

# NUOVI SCENARI NEL TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE

Palermo, 1 Agosto 2025



Università  
degli Studi  
di Palermo

d-i  
dipartimento  
di ingegneria  
unipa

## 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

WAVEE  
LAB  
Water and Waste Environmental Engineering

Con il patrocinio di:

Aiat  
Associazione Ingegneri Ambiente e Territorio



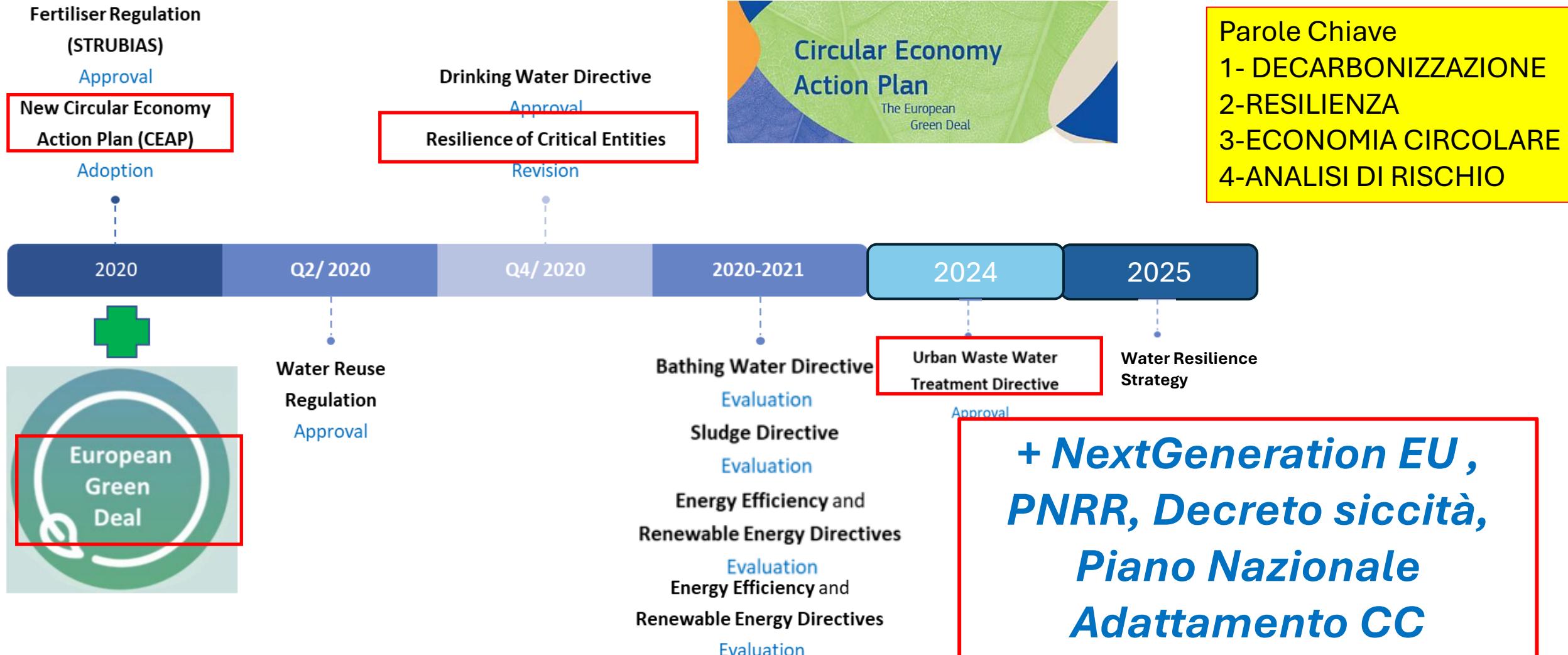
POC  
SICILIA 14-20

FESR  
SICILIA 2014-2020



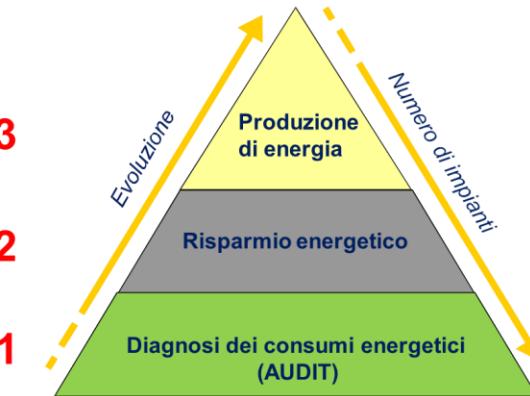
EVENTO ORGANIZZATO NELL'AMBITO DEL PROGETTO SMARTEE-PLANTS: SMART ENERGY-EFFICIENCY WASTEWATER TREATMENT PLANTS FINANZIATO DAL PROGRAMMA OPERATIVO COMPLEMENTARE (POC) 2014-2024 DELLA REGIONE SICILIANA - PROGETTO N. 08CT3600000330

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



EVIDENZA	NEUTRALITA' ENERGETICA
ASPETTI IN DIRETTIVA	<ul style="list-style-type: none"> <li>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 perseguitamento 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 Consiglio</li> <li>Le iniziative volte a conseguire la neutralità energetica non dovrebbero tuttavia comportare un aumento delle emissioni di metano e di protossido d'azoto</li> </ul>

## EFFICIENZA ENERGETICA NEGLI IMPIANTI DI TRATTAMENTO



Per l'efficientamento energetico degli impianti è fondamentale

- ✓ la diagnosi dettagliata dei consumi reali (AUDIT ENERGETICO)
- ✓ attuare prioritariamente strategie di risparmio energetico
- ✓ sfruttare i casi ove la produzione di energia sia sostenibile

# 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 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



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 <sup>a</sup>, M. Mauricio-Iglesias <sup>a</sup>, A. Soares <sup>b</sup>, P. Campo <sup>b</sup>, F. Fatone <sup>c</sup>, A.L. Eusebi <sup>c</sup>, E. Akkersdijk <sup>d</sup>, L. Stefani <sup>e</sup>, A. Hospido <sup>a</sup>

Show more ▾

TECHNICAL REPORT  
RAPPORT TECHNIQUE  
TECHNISCHER BERICHT

CEN/TR 17614  
January 2021

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, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Repubblica di San Marino, 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.



Università  
degli Studi  
di Palermo

dipartimento  
di ingegneria  
unipa



Con il patrocinio di:



## 2° Livello

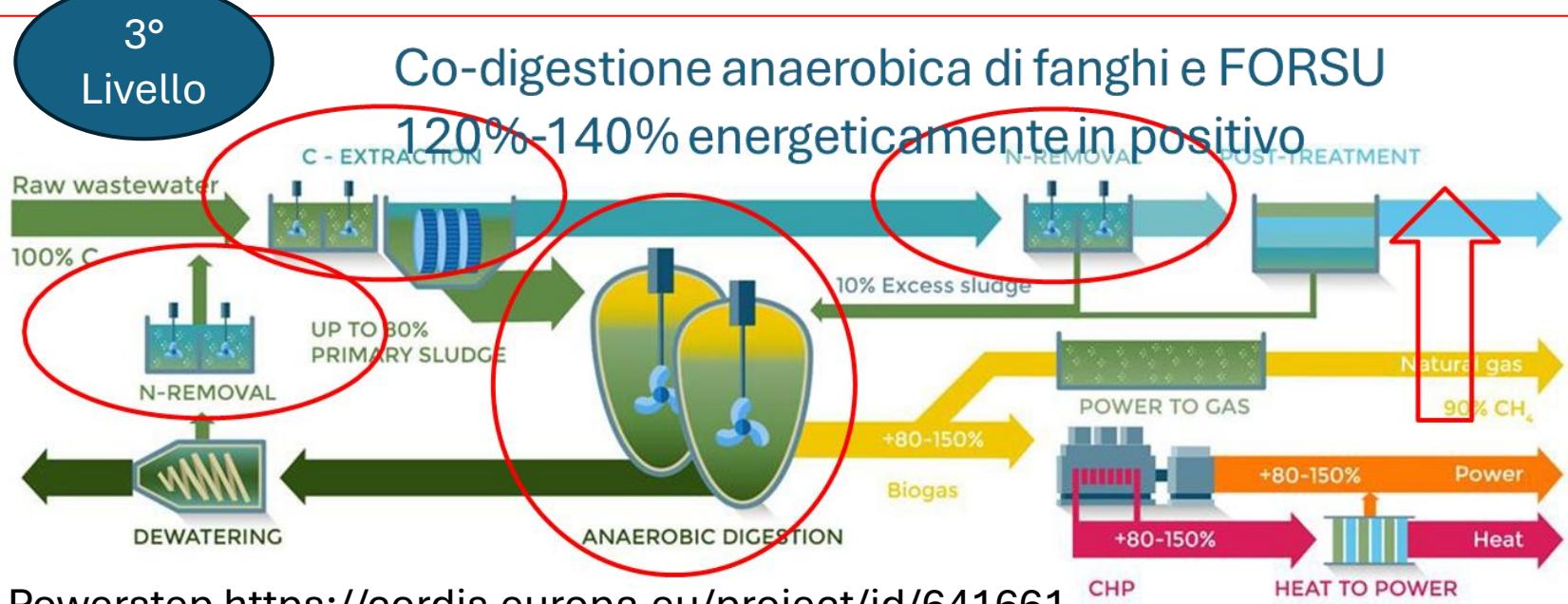
- **elevato risparmio energetico e modifica delle filiere della linea acque**
- **alta efficienza di conversione (elettromeccanica)**

