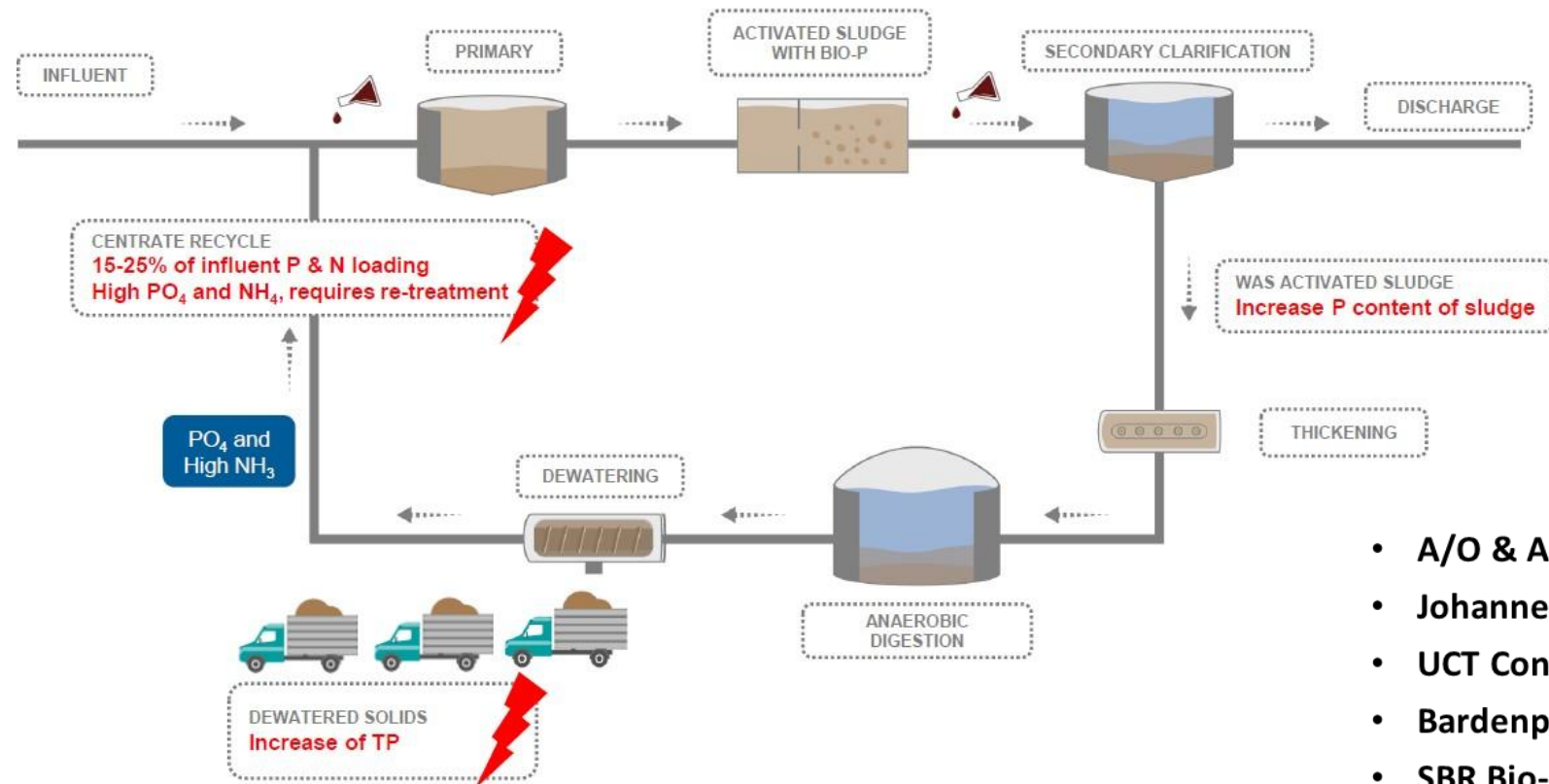
Courtesy of Nicola Frison

I nuovi limiti di TP fissati dalla direttiva potrebbero indurre ad aumentare la rimozione di P per via chimica



Courtesy of Nicola Frison

I nuovi limiti di TP fissati dalla direttiva potrebbero indurre l'implementazione di processi di rimozione biologica del fosforo (EBPR)



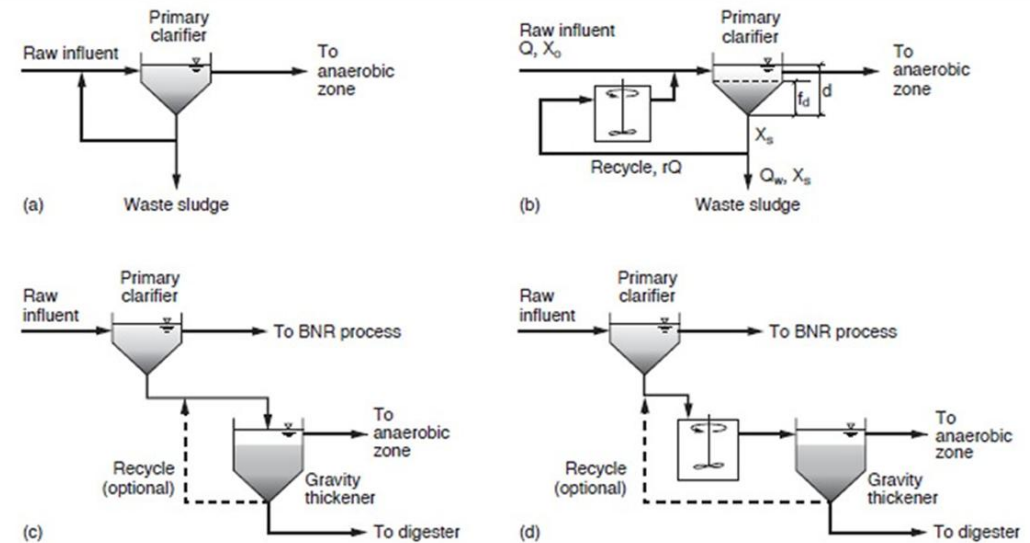
- A/O & A2/O
- Johannesburg (JHB)
- UCT Configuration
- Bardenpho (Five Stage)
- SBR Bio-P Configuration
- Various modified configurations

Influent substrate parameter	Value	Reference
VFA:P	8	Wentzel (1990)
rbCOD:P	18	Barnard (2006)
BOD:P	30	Sedlak (1991)
COD:P	60	U.S. EPA (2010)

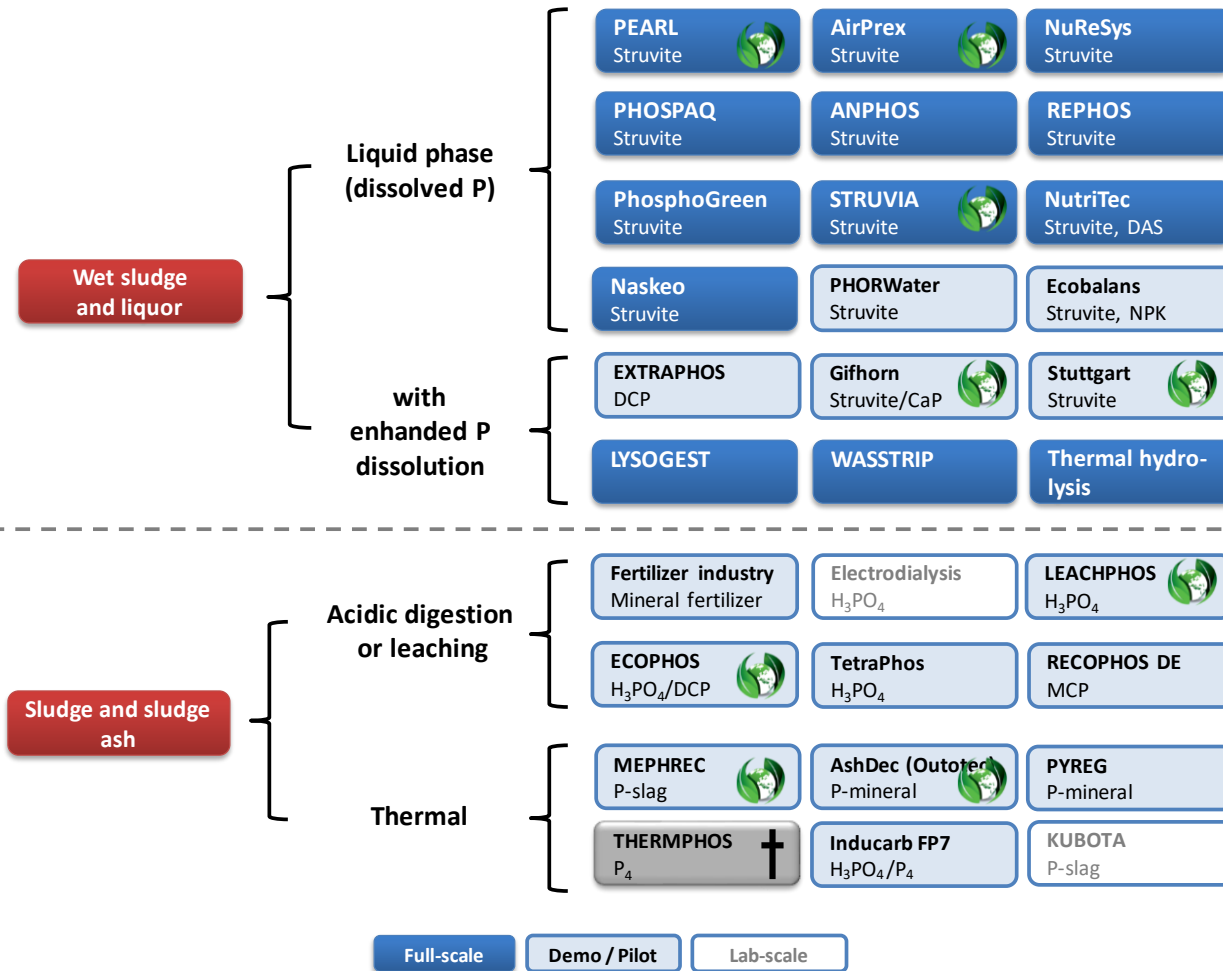
Produzione di carbonio da fermentazione acidogenica di fanghi