Modulo POWERSTEP ([www.powerstep.eu](http://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



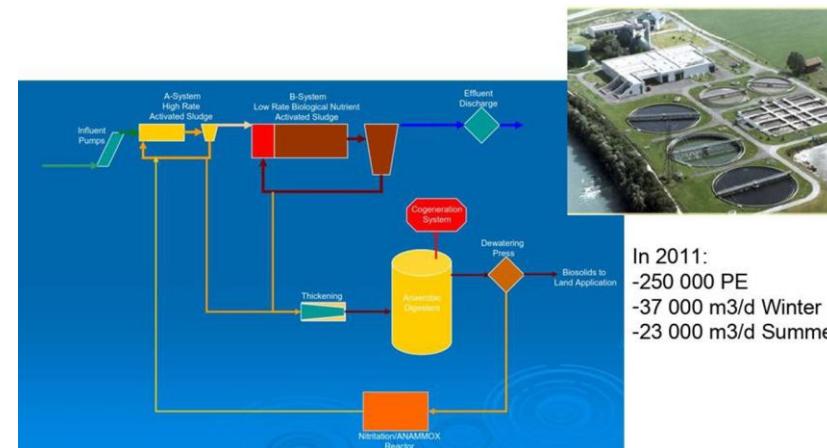
Powerstep <https://cordis.europa.eu/project/id/641661>

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



Energeticamente positivo:  
+ 150%

Caso studio: Strass WRRF

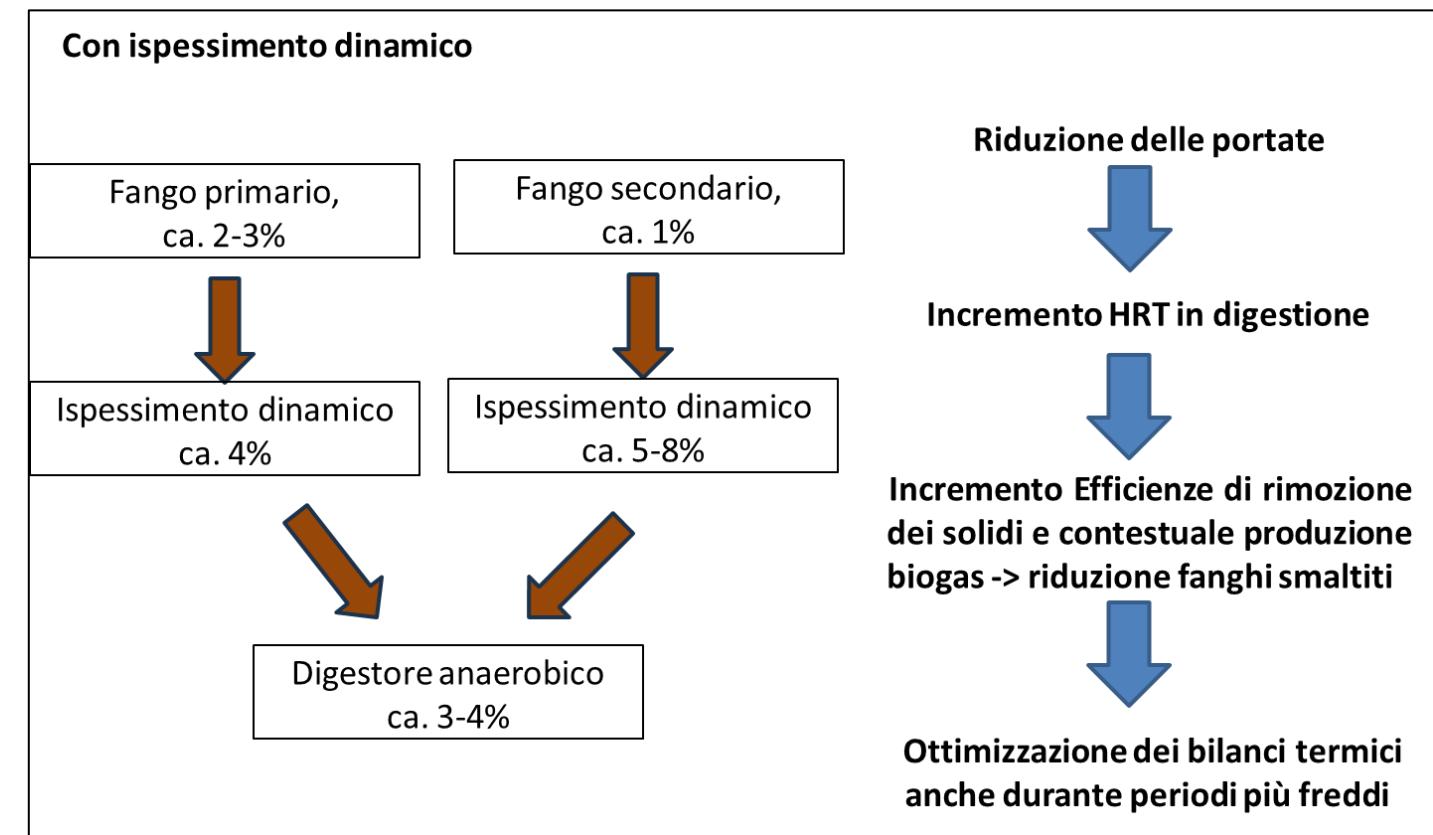


Produzione energia da cogenerazione biogas>>50-100% del consumo elettrico dell'impianto ottimizzato

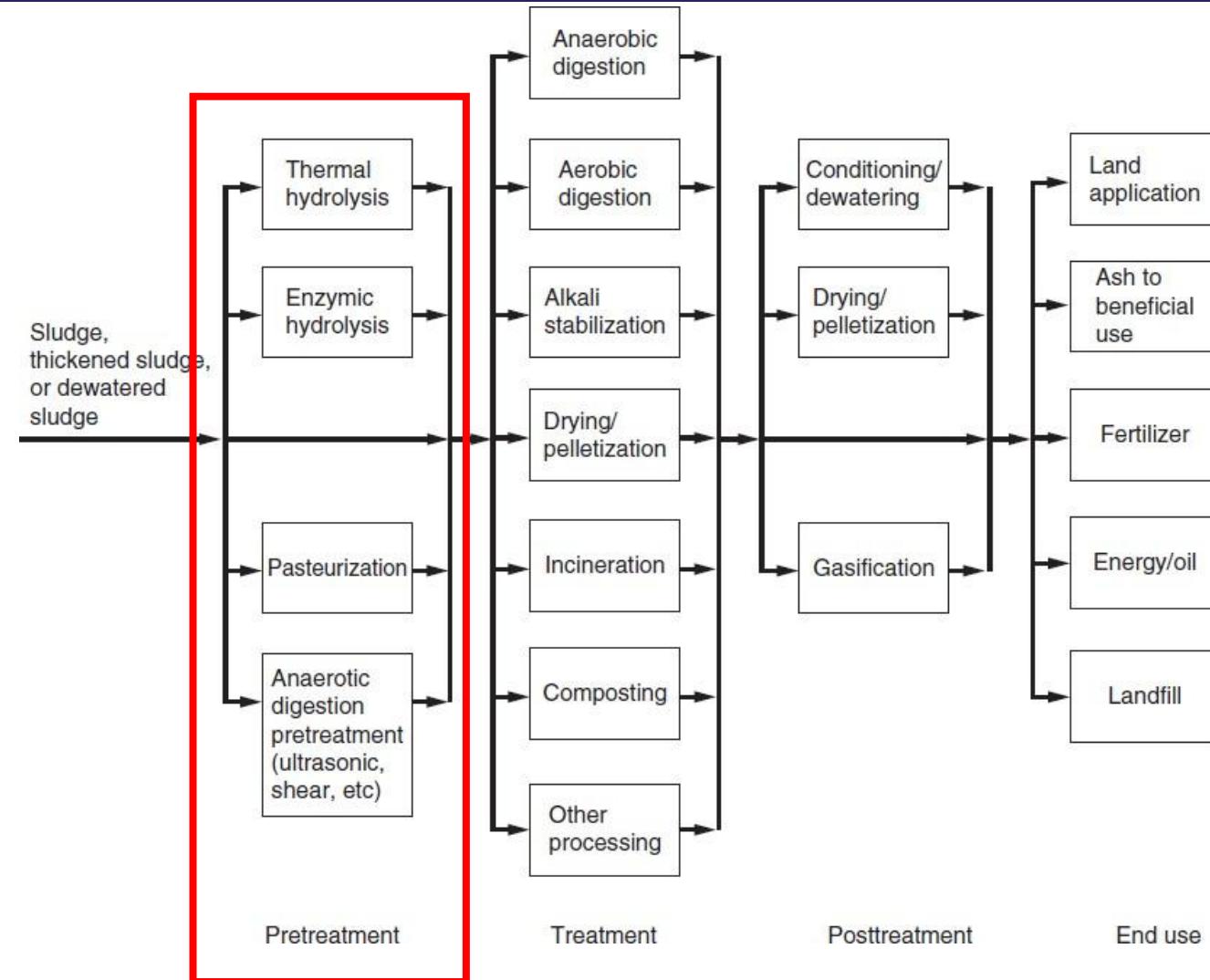
Con il patrocinio di:

## 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
<b>Idrolisi termica</b>	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;
<b>Idrolisi chimica</b>	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
<b>Ossidazione ozono</b>	Aumento della biodisponibilità mediante ossidazione dei composti organici complessi	Dose di ozono: 1-10 g O <sub>3</sub> /g sostanza secca; Tempo: 10-60 min	Fino al 25-40% nella rimozione di materia organica
<b>Trattamento con ultrasuoni</b>	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
<b>Trattamenti meccanici con modifica della reologia</b>	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

# 1) NEUTRALITA' ENERGETICA

4°  
Livello

Water Research 261 (2024) 122037



Contents lists available at ScienceDirect

Water Research

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/watres](http://www.elsevier.com/locate/watres)



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, Jangan-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) and multieffect distillation (MED)) processes (RO, MD, and MED) are after desalination processes have

they offer potential if renewable energy in the growth of the plant during wastewater treatment plants and an overview of the applying renewable energy for scientists information.