- Linea acque:
 - Elutriazione
 - Solitamente non prevede la fermentazione a temperatura controllata
 - Concentrazioni di VFAs relativamente basse, ma adatte alla linea acque
- Linea fanghi:
 - Fermentazione a temperatura controllata;
 - Concentrazioni di VFAs elevate nel fermentato liquido separato (utili per trattamento surnatanti anaerobici);
 - VFAs prodotti sono potenzialmente riciclabili anche nel mainstream

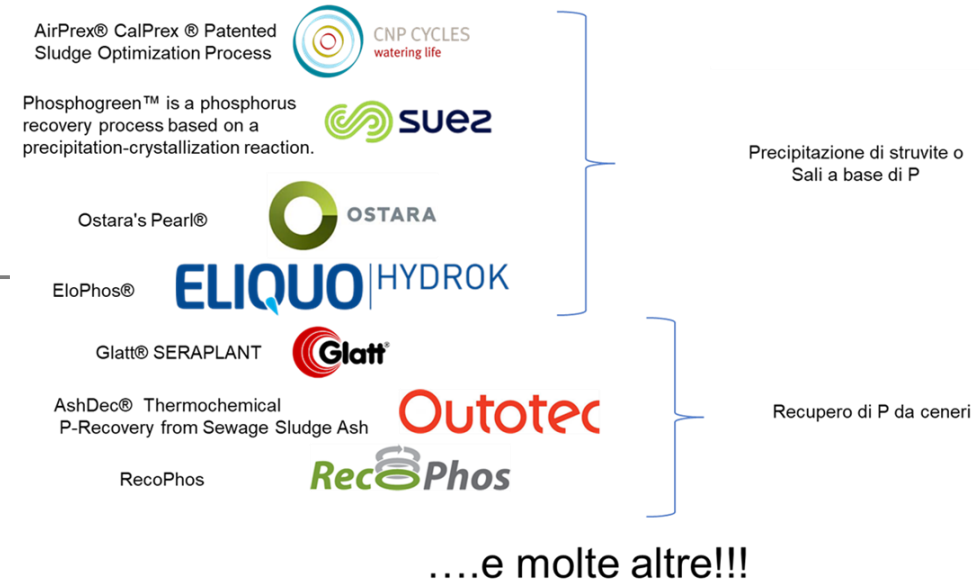
Configurazioni per la produzione di carbonio biodegradabile a supporto del processo biologico della linea acque



c e d sono applicate negli impianti di depurazione di Penticton (Canada), Kelowna e Kalispell (USA)



Esistono tecnologie per il recupero di fosforo?



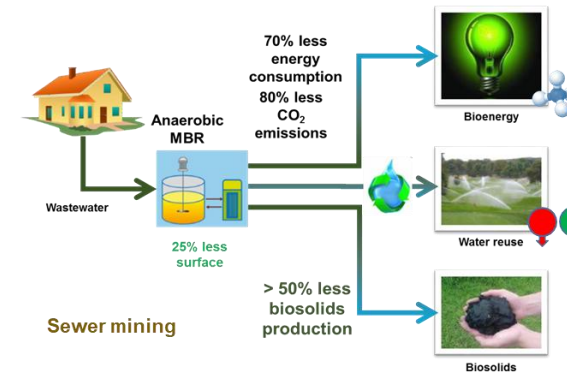
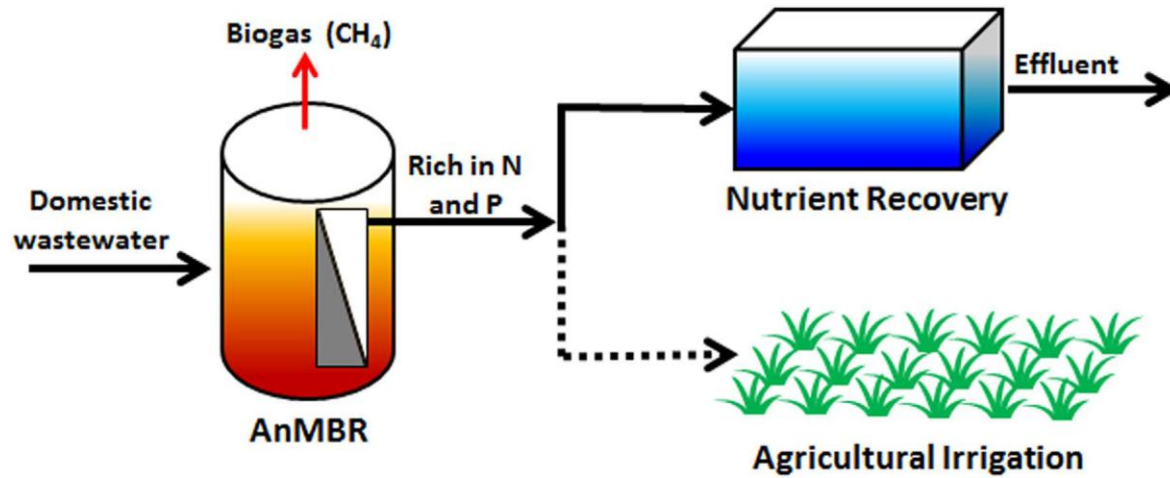
Technology	Location and operator	Operational since	Recovered material or product	Qty/a in tons	
Onsite wastewater treatment plants					
AD-HAP (since 2014 by Hitachi Zosen)	Senboku Blackwater TP (JP), Senboku City	2007	HAP (from Night Soil)	15	
	Totsugawa Village (JP)	2008		2	
	Seihokugo Environment Improvement Assoc. (JP)	2009		40	
	Kushimoto Town (JP)	2011		11	
	Shimanto Town (JP)	2011		11	
	Kofu Town (JP)	2015		4	
AirPrex® / MagPrex™	MG-Neuwerk (DE), Niersverband	2009	Struvite	100	
	Wassmannsdorf (DE), Berliner Wasserbetriebe	2010		350	
	Echten (NL), Drents Overijsselse Delta	2013		n.i.	
	Amsterdam-West (NL), Waternet	2014		500	
	Salzgitter Nord (DE), ASG	2015		50	
	Uelzen (DE), SE Uelzen	2015		n.i.	
	Tianjin (CN), Tianjin CEPG	(2015)		offline	
	Wolfsburg (DE), SE Wolfsburg	2017		(50)	
	Liverpool, OH (USA), Medina County	2019		..*	
	Savage, MD (USA), Howard County	2019		..*	
	Denver, CO (USA), Denver Metro	2020		..*	
	Ft. Collins, CO (USA), Drake WRF	2020		..*	
	Elgin, IL (USA) Fox River WRF	2021		..*	
	Salt Lake City, UT (USA) Central Valley WRF	2022		..*	
	Meridian, ID (USA), Meridian WRF	2022		..*	
Nampa, ID (USA), Nampa WRF	2023	..*			
ANPHOS®	Göppingen (DE), SE Göppingen	2020	--		
	Haifa (IL), Haifa District Industries Association	2022	--		
	Erlangen (DE), EBE Erlangen	2023	--		
	Well (NL), EcoFuels, (biomass digestion)	2005	n.i.		
	Odiliapeel (NL), Peka Kroef	2006	400		
	Kruiningen (NL), Lamb Weston Meijer	2003	650		
	Bergen op Zoom (NL), Lamb Weston Meijer	2007/16	290		
	Budrio (IT), Pizzoli	2010	150		
	Haps (NL), Waterschap Aa en Maas	2011	n.i.		
	Oosterbierum (NL), Lamb Weston Meijer	2016	580		
Crystalactor®	Den Bosch (NL), Waterschap Aa en Maas	2018	n.i.		
	Asturias (ES), Longas	2018	n.i.		
	Tiel (NL), Waterschap Rivierenland	2019	n.i.		
	Nanjing (CN), Royal Haskoning DHV	2010	Struvite	n.i.	
	EloPhos®	Lingen (DE), SE Lingen	2016	Struvite	--
	Gifhorn	Gifhorn (DE), ASG (mothballed)	2007	Struvite/CaP	--
	J-Oil	Yokohama (JP), J-Oil Mills Co.		HAP	260
	JSA	Kawasaki (JP), Japan Synthetic Alcohol Co.	1998	HAP	n.i.
KURITA	Fukuoka North, South and Wasui (JP), Fukuoka C.	1997	Struvite	120	
Kyowa Hakko	Hofu (JP), Kyowa Hakko Bio Corp.	2006	HAP	90	
Multiform™	Yakima, WA (USA)	2012	Struvite	n.i.	

(acquired by Ostara) now called PEARL Fx	Boise, ID (USA)	2015		n.i.
	Massey, MD (USA), Jones Family Farms (dairy)	2019		n.i.
	Green Bay, WI (USA)	2019		n.i.
	Paso Robles, CA (USA), City of Paso Robles	2019		75
Multi-Solid	Hagenow (DE), AZV Hagenow & Umlandgemeinden	2023	Struvite	(100)
NASKLU	Castres (F-R)	2015	Struvite	25
NuReSys®	Harelbeke (BE), Agristo	2008		250
	2x Nieuwkerke (BE), Clarebout Potatoes	2009/12		650
	Waasten (BE), Clarebout Potatoes	2012		n.i.
	Geel (BE), Genzyme	2014		80
	Leuven (BE), Aquafin	2013		50
	Land van Cuijk (NL), Logisticon	2015	Struvite	150
	Apeldoorn (NL), Vallei & Veluwe	2016		550
	Braunschweig Steinhof (DE), SEBS / AVB	2019		--*
	Pima County, Tres Rios WRF, AZ (USA)	2021		--*
	Łódź GOŚ (PL), City of Łódź	2023		--
NutriTec® (Sustec, DMT)	Warsaw South (PL),	2023		(2700)
	Zutphen (NL), SaNiPhos® GMB	2010	Struvite & DAS	offline
	Tigard, OR (USA), Clean Water Services	2009		760
	Suffolk, VA (USA), Hampton Roads Sanit. District	2010		400
	York, PA (USA), City of York	2010		270
	Hillsboro, OR (USA), Clean Water Services	2012		1000
	Slough (UK), Thames Water	2012		130
	Saskatoon, SK (CDN), City of Saskatoon	2013		500
	Madison, WI (USA), Madison Metro. Sew. Distr.	2014		1000
	Burford, GA (USA), Gwinnett County	2015		1000
PEARL® (OSTARA)	Amersfoort (NL), Vallei & Veluwe	2015		500
	Edmonton, AB (CDN), EPCOR Water Services	2015	Struvite	2500
	Stickney, IL (USA), Metro. Water Recl. Chicago	2016	(Crystal Green®)	7700
	Reno, NV (USA), Cities of Reno and Sparks	2016		500
	Madrid (ES), Canal de Isabel II	2016		500
	Winchester, VA (USA), F. Winchester Service A.	2016		500
	St. Cloud, MN (USA), City of St. Cloud	2018		500
	Atlanta, GA (USA), City of Atlanta	2018		1000
	Jarocin (PL), City of Jarocin	2021		130
	Tel Aviv, (IL), Shafdan WWTP, Mey Exor Dan	2021		5000
PhosForce (Veolia)	Ottestad (NO), Hias WWTP, Hias IKS	2022		(250)
	Dublin (IE), Ringsend WWTP, Irish Water	2023		(5000)
	Schönebeck (DE), OEWA Wasser & Abwasser GmbH	(2023)	Struvite/ Brushite (DCP)	(1000) customized
	7 plants installed in Japan between 1989 and 2011 with capacities between 80-500 m³/d	1989		n.i.
	--	1992		n.i.
	--	1995		n.i.
	PHOSNIX® (Hitachi Zosen)	Lake Shinji-East (JP), Matsue City (1998)	Struvite	125
	--	2000		n.i.
	--	2009		n.i.
	--	2011		n.i.
PHORWater	Kinan Environment Improvement Association (JP)	2014		n.i.
	Calahorra (ES), El Cidacos	2015 (demo)	Struvite	n.i.
PHOSPAQ™	Olburgen (NL), Waterstromen (municipal & food)	2006		400
	Lomm (NL), Waterstromen (food)	2007	Struvite	260