Journal of Cleaner Production 279 (2021) 123811

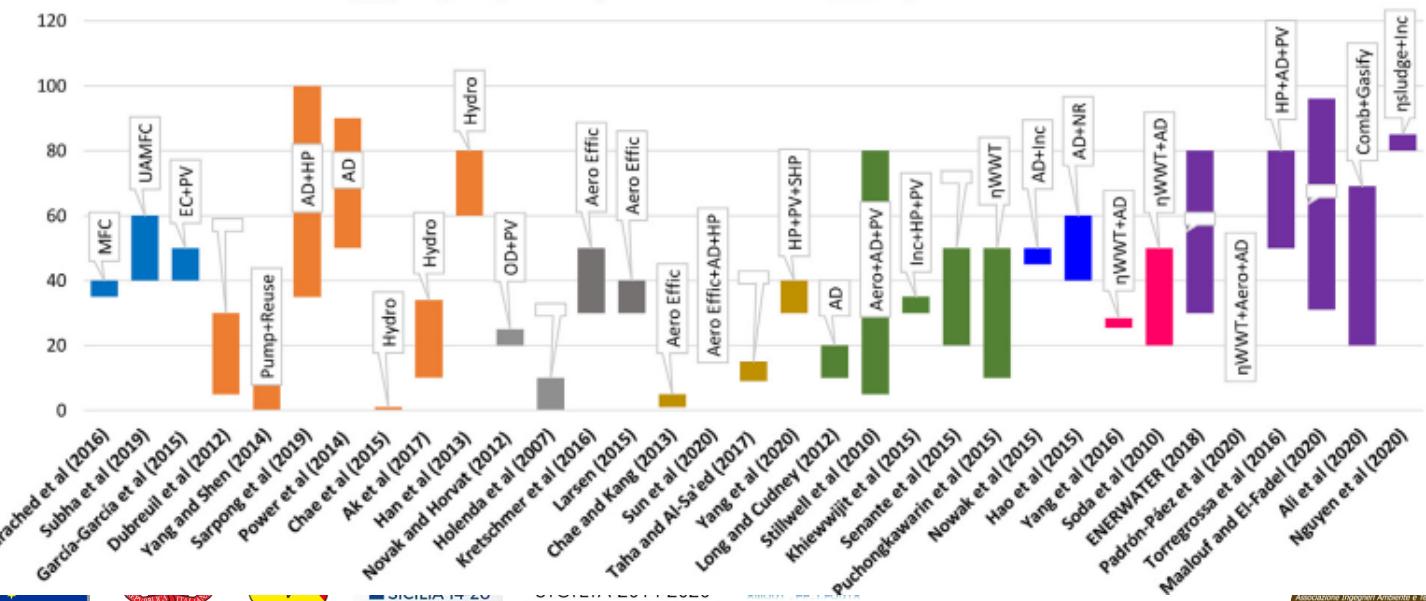
Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Cleaner Production



journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jclepro](http://www.elsevier.com/locate/jclepro)

Carbon reduction (%)



Università  
degli Studi  
di Palermo



# 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](http://www.envirosim.com)),
- EFOR ([hwww.dhisoftware.com/efor](http://www.dhisoftware.com/efor)),
- GPS-X ([www.hydromantis.com](http://www.hydromantis.com)),
- SIMBA ([hwww.ifak-system.com](http://www.ifak-system.com)),
- STOAT (<http://www.wrcplc.co.uk/software>)
- WEST ([www.hemmis.com](http://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"> <li>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 <b>fonte residua di scarichi di azoto e fosforo</b>.</li> <li>preparano <b>al riutilizzo, al riciclaggio e ad altri tipi di recupero delle risorse</b>, 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 <b>un tasso minimo combinato di riutilizzo e riciclaggio del fosforo</b> presente nei fanghi e nelle acque reflue urbane non riutilizzate ai sensi della deroga di cui all'articolo 15, paragrafo 1</li> </ul>

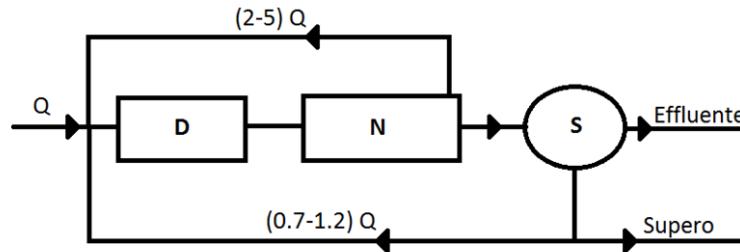
Parametri	Concentrazione	Percentuale minima di riduzione (cfr. note 1 e 2)	Metodo di riferimento per la misurazione
Fosforo totale (cfr. nota 4)	0,7 mg/l (10 000 – 150 000 a.e.)	87,5 (10 000 – 150 000 a.e.)	Spettrofotometria di assorbimento molecolare
	0,5 mg/l (oltre 150 000 a.e.)	90 (oltre 150 000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

**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.

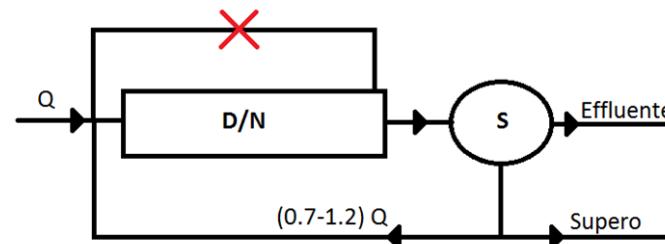
## ! RIUTILIZZO E FERTIRRIGAZIONE!

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.

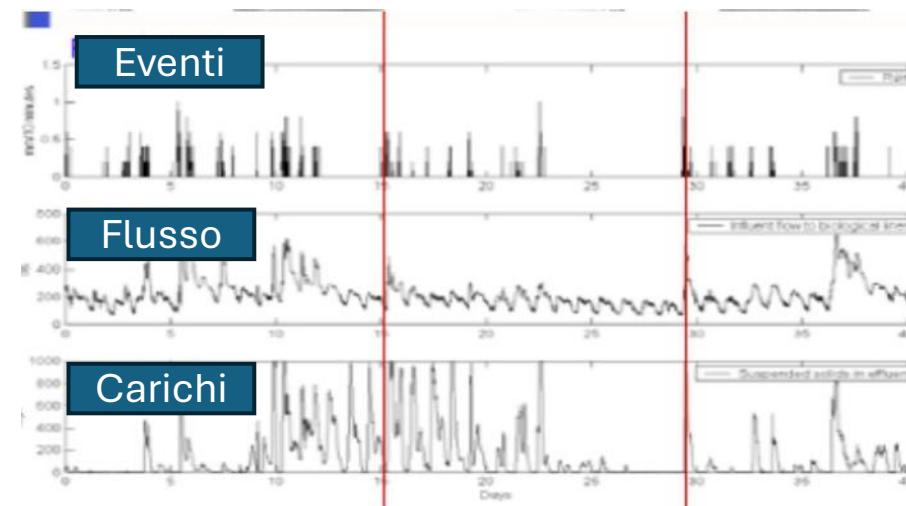
### Predenitrificazione



### Aerazione intermittente



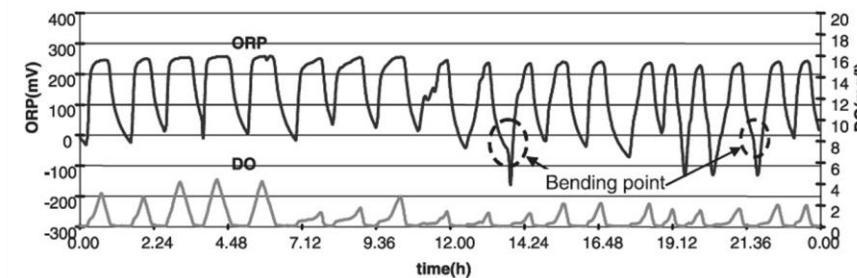
- Ottimizzazioni di controllo
- Applicazioni fasi intermittenti
- Innumerevoli applicazioni su scala reale



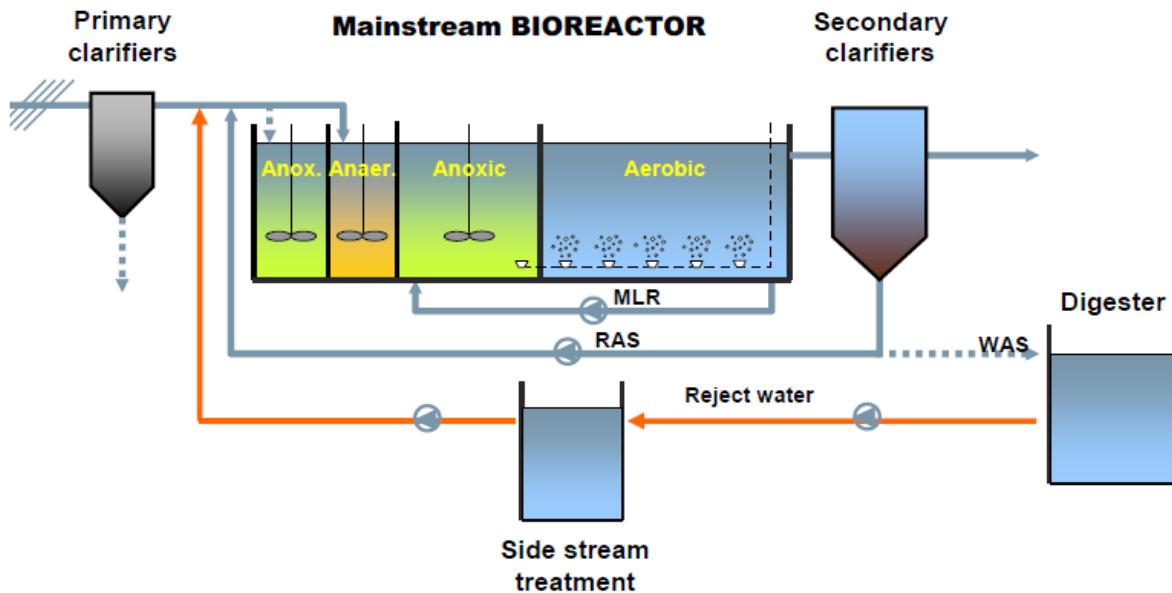
### AERAZIONE INTERMITTENTE

- Approccio classico -

- Ci sono diversi approcci, alcuni brevettati
- Un approccio prevede il monitoraggio in tempo reale dei parametri indiretti (ossigeno, pH, ORP, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, Conducibilità) 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%
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

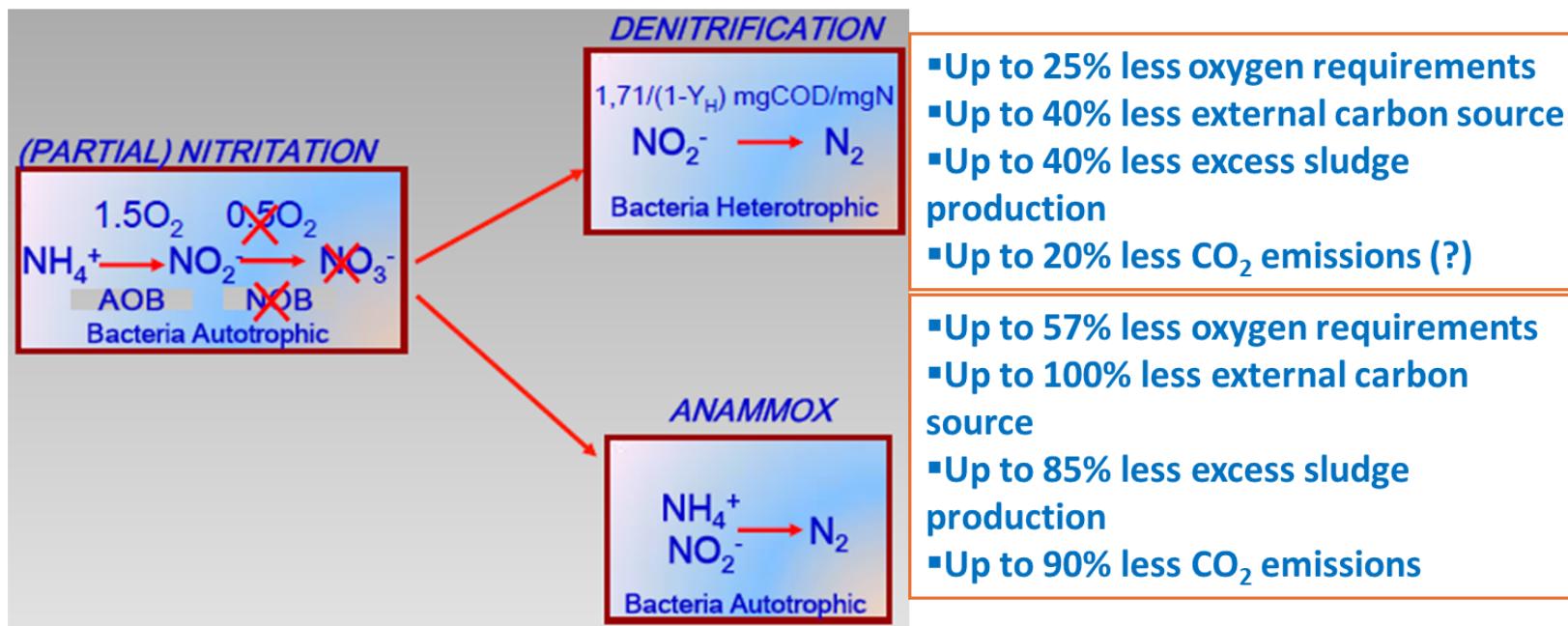
CONVENTIONAL

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 generale un impatto energetico (> 5 kW/AE y), oltre a volumetrie di reazione (>40 L/AE).

## Short cuts nel ciclo dell'azoto: come?



### Ideal solution for...

- High nitrogen concentration > 200 mg N/L
  - High free ammonia concentration > 1 mg NH<sub>3</sub>-N / L
  - BOD/N < 2
  - High pH (7-9)
  - T(>20-25°C)
- ...anaerobic digestate!

# Confronto Processi

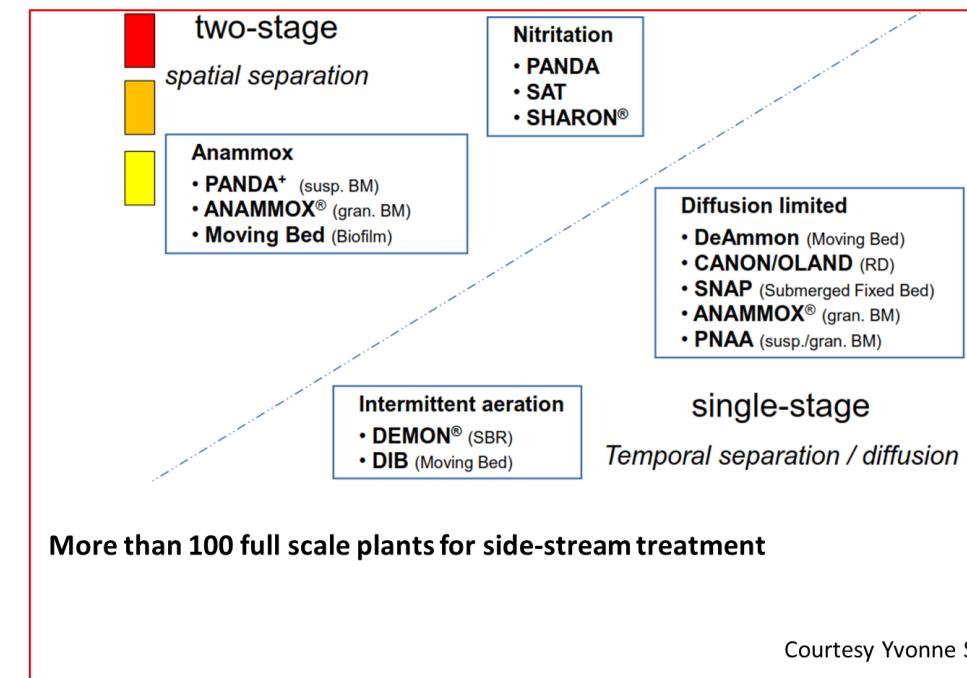
Processes <sup>a</sup>	O <sub>2</sub> consumption (kg O <sub>2</sub> (kg N) <sup>-1</sup> )	COD consumption (kg COD (kg N) <sup>-1</sup> )	CO <sub>2</sub> emission (kg CO <sub>2</sub> (kg N) <sup>-1</sup> )	Sludge production <sup>b</sup> (kg VSS (kg N) <sup>-1</sup> )
Nitrification-Denitrification (including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

<sup>a</sup>Methanol was used as carbon source, the values were obtained from Eq. 1.20, 1.23 and 1.24.