PhosphoGREEN (SUEZ)	China (brewery)	2011		(1100)
	Poland (bio-ethanol)	2011		(500)
	Nottingham (UK), Severn Trent Water	2012		730
	USA (confidential)	2013		(800)
	Hünfeld (DE), BFG-IAR Hünfeld GmbH (dairy)	2014		730
	China (food processing)	2015		(1400)
	China (ethanol)	2016		(90)
	Tilburg (NL), Waterchap de Dommel	2016		340
	UK (municipal)	2017		(600)
	Aaby (DK), Aarhus Water	2013		110
P-RoC (delivered by NulkeSys)	Herning (DK), Herning Water	2016		106
	Marselisborg (DK), Aarhus Water	2018	Struvite	302
	Villiers Saint Frederic (FR), SIARNC	2019		43
	Sausheim (FR), Mulhouse	2019		88
REPPOS®	Bachgau (DE), Markt Großostheim	2025	CaP at CSH	(40)
REPHOS®	Altentreptow (DE), Remondis Aqua (dairy)	2006	Struvite	200
Rintoru®	Mobile unit applying A-CSH to recover P	--	CaP at CSH	--
STRUVIA™	Helsingør Southcoast (DK)	2015	Struvite	40
Swing	Higashi-Nada, Kobe City (JP), Swing Corp.	2012	Struvite	130
Downstream wastewater treatment plants and ashes				
Ash2®Phos	Schkopau (DE), Phosphorgewinnung Schkopau GmbH (EasyMining & Gelsenwasser AG)	2025	RevoCap™	(15.000)
	Helsingborg (SE), EasyMining Sweden AB	2026		(15.000)
AshDec®	Altenstadt (DE), Emter GmbH	2024	Calcined phosphate	(16.000)**
EUPHORE®	Mannheim (DE), MVV Energie AG	2023	Improved ash	(14.000)**
Fertiliser industry	Various companies already apply or consider use of secondary P sources	tested and intended	Commercial fertilisers	Mixed in***
Glatt® PHOS4green	Haldensleben (DE), SERAPLANT GmbH	Bound to premium ash input (fertiliser grade)	(2021-2022)	MCP, NPS
KUBOTA	2 plants (4 furnaces) (JP), municipal			Intended (60.000)*** fertilisers
	(Input: 60-80 t/d dewatered sludge)	2014	P rich slag	1.200-1.500
METAWATER	Gifu North (JP), Gifu City	2010		300
Nippon PA	Akisato (JP), Tottori City	2013	HAP	150
	Chiba (JP), Nippon Phosphoric Acid	2009	H ₃ PO ₄	n.i.
TetraPhos®	Hamburg (DE), Hamburger Phosphorrecyclinggesellschaft. mbH	2023	H ₃ PO ₄ (RePacid®)	(7.000)
	Lünen (DE), Remondis TetraPhos® GmbH	2025		(5.800)

Impianti di "recupero e /o riciclaggio" del fosforo operativi o in costruzione (C. Kabbe v. 2023/01, P-REX Environment)

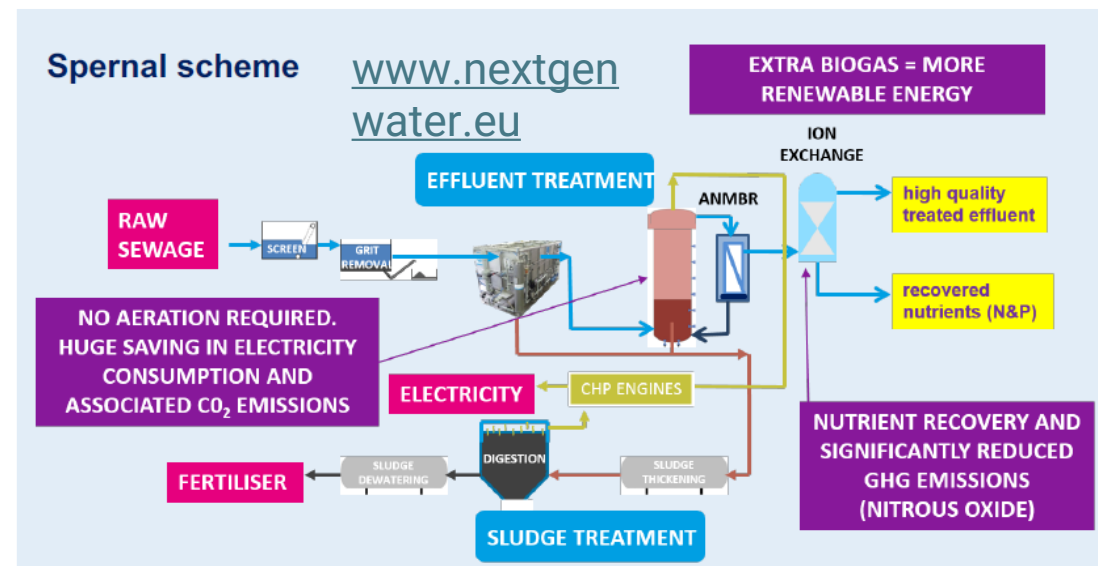
Collettamento 1000 AE e piccoli impianti



www.life-memory.eu



LIFE13 ENV/ES/001353



www.nextgenwater.eu

EVIDENZA

ASPETTI IN DIRETTIVA

Trattamento Carico Farmaceutici e EPR

- Tutti gli impianti di trattamento delle acque reflue urbane che **trattano un carico di 150 000 a.e. o più dovrebbero pertanto prevedere il trattamento quaternario, dal momento che sono all'origine di una parte significativa degli scarichi di microinquinanti nell'ambiente** e che la rimozione dei microinquinanti a opera di impianti su tale scala è efficace in termini di costi. Per gli impianti di trattamento di 150 000 a.e. o più, gli Stati membri dovrebbero garantire che gli investimenti necessari siano prioritari, in modo che gli impianti con i maggiori rischi per la salute umana e per l'ambiente siano attrezzati senza ritardi.

Tabella 3: Requisiti per il trattamento quaternario degli scarichi provenienti dagli impianti di trattamento delle acque reflue urbane di cui all'articolo 8, paragrafo 1, o dagli impianti di trattamento delle acque reflue urbane che servono gli agglomerati di cui all'articolo 8, paragrafo 4.	
Indicatori	Percentuale minima di rimozione in rapporto al carico dell'affluente
Sostanze che possono inquinare l'acqua anche a basse concentrazioni (cfr. nota 1)	80 % (cfr. nota 2)

- a) Categoria 1 (sostanze che possono essere trattate con grande facilità):
 - i) amisulpride (n. CAS 71675-85-9); carbamazepina (n. CAS 298-46-4); citalopram (n. CAS 59729-33-8); claritromicina (n. CAS 81103-11-9); diclofenac (n. CAS 15307-86-5); idroclorotiazide (n. CAS 58-93-5); metoprololo (n. CAS 37350-58-6); venlafaxina (n. CAS 93413-69-5).
- a) Categoria 2 (sostanze che possono essere eliminate con facilità):
 - i) benzotriazolo (n. CAS 95-14-7); candesartano (n. CAS 139481-59-7); irbesartano (n. CAS 138402-11-6); miscele di 4-metilbenzotriazolo (n. CAS 29878-31-7) e 5-metilbenzotriazolo (n. CAS 136-85-6).

1



- Source**
- Human waste
 - Animal byproduct
 - Pharmaceutical
 - Hospital

Table 1. Pharmaceu-tical contaminants (PCs).