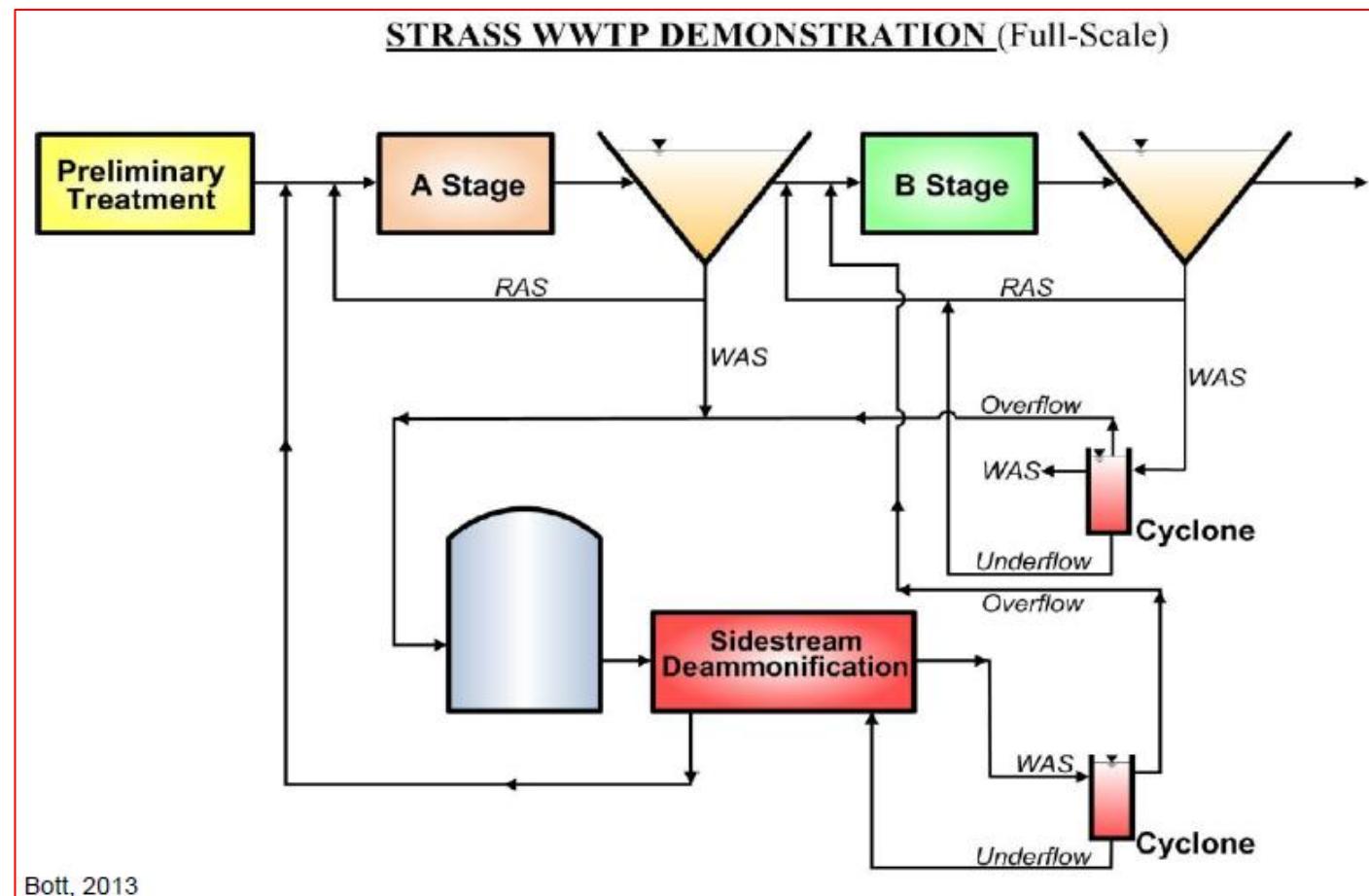
<sup>b</sup>Mulder, 2003.

	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 <sub>2</sub> emission	> 4.7	0.7	kg/kg N
Total Costs <sup>1</sup>	3 – 5	1 – 2	€/kg N

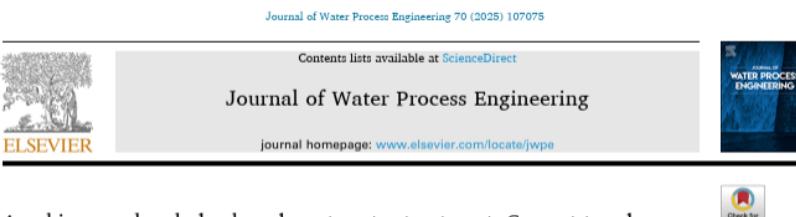
<sup>1</sup>Total Costs includes both operational cost and capital charge



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



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

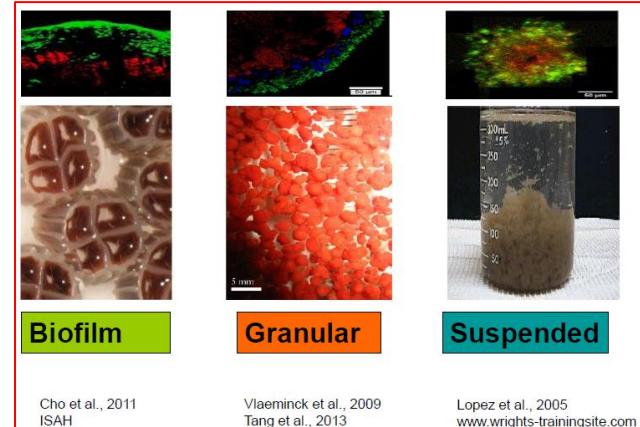
Pingili Vydehi <sup>a,\*</sup>, Gobinath Ravindran <sup>b</sup>, G. Shyamala <sup>a,\*</sup>, S. Ramesh <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Department of Civil Engineering, SR University, Warangal, Telangana 560071, India

<sup>b</sup> University Center for Research and Development, Chandigarh University, Mohali, 140413, India

<sup>c</sup> Department of Civil Engineering, K. S. Rangasamy College of Technology, Trichengode 637215, India

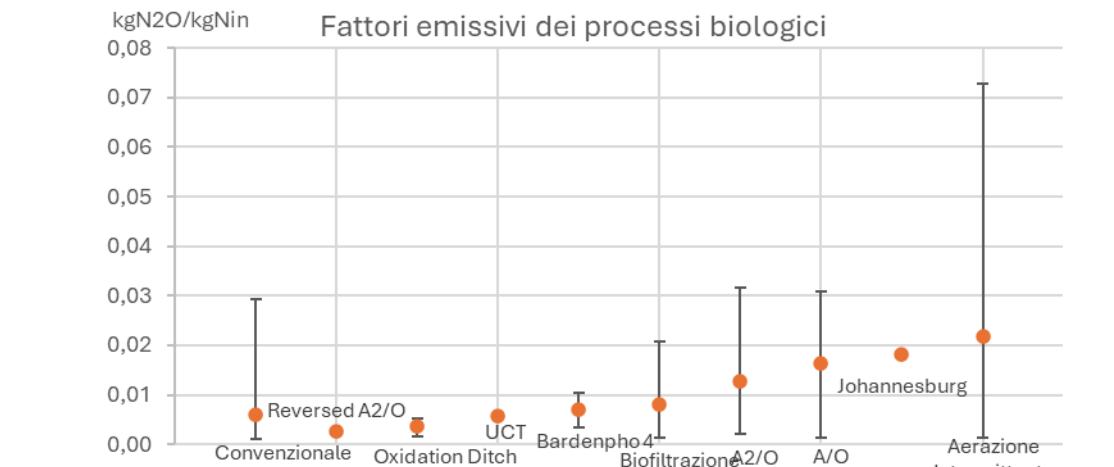
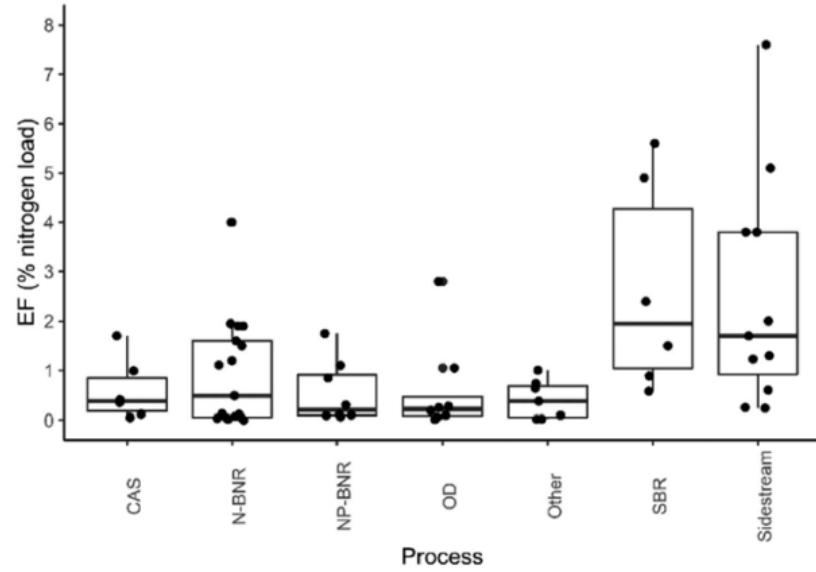
B1: Shortcut nitrification and denitrification