Sl. No.	Class/Group of Pharmaceutical	Pharmaceutical Contaminants	Formula	Mass (g mol ⁻¹)	pK _a	logK _{ow}	Ref.
1	Analgesics and Anti-inflammatory	Aspirin	C ₉ H ₈ O ₄	180	3.5	1.2	[57]
2		Diclofenac	C ₁₄ H ₁₁ Cl ₂ NO ₂	296.2	4.91	4.51	
3		Ibuprofen	C ₁₃ H ₁₈ O ₂	206.3	4.15	4.51	
4		Paracetamol	C ₈ H ₉ NO ₂	151.2	9.38	0.46	
5		Naproxen	C ₁₄ H ₁₄ O ₃	230.3	4.15	3.18	
Sl. No.	Class/Group of Pharmaceutical	Pharmaceutical Contaminants	Formula	Mass (g mol ⁻¹)	pK _a	logK _{ow}	Ref.
1	Antibiotics	Sulfamethoxazole	C ₁₀ H ₁₁ N ₃ O ₃ S	253.279	5.6–5.7	0.89	[167]
2		Erythromycin	C ₃₇ H ₆₇ NO ₁₃	733.93	8.88	2.48	
3		Trimethoprim	C ₁₄ H ₁₈ N ₄ O ₃	290.32	7.12	0.73	

<https://doi.org/10.1016/j.j.nexus.2022.100076>



Coordination Chemistry Reviews
Volume 442, 1 September 2021, 213993



Review

Current advances in treatment technologies for removal of emerging contaminants from water – A critical review

Muhammad Kashif Shahid^{a,1} , Ayesha Kashif^{b,1} , Ahmed Fuwad^c , Younggyun Choi^d 

Show more 

+ Add to Mendeley  Share  Cite

<https://doi.org/10.1016/j.ccr.2021.213993> 

Get rights and content 



Chemical Engineering Journal
Volume 407, 1 March 2021, 127184



Review

Environmental fate, distribution and state-of-the-art removal of antineoplastic drugs: A comprehensive insight

Santanu Mukherjee^{a,b} , Dip Mehta^c , Kiran Dhangar^a , Manish Kumar^{a,1} 

Show more 

+ Add to Mendeley  Share  Cite

<https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127184> 

Get rights and content 



Science of The Total Environment
Volume 699, 10 January 2020, 134322



Review

Antiviral drugs in aquatic environment and wastewater treatment plants: A review on occurrence, fate, removal and ecotoxicity

Christina Nannou^a , Anna Ofrydopoulou^a , Eleni Evgenidou^a , David Heath^b , Ester Heath^{b,c} , Dimitra Lambropoulou^a 

Show more 

+ Add to Mendeley  Share  Cite

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134322> 

Get rights and content 



Journal of Environmental Chemical Engineering
Contents lists available at ScienceDirect
Journal homepage: www.elsevier.com/locate/jece



Removal of pharmaceuticals from wastewater: A review of adsorptive approaches, modelling and mechanisms for metformin and macrolides

Lisa Shearer^a , Sabolc Pap^{a,1} , Stuart W. Gibb^a 

Environmental Research Institute, UHI North Highland, University of the Highlands and Islands, Thurso KW14 7JL, UK

Table 1
Juxtaposition of studies focused on comparison of removal of PhACs by means of different AOPs in real water matrix including WWTP effluents.


Compared processes	Water matrix type	PhAC	Initial PhAC concentration	Order of efficiency	E ₉₀ (kWh m ⁻³)/order	Reference
O ₃ , O ₃ /H ₂ O ₂ , E-peroxone	ground water, surface water, secondary effluent (SE)	spiked with: diclofenac gemfibrozil betafibrate ibuprofen clofibric acid	150 µg L ⁻¹ for each PhAC	<ul style="list-style-type: none"> Dependent on molecule and water matrix. No significant process efficiency differences in SE. 	n/d	Wang et al. (2018)
O ₃ , O ₃ /UV E-peroxone	ground water surface water secondary effluent	spiked with: diclofenac naproxen, gemfibrozil betafibrate clofibric acid ibuprofen chloramphenicol	150 µg L ⁻¹ for each PhAC	<ul style="list-style-type: none"> Dependent on molecule and water matrix. No significant process efficiency differences in SE. 	in secondary effluent O ₃ : 0.1–0.3 E-peroxone: 0.2–0.3 O ₃ /UV: 1–1.6 for diclofenac, betafibrate and chloramphenicol	Yao et al. (2018)
O ₃ , E-peroxone	synthetic water secondary effluent	Antibiotics: ofloxacin, trimethoprim, norfloxacin, ciprofloxacin, metronidazole, Biocides: econazole nitrate salt, miconazole nitrate salt, clotrimazole, fluconazole, pentamidine, bixafen, propiconazole, Benzotriazoles: methyl-benzotriazole, benzotriazole	10 µg L ⁻¹ for each PhAC	<ul style="list-style-type: none"> Antibiotics readily removed by O₃ and E-peroxone. Biocides were removed better in E-peroxone. 	n/d	Wang et al. (2019)
O ₃ , O ₃ /UV, H ₂ O ₂ / UV Cl ₂ /UV O ₃ /H ₂ O ₂ /UV O ₃ /Cl ₂ /UV	tertiary wastewater effluent	carbamazepine fluoxetine gemfibrozil primidone sulfamethoxazole	0.235 µg L ⁻¹ 0.036 µg L ⁻¹ 0.116 µg L ⁻¹ 0.304 µg L ⁻¹ 1.813 µg L ⁻¹	O ₃ /Cl ₂ /UV process the most effective, then O ₃ /H ₂ O ₂ /UV, O ₃ /UV, O ₃ , Cl ₂ /UV, H ₂ O ₂ /UV	O ₃ 0.02–0.24, O ₃ /UV 0.21–0.35, H ₂ O ₂ /UV 0.37–0.83, Cl ₂ /UV 0.12–7.3, O ₃ /H ₂ O ₂ /UV 0.29–0.36, O ₃ /Cl ₂ /UV 0.24–0.54	(Sgroi et al., 2021a, 2021b)
UV H ₂ O ₂ /UV	industrial wastewater, hospital wastewater, grey wastewater, urban wastewater effluents	PhAC detected: 14 35 19 28 30	34,000 µg L ⁻¹ 56.6 µg L ⁻¹ 8.8 µg L ⁻¹ 9.6 µg L ⁻¹ 12.2 µg L ⁻¹	Overall removal by H ₂ O ₂ /UV 17 % 36 % 59 % 69–86 %	UV vs H ₂ O ₂ /UV 37.2 9.1 8.1 7.3 3.0 2.0 5.8 1.5 2.9 0.3	Gibati et al. (2022)
H ₂ O ₂ /UV HSO ₅ ⁻ /UV S ₂ O ₈ ²⁻ /UV	secondary effluent	carbamazepine, crotamiton, N,N-diethyl-meta-toluidamide, gemfibrozil ibuprofen trimethoprim	500 µg L ⁻¹ for each	S ₂ O ₈ ²⁻ /UV generally better than H ₂ O ₂ /UV and HSO ₅ ⁻ /UV	n/d	Zhou et al. (2020)
O ₃ , O ₃ /H ₂ O ₂ , UV, H ₂ O ₂ /UV, O ₃ /UV, O ₃ /H ₂ O ₂ /UV, plasma ozonation	synthetic wastewater	1,7- α -ethinylestradiol (EE2)	1 mg L ⁻¹	Plasma oxidation, O ₃ /H ₂ O ₂ , O ₃ , O ₃ /H ₂ O ₂ /UV, O ₃ /UV, H ₂ O ₂ /UV, UV	O ₃ : 0.0846 plasma oxidation: 0.124 O ₃ /H ₂ O ₂ : 0.87 O ₃ /H ₂ O ₂ /UV: 8.8 O ₃ /UV: 10.6 H ₂ O ₂ /UV: 49.5 UV: 65.5	Wardenier et al. (2019)



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Environmental Management



journal homepage: www.elsevier.com/locate/jenvman



Research article



Efficient removal of pharmaceuticals from wastewater: Comparative study of three advanced oxidation processes

Kinga Skalska-Tuomi ^{a,*} , Laura Kaijane ^b, José María Monteagudo ^c , Mika Mänttari ^b

^a Department of Separation Science, School of Engineering Science, Lappeenranta-Lahti University of Technology (LUT), Sammakatu 12, 50130, Mäkelä, Finland
^b Department of Separation Science, School of Engineering Science, Lappeenranta-Lahti University of Technology (LUT), Yliopistokatu 34, 53050, Lappeenranta, Finland
^c University of Castilla-La Mancha, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, Avda. Camilo José Cela, 1, 13071, Ciudad Real, Spain



Con il patrocinio di:



Micropollutants removal, residual risk, and costs for quaternary treatments in the framework of the Urban Wastewater Treatment Directive

Jessica Ianes, Sara Piraldi, Beatrice Cantoni, Manuela Antonelli

Politecnico Milano, Department of Civil and Environmental Engineering (DICA) - Environmental Section, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano, Italy

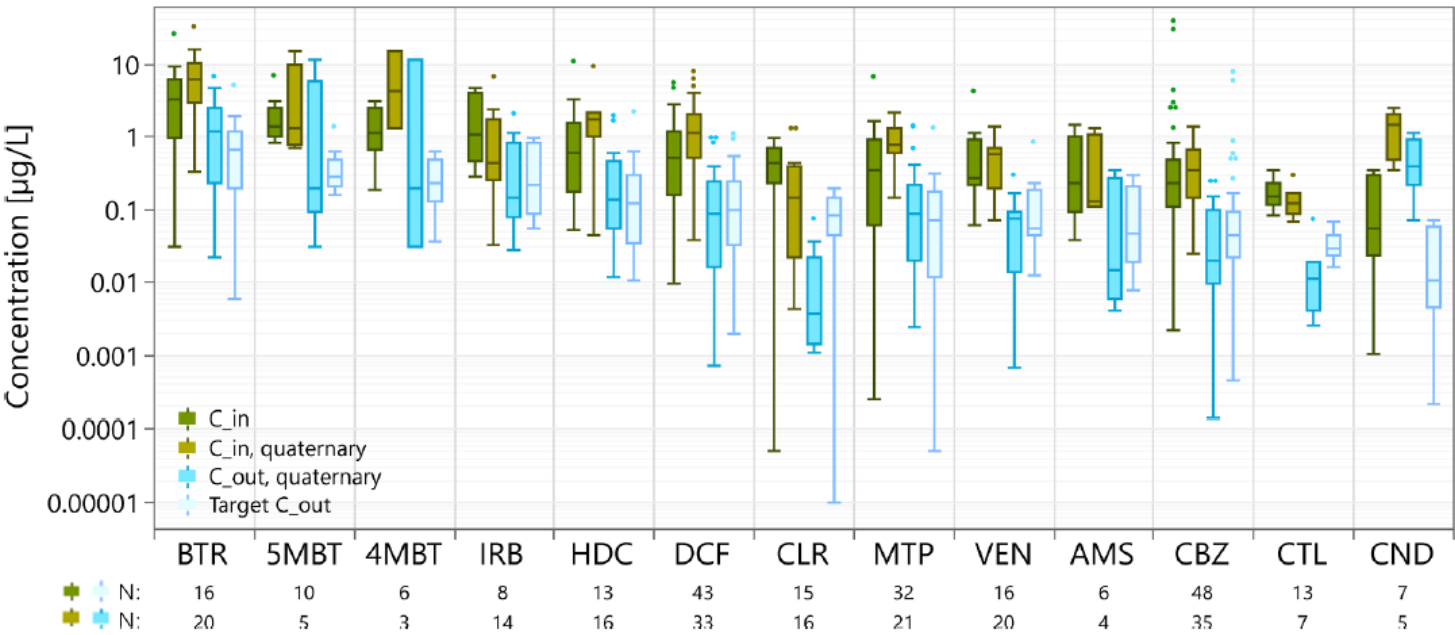


Fig. 2. Micropollutants concentrations at different stages of WWTPs: at the WWTP influent (C_{in}), at the inlet of quaternary treatments ($C_{in,quaternary}$), and at the outlet of quaternary treatments ($C_{out,quaternary}$) and the target effluent concentration ($Target\ C_{out}$). N stands for the number of WWTP with available data. The color of the micropollutants' label indicates their belonging to category 1 (black) and category 2 (grey) of the UWWTD.

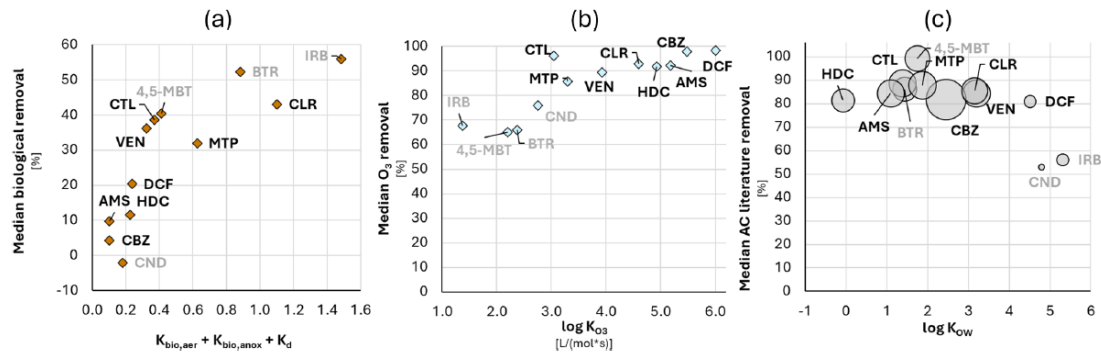


Fig. 4. Median micropollutants removal during (a) biological treatment; (b) ozonation; (c) activated carbon adsorption and correlation with the respective fate parameters. The color of the micropollutants' label indicates their belonging to category 1 (black) and category 2 (grey) of the UWWTD.



Micropollutants removal, residual risk, and costs for quaternary treatments in the framework of the Urban Wastewater Treatment Directive

Jessica Ianes , Sara Piraldi, Beatrice Cantoni , Manuela Antonelli

Politecnico Milano, Department of Civil and Environmental Engineering (DICA) - Environmental Section, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano, Italy

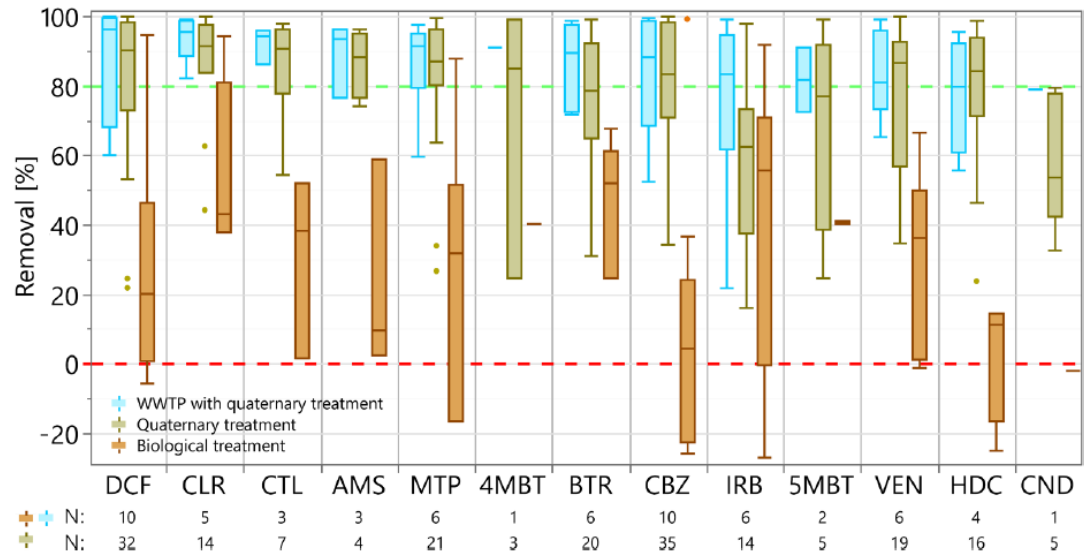


Fig. 3. Micropollutants removal at different stages of the WWTP: at the biological treatment, at the quaternary treatments, and at WWTP where quaternary treatments are in place. When multiple concentration data were available for the same micropollutant at the same WWTP stage, the average was taken. N stands for the number of WWTP with available data. The color of the micropollutants' label indicates their belonging to category 1 (black) and category 2 (grey) of the UWWTD.

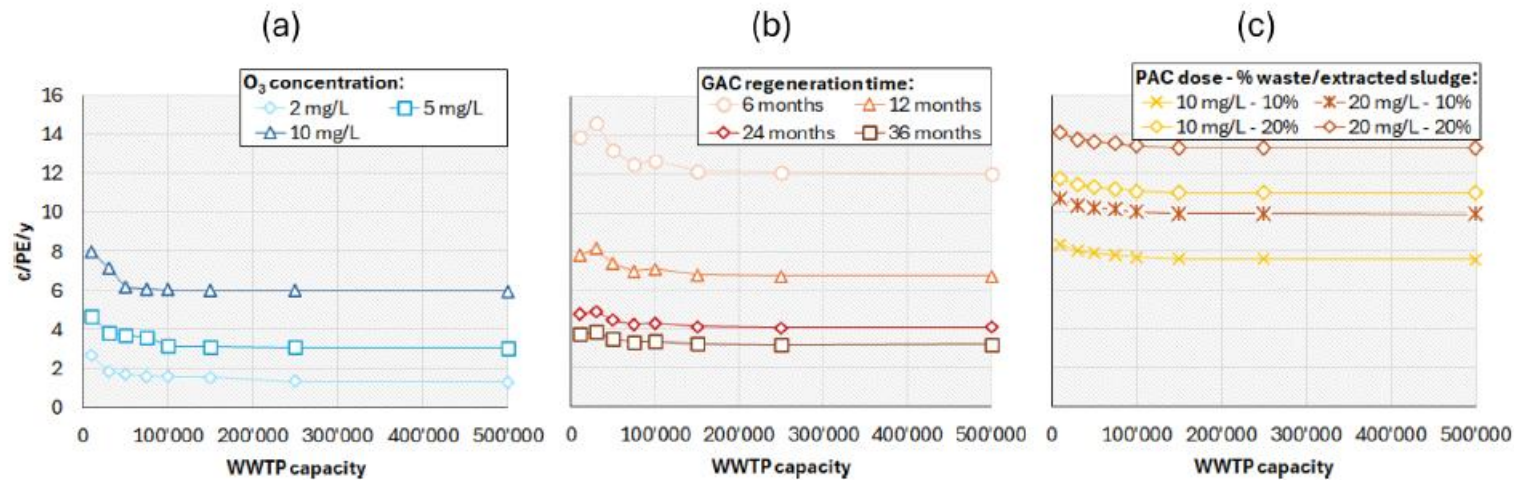
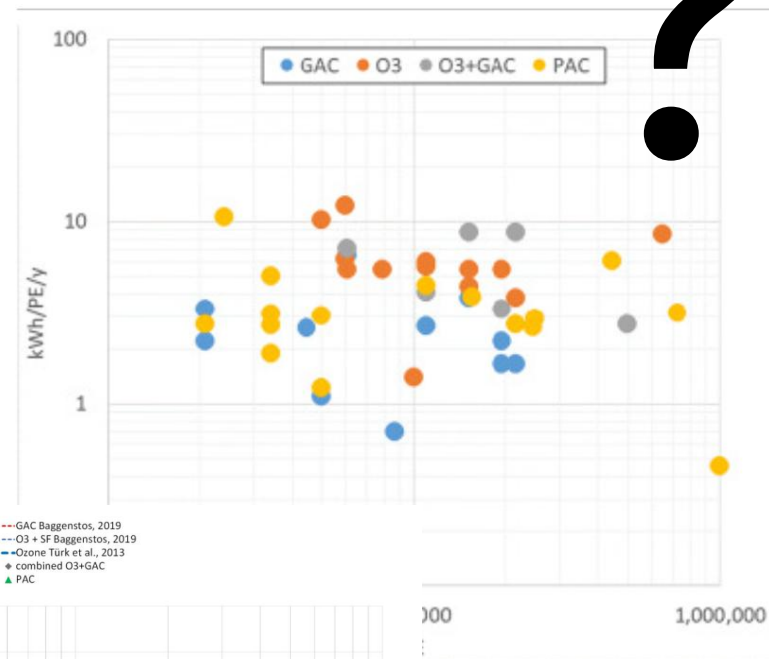


Fig. 6. Yearly per-capita cost for each investigated quaternary treatment, at different WWTP capacity, depending on selected operating parameters: (a) ozone concentration in the contact tank; (b) time between two regenerations of GAC; (c) dosage of PAC and waste sludge (% of the extracted sludge) sent to incineration with respect to the generated sludge.