## B-System: Sustainable Nitrogen Removal

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

# ! Emissioni di gas serra !



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

© Schneider, 2013

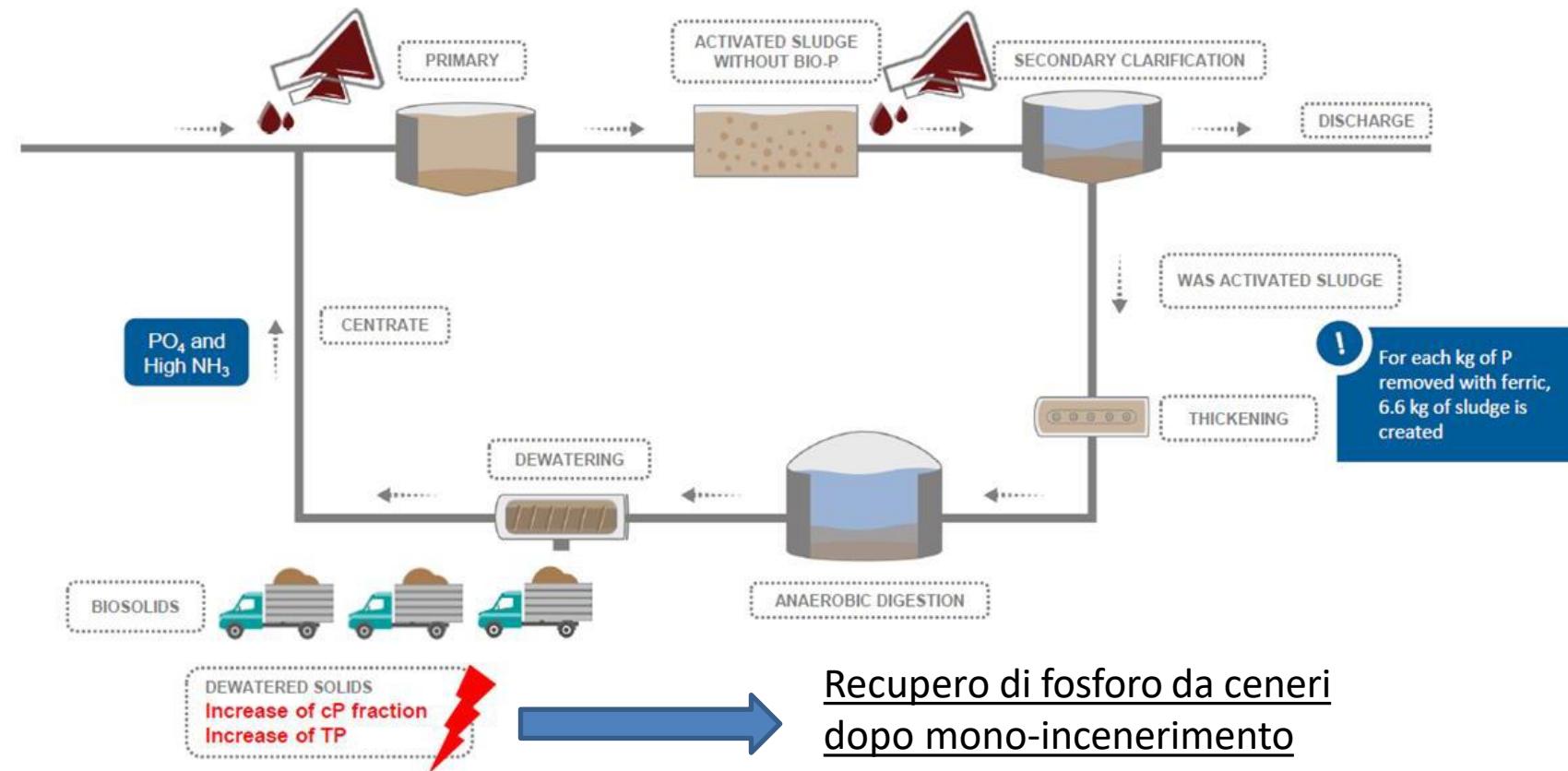


Con il patrocinio di:



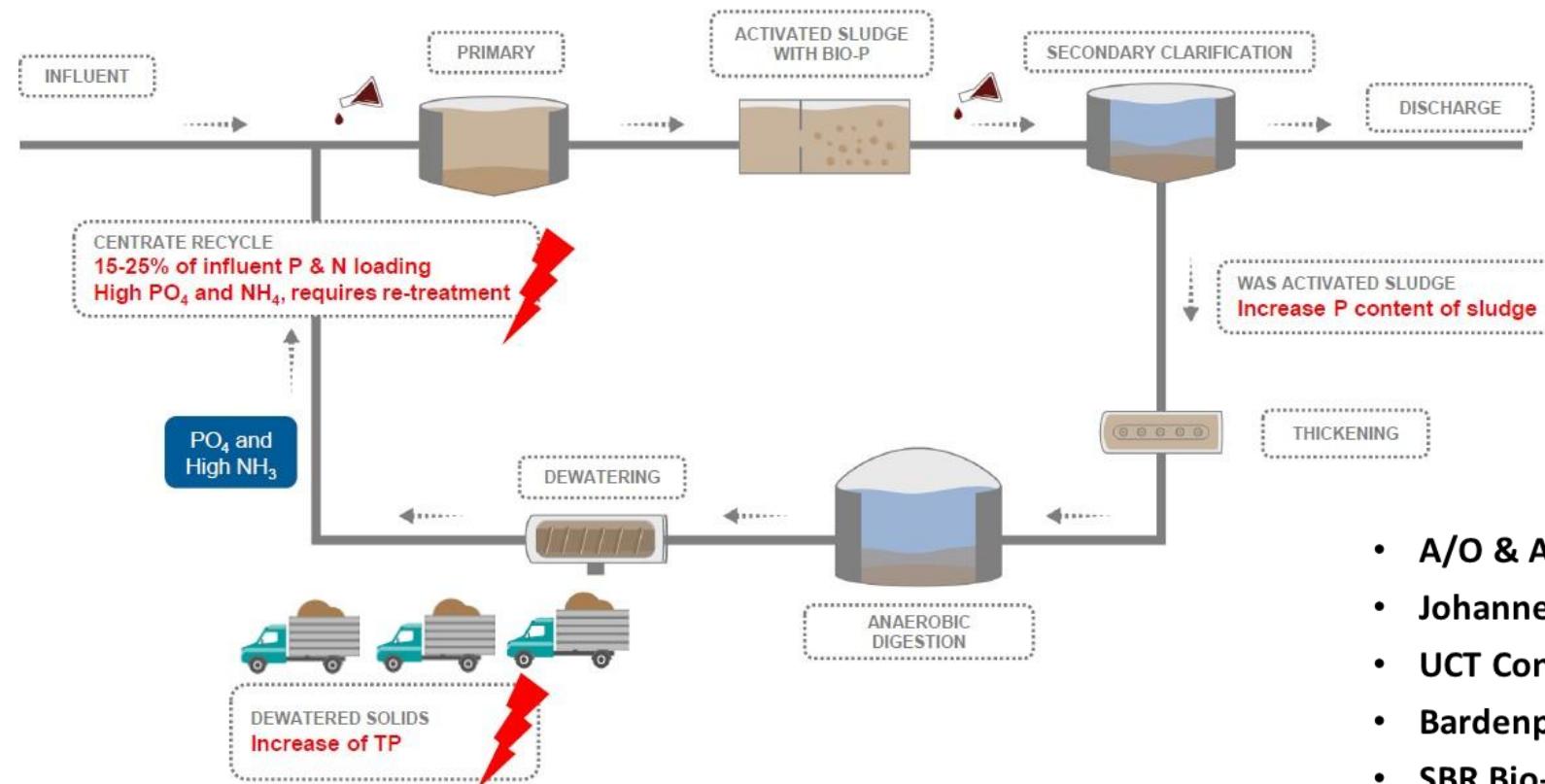
Courtesy of Nicola Frison

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 & A<sub>2</sub>/O
- Johannesburg (JHB)
- UCT Configuration
- Bardenpho (Five Stage)
- SBR Bio-P Configuration
- Various modified configurations

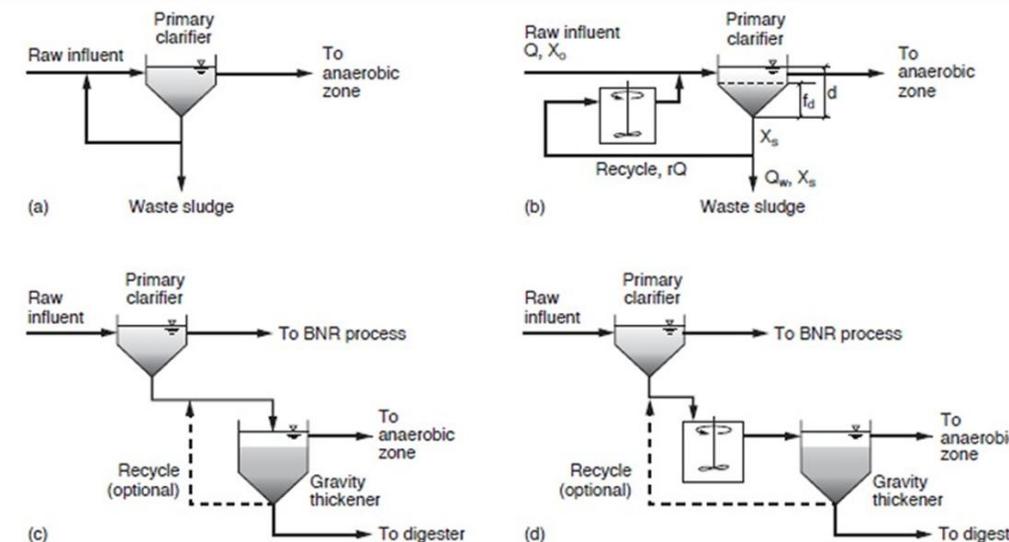
Influent substrate parameter	Value	Reference
VFA:P	8	Wentzel (1990)
rbCOD:P	18	Barnard (2006)
BOD:P	30	Sedlak (1991)
COD:P	60	U.S. EPA (2010)