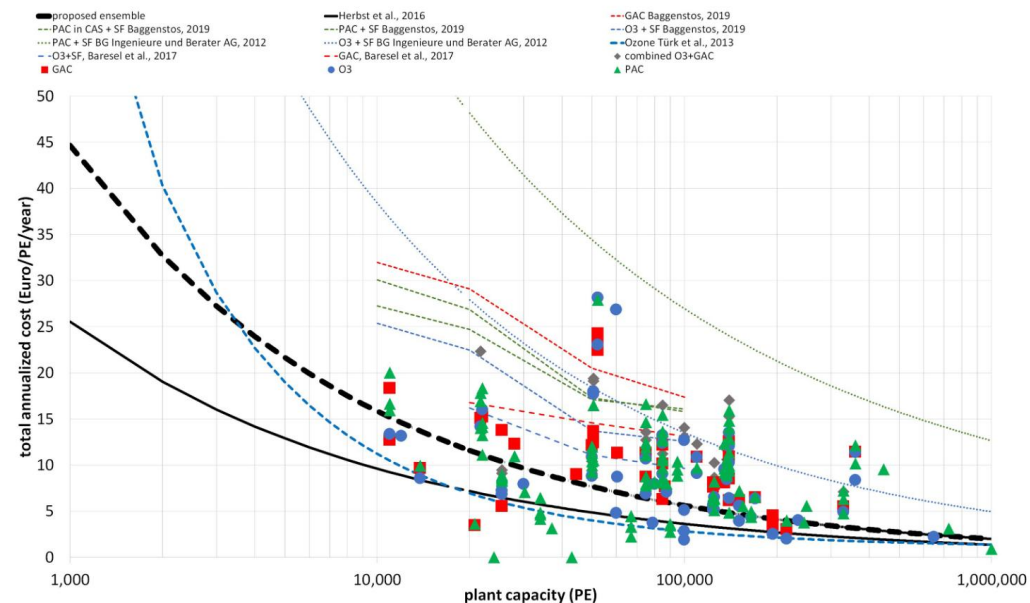
We analyzed the “costs” of 11 WWTP’s (quaternary treatment):
WWTP ca. 50'000 population equivalent (PE)

Investment costs:

- Approx. 50-120 Euro per PE or approx. 90-200 Euro per connected person. (Dispersion, because some existing buildings were used for the MV stage, while other plants were built from scratch.)

Operating costs (include: personnel costs, operating costs, electricity costs, laboratory costs...):

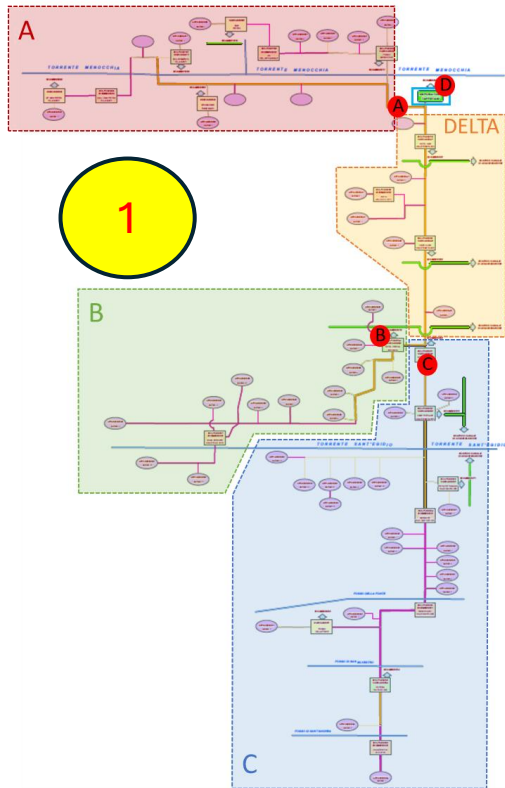
- Approx. Euro 2-4 per PE per year or approx. Euro 2.5-5 per connected person per year.



Il patrocinio di:

EVIDENZA	Molto più forte integrazione tra pianificazione/gestione urbana e gestione servizio idrico integrato
ASPETTI IN DIRETTIVA	<ul style="list-style-type: none">• adattamento ai cambiamenti climatici• pianificazione integrata della gestione delle acque reflue urbane, facendo nel contempo un uso ottimale della digitalizzazione per tutti gli agglomerati con 100 000 A.E.• limitare l'inquinamento da tracimazioni causate da piogge violente a non più del 2 % del carico annuo di acque reflue urbane raccolte• evitare l'ingresso di acque piovane non inquinate nelle reti fognarie o lo stoccaggio temporaneo, compresa la ritenzione naturale dell'acqua, e un trattamento appropriato delle prime piogge abbondanti

4) SERVIZIO IDRICO INTEGRATO E GESTIONE URBANA



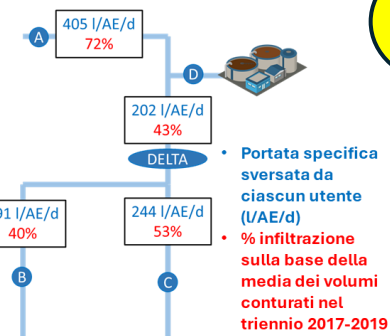
A-COLLETTORE OVEST (VASCA00057)



B - VASCA00058
C - VASCA00049



D-INGRESSO IMPIANTO



$$D = 4065 \text{ AE}$$

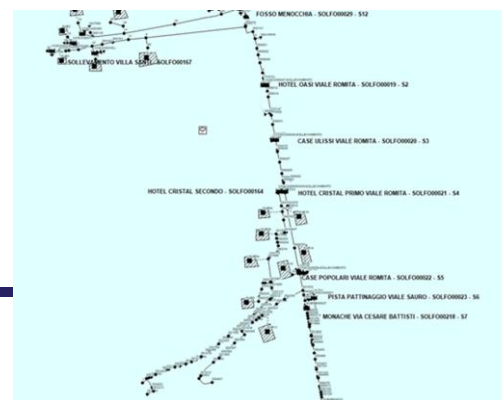
$$A+B+C+DELTA = 3872 \text{ AE}$$

ERRORE PERCENTUALE
AE PARI AL 5%

		D	A	B	C	DELTA
Portate medie	Q (m3/d)	973	290	200	335	148
Concentrazioni medie	BOD5 (mg/l)	132	35	148	147	
	COD (mg/l)	216	45	243	295	
	NTOT (mg/l)	50	30	63	49	59
Carichi di massa medi	LBOD5 (kg/d)	129	10	30	49	
	LCOD (kg/d)	210	13	49	99	
	LNTOT (kg/d)	49	9	13	16	9
Abitanti equivalenti base concentrazione	AE BOD5	2143	167	494	820	663
	AE COD	1748	110	405	822	411
	AE NTOT	4065	717	1046	1374	735
Portata specifica base concentrazione	Qs BOD5 (l/AE/d)	454	1738	405	408	224
	Qs COD (l/AE/d)	557	2641	493	407	361
	Qs NTOT (l/AE/d)	239	405	191	244	202

elemento	SWMM	numero
sottobacino	subcatchment	13
condotta	link	194
pozzetto	junction	190
vasca	storage	20
sollevamento	pump	21
sfioro	orifice	18
scarico	outfall	14

5

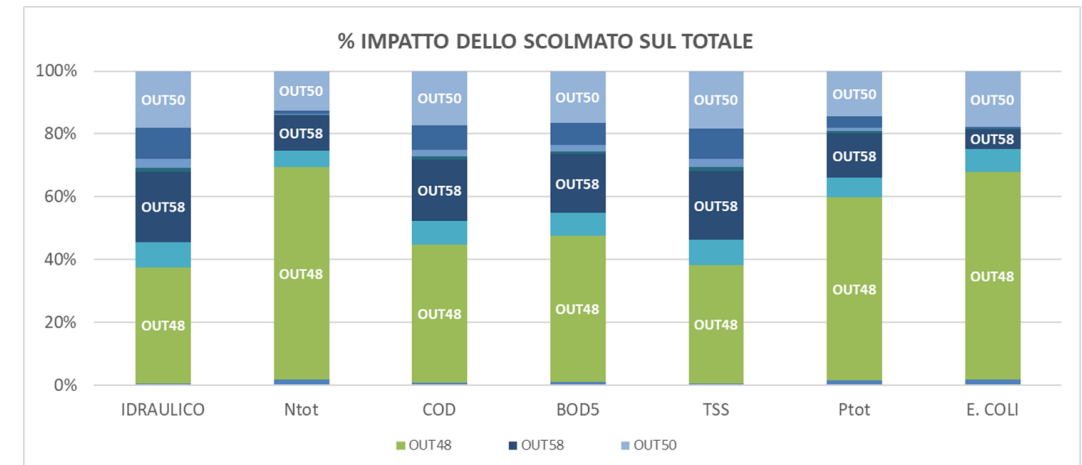
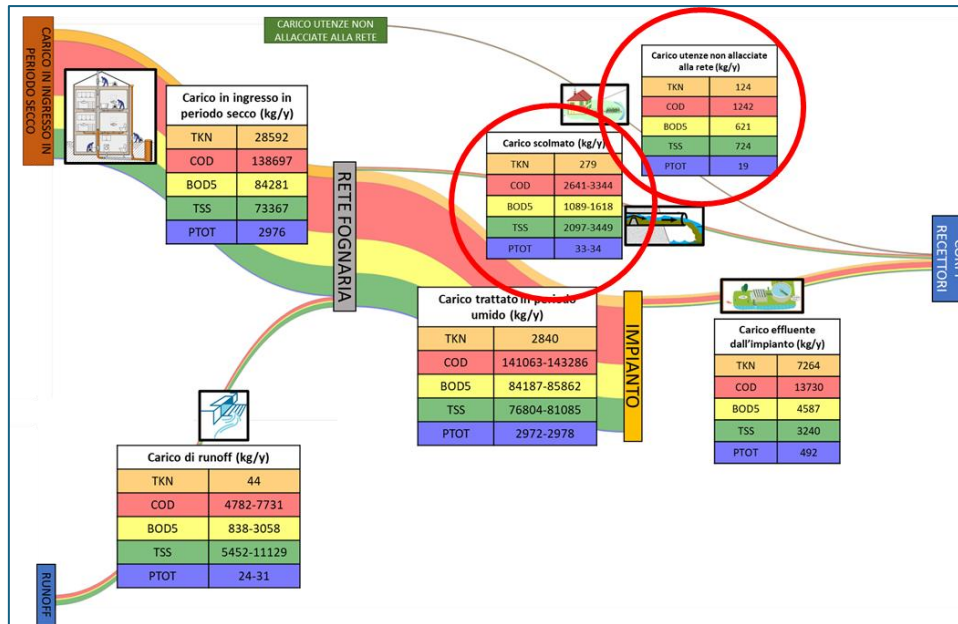


simulazione
osservazione

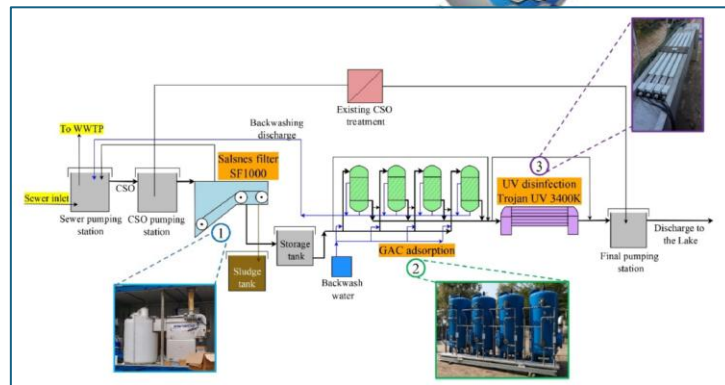
CARICHI DI MASSA	Ntot	COD	BOD5
	(kg/d)	(kg/d)	(kg/d)
Output modello	46	202	111
Ingresso medio	49	210	129
% errore	-5	-3.9	-13.4