### Produzione di carbonio da fermentazione acidogenica di fanghi

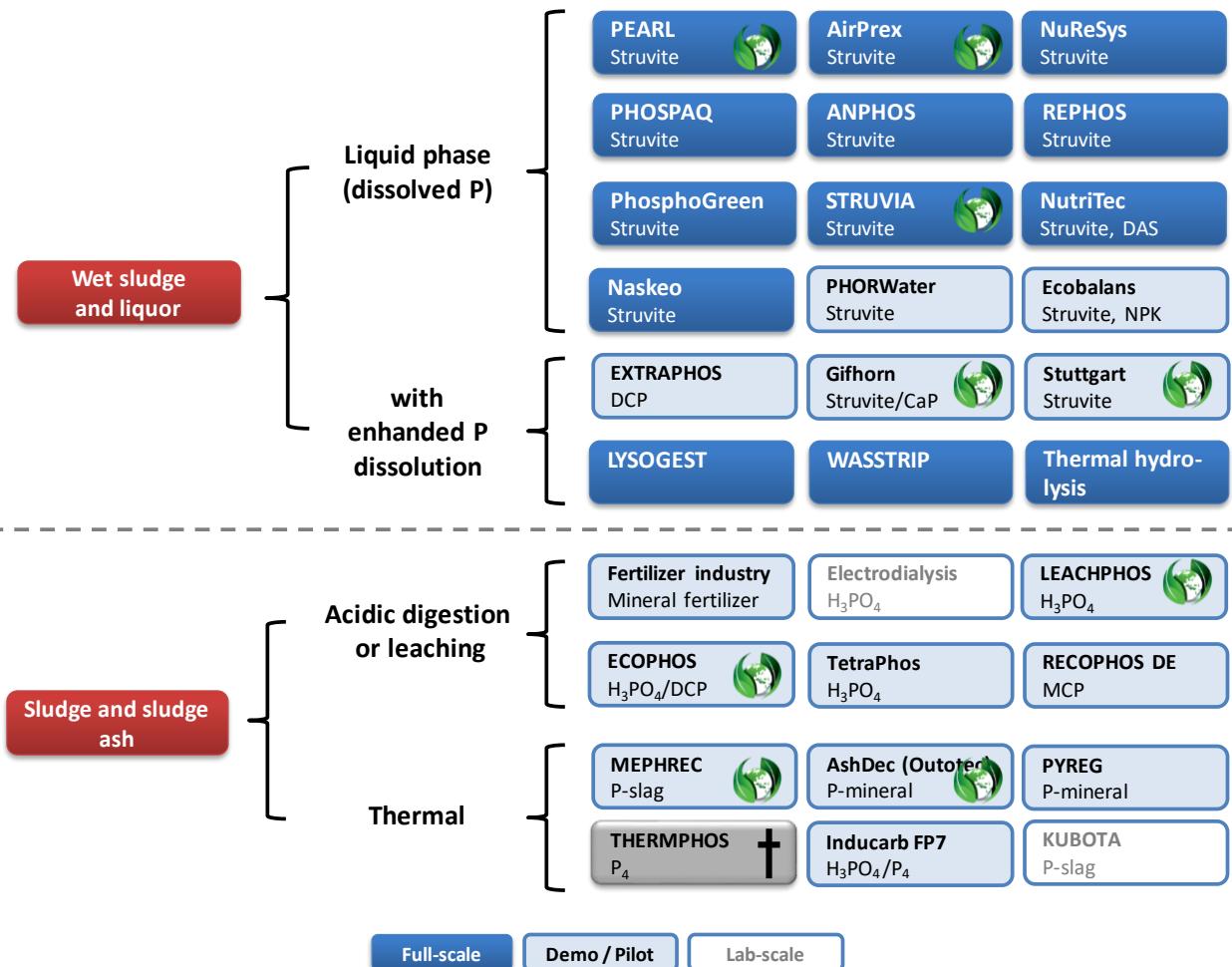
- Linea acque:
  - Elutriazione
  - Solitamente non prevede la fermentazione a temperatura controllata
  - Concentrazioni di VFAs relativamente basse, ma adatte alla linea acque

- Linea fanghi:
  - Fermentazione a temperatura controllata;
  - Concentrazioni di VFAs elevate nel fermentato liquido separato (utili per trattamento surnatanti anaerobici);
  - VFAs prodotti sono potenzialmente ricircolabili 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?

AirPrex® CalPrex ® Patented Sludge Optimization Process



Phosphogreen™ is a phosphorus recovery process based on a precipitation-crystallization reaction.



Ostara's Pearl®



ELIQUO|HYDROK

EloPhos®



AshDec® Thermochemical P-Recovery from Sewage Sludge Ash



RecoPhos

....e molte altre!!!

Precipitazione di struvite o Sali a base di P



Recupero di P da ceneri

Con il patrocinio di:

## 2) RIMOZIONE -RECUPERO NUTRIENTI

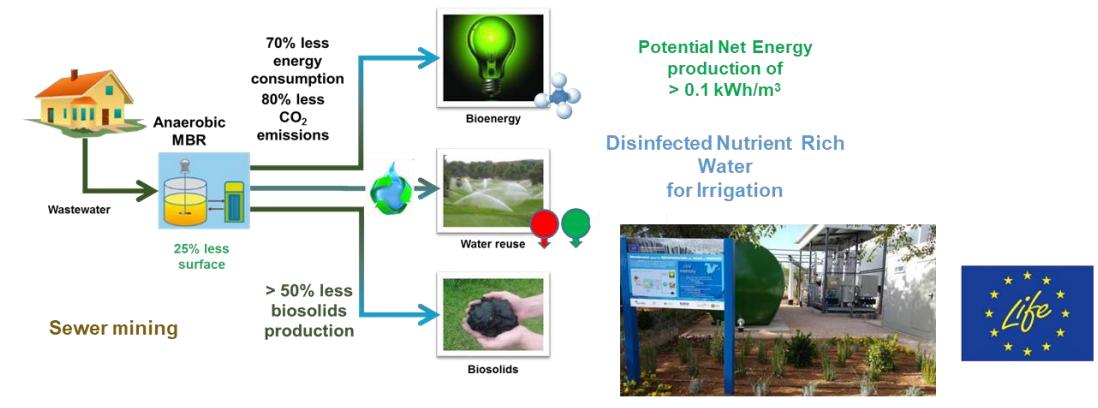
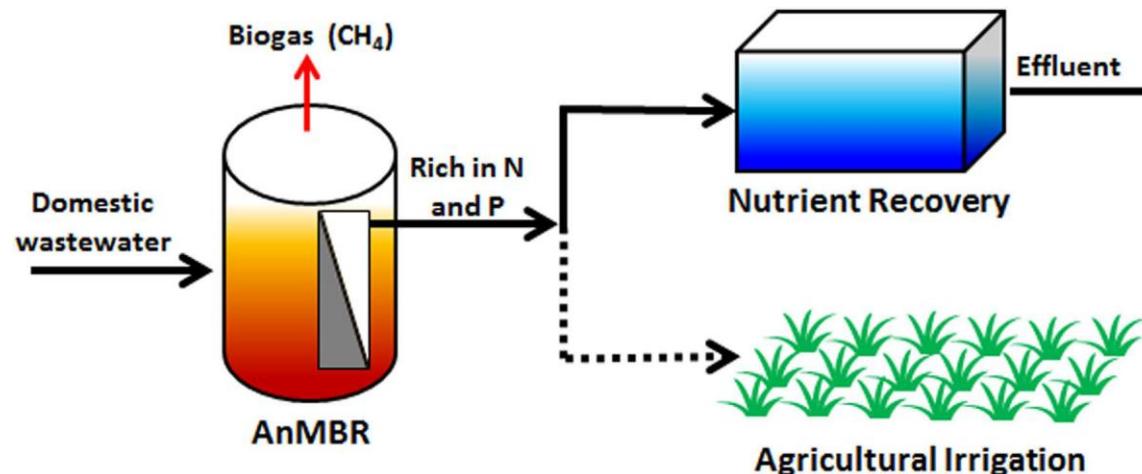
Technology	Location and operator	Operational since	Recovered material or product	Qty/a in tons
<b>Onsite wastewater treatment plants</b>				
AD-HAP (since 2014 by Hitachi Zosen)	Senboku Blackwater TP (JP), Senboku City	2007		15
	Totsugawa Village (JP)	2008		2
	Seihokugo Environment Improvement Assoc. (JP)	2009	HAP	40
	Kushimoto Town (JP)	2011	(from Night Soil)	11
	Shimanto Town (JP)	2011		11
	Kofu Town (JP)	2015		4
	MG-Neuwerk (DE), Niersverband	2009		100
AirPrex® / MagPrex™	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	Struvite	--*
	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		--*
ANPHOS®	Nampa, ID (USA), Nampa WRF	2023		--*
	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.
	Odiliapeil (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	Struvite	150
	Haps (NL), Waterschap Aa en Maas	2011		n.i.
Crystalactor®	Oosterbierum (NL), Lamb Weston Meijer	2016		580
	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 PEARTL 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)
NASKEU	Castres (FR)	2015	Struvite 25
	Harelbeke (BE), Agristo	2008	250
	2x Nieuwkerke (BE), Clarebout Potatoes	2009/12	650
	Waasten (BE), Clarebout Potatoes	2012	n.i.
NuReSys®	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 Steinhoff (DE), SE BS / AVB	2019	--*
	Pima County, Tres Rio WRF, AZ (USA)	2021	--*
	Lódz GOS (PL), City of Lódz	2023	--
	Warsaw South (PL),	2023	(2700)
NutriTec® (Sustec, DMT)	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
	Amersfoort (NL), Vallei & Veluwe	2015	500
	Edmonton, AB (CDN), EPICOR Water Services	2015	2500
	Stickney, IL (USA), Metro. Water Recl. Chicago	2016	Struvite (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), Sha'adan WWTP, Mey Ezor Dan	2021	5000
	Ottestad (NO), Hias WWTP, Hias IKS	2022	(250)
	Dublin (IE), Ringsend WWTP, Irish Water	2023	(5000)
PhosForce (Veolia)	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)	1998	Struvite 125
	--	2000	n.i.
	--	2009	n.i.
	--	2011	n.i.
	Kinan Environment Improvement Association (JP)	2014	n.i.
PHORWater	Calahorra (ES), El Cidacos	2015 (demo)	Struvite n.i.
PHOSPAQ™	Olburgen (NL), Waterstromen (municipal & food)	2006	400
	Lomm (NL), Waterstromen (food)	2007	Struvite 260