4) SERVIZIO IDRICO INTEGRATO E GESTIONE URBANA

N° Attivazioni; Scolmatori critici; valori di p



INTCATCH 2020



Environmental Research
Volume 196, May 2021, 110367

Catchment-wide validated assessment of combined sewer overflows (CSOs) in a mediterranean coastal area and possible disinfection methods to mitigate microbial contamination

Paolo Crocetti ^a, Anna Laura Eusebi ^a, Cecilia Bruni ^a, Enrico Marinelli ^a, Giovanna Darvini ^b, Claudia Bernardo Carini ^c, Cristiano Bollettini ^c, Virginia Recanatì ^c, Çağrı Akçıl ^a, Francesca Fatone ^a

CSO TREATMENT TRAINS

Regione Lombardia D.g.r. 23 dicembre 2019 - n. XI/2723

TIPOLOGIE DI TRATTAMENTO ADOTTABILI

I DI TRATTAMENTO	ABBATTIMENTO CARICO INQUINANTE	ABBATTIMENTO FOSFORO	COSTI DI INVESTIMENTO	OCCUPAZIONE SPAZIO	NECESSITA' DI PERSONALE	CONSUMI ENERGETICI	FANGHI PRODOTTI	INTEGRAZIONE/ MIGLIORAMENTO HABITAT E PAESAGGIO
Vasca di sedimentazione + VF	+	+	+	+	+	+	+	+
VF ad alimentazione alternata	+	+	+	+	+	+	+	+
VF + FWS	+	+	+	+	+	+	+	+
FWS	+	+	+	+	+	+	+	+
FTW + VF o HF	+	+	+	+	+	+	+	+
AEW + FWS (fitodepurazione intensificata aerata)	+	+	+	+	+	+	+	+
Vasca di equalizzazione + HF	+	+	+	+	+	+	+	+
Vasca di equalizzazione + VF	+	+	+	+	+	+	+	+
Sedimentazione primaria statica	+	+	+	+	+	+	+	+
Sedimentazione con pacchi lamellari	+	+	+	+	+	+	+	+
Chiariflocculazione	+	+	+	+	+	+	+	+
Microgrigliatura	+	+	+	+	+	+	+	+
Grigliatura fine + Filtrazione meccanica finale	+	+	+	+	+	+	+	+

• = VALUTAZIONE POSITIVA
• = VALUTAZIONE NEGATIVA
• = VALUTAZIONE MEDIA/ASPETTO NON RILEVANTE

De Toffol, 2006

COUNTRY	Guideline	$Q_{overflow}$	Q_{CSO}	Required storage volume	Treatment Rate considered	Effects on considered receiving waters
Austria	ÖNORM-B 19	$2 Q_{overflow}$	$8 Q_{overflow}$		50% rain runoff	Yes
Belgium (Flanders)		$3-5 Q_{overflow}$	$5-10 Q_{overflow}$ No=7/a	Remaining spilling vol. with $T=1/7$ year	No	Yes
Denmark		$2 Q_{overflow}$	$5 Q_{overflow}$ No=2-10/a		No	Yes
Finland		$2 Q_{overflow}$	$6-7 Q_{overflow}$		No	
France		$2-3 Q_{overflow}$	$3 Q_{overflow}$ No=20/a (next future)		No	
Germany	ATV-A 128, 1992; BWK, 2003	$2 Q_{overflow}$	$7.5-15 l/s$ ha	$10-40 m^3$ ha	90% of COD load	
Greece		$2 Q_{overflow}$	$3-6 Q_{overflow}$		No	
Ireland		$3 Q_{overflow}$	$6-9 Q_{overflow}$		No	
Italy	Local	$2 Q_{overflow}$	$3-5 Q_{overflow}$		No	
Luxembourg		$2-3 Q_{overflow}$	$7.5-15 l/s$ ha	$10-40 m^3$ ha	No	

Combined sewer overflows: A critical review on best practice and innovative solutions to mitigate impacts on environment and human health

Alice Botturi^a, E. Gozde Ozbayram^b, Katharina Tondera^c, Nathalie I. Gilbert^d, Pascale Rouault^e, Nicolas Caradot^e, Oriol Gutierrez^f, Saba Daneshgar^g, Nicola Frison^h, Çağrı Akyol^h, Alessia Foglia^h, Anna Laura Eusebi^h, and Francesco Fatone^g

COUNTRY	Guideline	$Q_{overflow}$	Q_{CSO}	Required storage volume	Treatment Rate considered	Effects on considered receiving waters
Netherlands		$3 Q_{overflow}$	$5 Q_{overflow}$ No=7/a	$70 m^3$ ha	No	Sometime
Portugal		$2 Q_{overflow}$	$6 Q_{overflow}$		Yes	Sometime
Spain		$2 Q_{overflow}$	$5 Q_{overflow}$		No	No
Sweden		$3-4 Q_{overflow}$	$5-20 Q_{overflow}$		No	
Switzerland	AFU, 1977; GSChG, 1991; GSChV, 1998	$2 Q_{overflow}$			No	Yes
UK	UPM	$3 Q_{overflow}$	No: 3/bathing season in bathing waters 10/a shellfish waters	$t_{0.2}=2h$ at $3 Q_{overflow}$	No	Yes
USA	CWA, 1997; US EPA, 1995		No=4-6/a		85% combined wastewater	Yes

CSO TREATMENT TRAINS

Regione Lombardia D.g.r. 23 dicembre 2019 - n. XI/2723

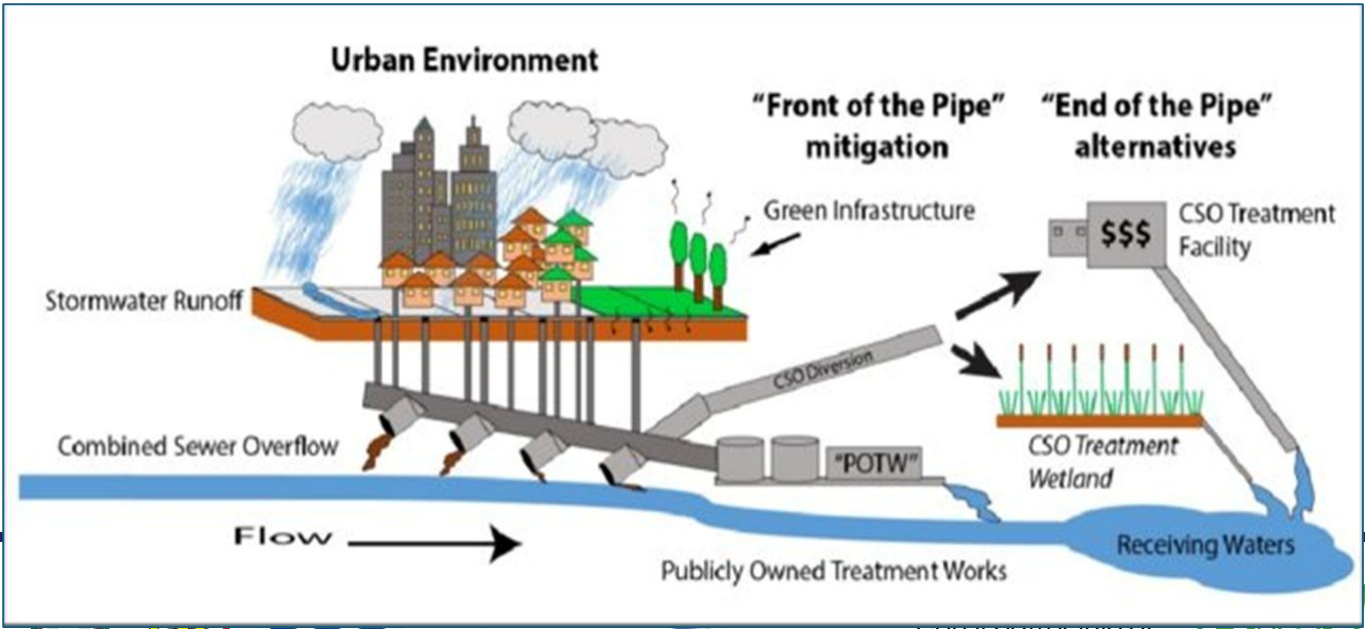
TIPOLOGIE DI TRATTAMENTO ADOTTABILI

Classificazione dei sistemi di fitodepurazione: TREATMENT WETLANDS

SOLUZIONI NATURALI

SOLUZIONI TECNOLOGICHE

- GRIGLIATURA MECCANICA
- DISSABBIATURA E DISOLEATURA
- SEDIMENTAZIONE PRIMARIA GRAVIMETRICA
- SEDIMENTAZIONE PRIMARIA CON CHIARIFLOCCULAZIONE
- SEDIMENTAZIONE PRIMARIA MECCANICA
- FILTRAZIONE FINALE A TELA
- FILTRAZIONE FINALE A SABBIA
- ULTRAFLTRAZIONE



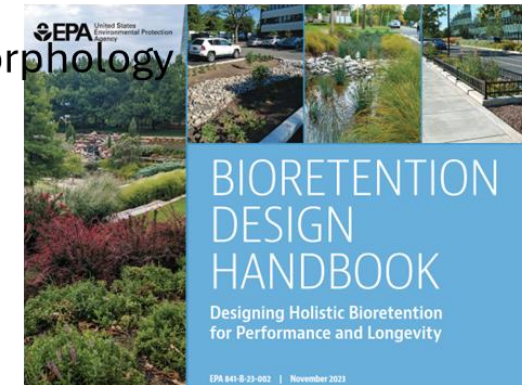
PRATICHE DI GESTIONE INTEGRATA E PIÙ RESILIENTE DEL TERRITORIO



- Agriculture
- Forestry
- Hydromorphology
- Urban



Gestione degli eventi di pioggia più intensi e gravosi anche attraverso l'applicazione di pratiche di gestione del deflusso meteorico



<https://www.epa.gov/green-infrastructure/overcoming-barriers-green-infrastructure>

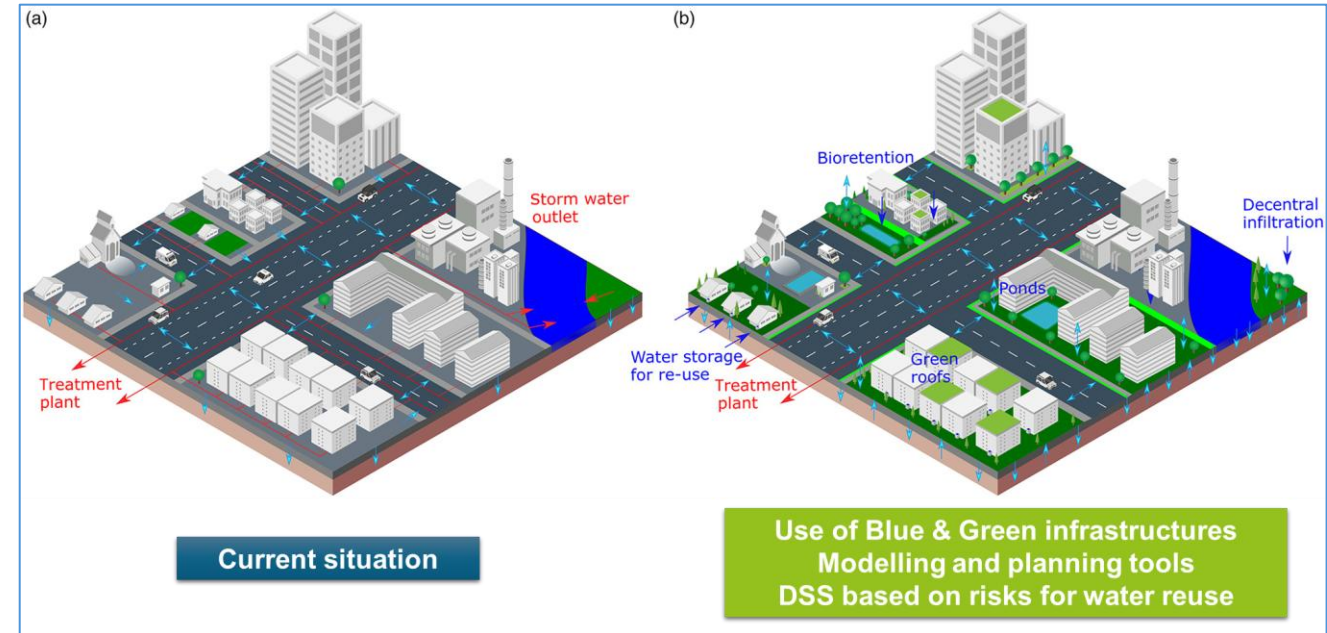
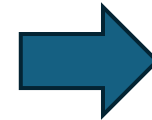
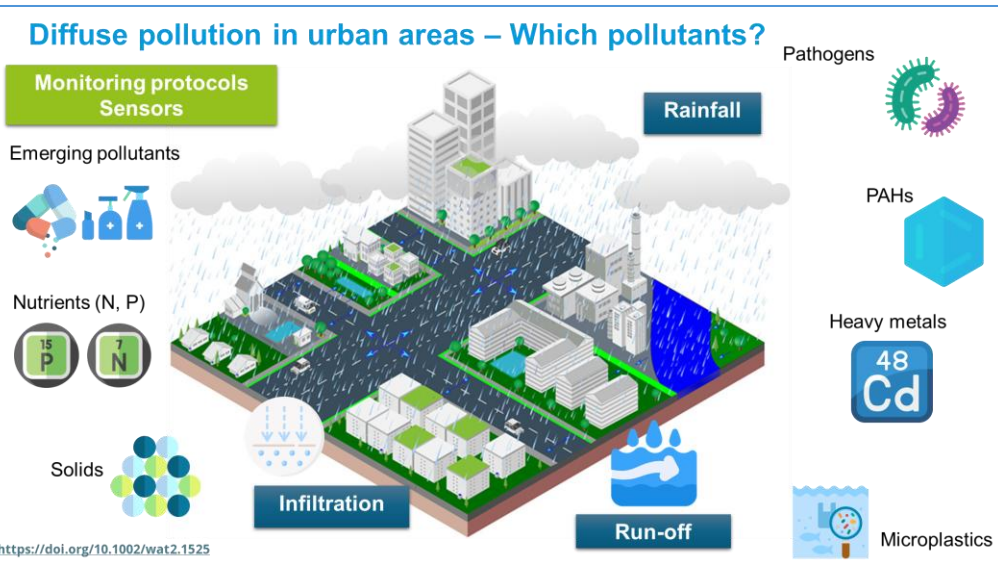


Green Stormwater Operations and Maintenance Manual





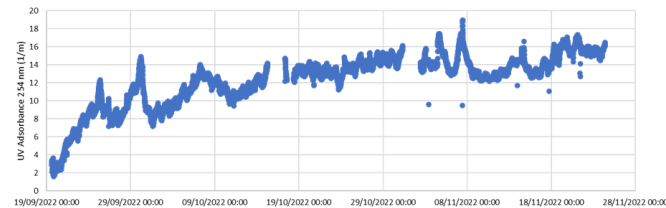
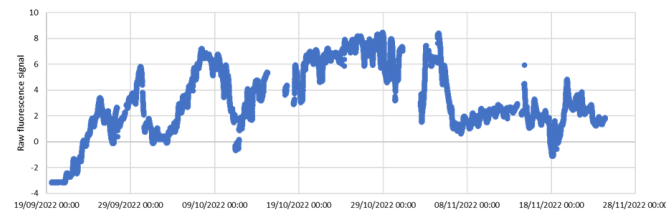
www.waterun.eu/



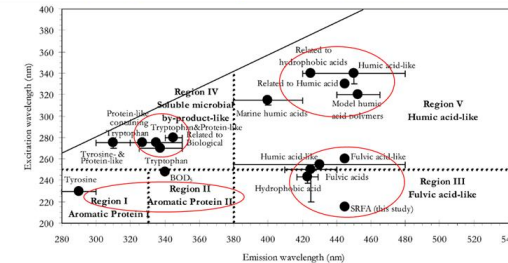
EVIDENZA	Microinquinanti e monitoraggio/riduzione scarichi/carichi industriali
ASPETTI IN DIRETTIVA	<ul style="list-style-type: none">• i gestori degli impianti che ricevono acque reflue non domestiche siano consultati e informati prima del rilascio delle autorizzazioni o dell'adozione di regolamentazioni e possano consultare, su richiesta, le autorizzazioni rilasciate per adeguare i propri processi di trattamento. Se nelle acque in entrata è rilevato inquinamento non domestico, gli Stati membri dovrebbero adottare le misure opportune per ridurlo alla fonte, potenziando il monitoraggio degli inquinanti nelle reti fognarie così che possano essere individuate le fonti di inquinamento e, se necessario, riesaminando le autorizzazioni rilasciate ai pertinenti impianti di trattamento delle acque reflue urbane collegati alle reti fognarie.• inquinanti non espressamente disciplinati dalla direttiva 91/271/CEE, quali metalli pesanti, microplastiche, microinquinanti e altre sostanze chimiche, tra cui le sostanze perfluoroalchiliche (PFAS)

SAMPLING PHASE AND NEEDED VOLUMES

Sampling Volume (L)	N° MPs/L		Sampling Volume (L)	MPs/L	
1	6614	Wang et al.. 2020	88	0.3	Life Bluelakes
1	930	Wang et al.. 2020	119	0.58	Life Bluelakes
1	1473	Pivokonský et al.. 2020	250	0.32	Life Bluelakes
1	443	Pivokonský et al.. 2020	250	0.18	Life Bluelakes
1	1812	Pivokonský et al.. 2020	300	0.007	Mintenig et al.. 2019
1	338	Pivokonský et al.. 2020	300	0.001	Mintenig et al.. 2019
1	3605	Pivokonský et al.. 2018	300	0.001	Mintenig et al.. 2019
1	628	Pivokonský et al.. 2018	310	0.61	Life Bluelakes
2	23	Pivokonský et al.. 2018	385	0.16	Life Bluelakes
2	14	Pivokonský et al.. 2018	521	0.14	Life Bluelakes
2	1296	Pivokonský et al.. 2018	1000	0.003	Cherniak et al.. 2022
2	151	Pivokonský et al.. 2018	1000	0.147	Life Bluelakes
10	42	Mintenig et al.. 2019	1000	0.047	Life Bluelakes
10	20	Mintenig et al.. 2019	1200	0.001	Cherniak et al.. 2022
10	20	Mintenig et al.. 2019	1200	0.002	Cherniak et al.. 2022
10	2.2	Mintenig et al.. 2019	2500	0.001	Jung et al.. 2022
25	1.8	Life Bluelakes	2500	0.003	Jung et al.. 2022
25	0.56	Life Bluelakes	4828	0.037	Life Bluelakes



EEMs provides a "map" of contributions of different component classes comprising dissolved organic matter (DOM)



Chen et al. (2003), "Fluorescence excitation - emission matrix regional integration to quantify spectra for dissolved organic matter", ES & T

ULTIMATE



**Fluorescence as
online real-time
monitoring tool**



NUOVI SCENARI NEL TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE

Palermo, 1 Agosto 2025



PROCESSI E TRATTAMENTI AVANZATI PER L'ADEGUAMENTO DEGLI IMPIANTI DI
TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE IN ACCORDO ALLA DIRETTIVA UE 2024/3019



Prof.ssa Anna Laura EUSEBI - Università Politecnica delle Marche

a.l.eusebi@univpm.it

Grazie per l'attenzione



UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE



Con il patrocinio di:



EVENTO ORGANIZZATO NELL'AMBITO DEL PROGETTO SMARTEE-PLANTS: SMART ENERGY-EFFICIENCY WASTEWATER TREATMENT PLANTS FINANZIATO DAL PROGRAMMA OPERATIVO COMPLEMENTARE (POC) 2014-2024 DELLA REGIONE SICILIANA - PROGETTO N. 08CT36000000330