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	
PhosphoGREEN (SUEZ)	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
P-RoC	Bachgau (DE), Markt Großostheim	2025	CaP at CSH (40)
REPHOS™ (delivered by NuReSys)	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, Koba City (JP), Swing Corp.	2012	Struvite 130
<b>Downstream wastewater treatment plants and ashes</b>			
Ash2®Phos	Schkopau (DE), Phosphorgewinnung Schkopau GmbH (EasyMining & Gelsenwasser AG)	2025	(15,000)
	Helsingborg (SE), EasyMining Sweden AB	2026	RevoCap™ (15,000)
AshDec®	Altenstadt (DE), Emter GmbH	2024	Calcined phosphate (16.00)**
EUPHORE®	Mannheim (DE), MVV Energie AG	2023	Improved ash (14.00)**
Fertiliser industry	Various companies already apply or consider use of secondary P sources	tested and intended	Commercial fertilisers Mixed in***
Glatt®	Haldensleben (DE), SERAPLANT GmbH	(2021-2022)	MCP, NPS Intended (60,000)***
PHOS4green	Bound to premium ash input (fertiliser grade)	(insolvency summer 2022)	fertilisers
KUBOTA	2 plants (4 furnaces) (JP), municipal (input: 60-80 t/d dewatered sludge)	2014	P rich slag 1.200-1.500
METAWATER	Gifu North (JP), Gifu City	2010	300
	Akisato (JP), Tottori City	2013	HAP 150
Nippon PA	Chiba (JP), Nippon Phosphoric Acid	2009	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> n.i.
TetraPhos®	Hamburg (DE), Hamburger Phosphorecylingsgesellschaft mbH	2023	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (7.000)
	Lünen (DE), Remondis TetraPhos®GmbH	2025	(RePacid®) (5.800)

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

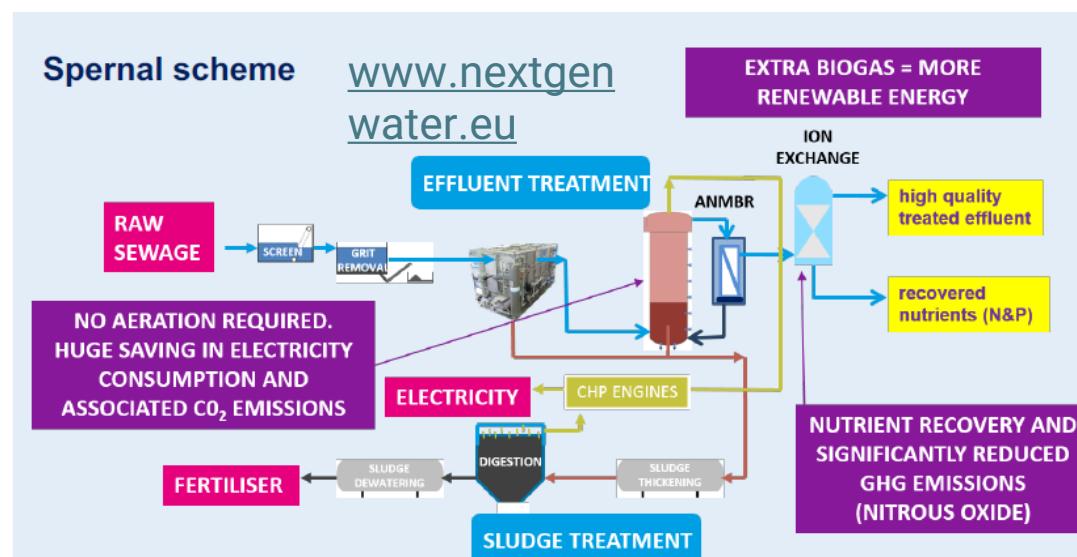
# Collettamento 1000 AE e piccoli impianti



[www.life-memory.eu](http://www.life-memory.eu)



LIFE13 ENV/ES/001353



## EVIDENZA

## Trattamento Carico Farmaceutici e EPR

## ASPETTI IN DIRETTIVA

- 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

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

Table 1. Pharmaceutical contaminants (PCs).

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



Coordination Chemistry Reviews

Volume 442, 1 September 2021, 213993



Science of The Total Environment

Volume 699, 10 January 2020, 134322



Review

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

Muhammad Kashif Shahid <sup>a,1</sup>, Ayesha Kashif <sup>b,1</sup>, Ahmed Fuwad <sup>c</sup>, Younggyun Choi <sup>d</sup>, Dimitra Lambropoulou <sup>a</sup>

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



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Environmental Chemical Engineering

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jece](http://www.elsevier.com/locate/jece)



Review

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

Santanu Mukherjee <sup>a,b</sup>, Dip Mehta <sup>c</sup>, Kiran Dhangular <sup>a</sup>, Manish Kumar <sup>a,1</sup>

Show more ▾

+ Add to Mendeley Share Cite

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

Get rights and content

Journal of Environmental Chemical Engineering 10 (2022) 108106



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Environmental Chemical Engineering

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jece](http://www.elsevier.com/locate/jece)



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

Lisa Shearer, Sabolc Pap <sup>\*1</sup>, Stuart W. Gibb

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



Università  
degli Studi  
di Palermo



Con il patrocinio di:

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	$E_{EO}$ (kWh m <sup>-3</sup> )/order	Reference
O <sub>3</sub> , O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , E-peroxone	ground water, surface water, secondary effluent (SE)	spiked with: diclofenac, gemfibrozil, bezafibrate, ibuprofen, clofibric acid	150 µg L <sup>-1</sup> for each PhAC	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dependent on molecule and water matrix.</li> <li>No significant process efficiency differences in SE.</li> </ul>	n/d	Wang et al. (2018)
O <sub>3</sub> , O <sub>3</sub> /UV E-peroxone	ground water surface water secondary effluent	spiked with: diclofenac, naproxen, gemfibrozil, bezafibrate, clofibric acid, ibuprofen, chloramphenicol	150 µg L <sup>-1</sup> for each PhAC	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dependent on molecule and water matrix.</li> <li>No significant process efficiency differences in SE.</li> </ul>	in secondary effluent O <sub>3</sub> : 0.1–0.3 E-peroxone: 0.2–0.3 O <sub>3</sub> /UV: 1–1.6 for diclofenac, bezafibrate and chloramphenicol	Yao et al. (2018)
O <sub>3</sub> , 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 <sup>-1</sup> for each PhAC	<ul style="list-style-type: none"> <li>Antibiotics readily removed by O<sub>3</sub> and E-peroxone.</li> <li>Biocides were removed better in E-peroxone.</li> </ul>	n/d	Wang et al. (2019)
O <sub>3</sub> , O <sub>3</sub> /UV, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV Cl <sub>2</sub> /UV O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV O <sub>3</sub> /Cl <sub>2</sub> /UV	tertiary wastewater effluent	carbamazepine, fluoxetine, gemfibrozil, primidone, sulfamethoxazole, trimethoprim	0.235 µg L <sup>-1</sup> 0.036 µg L <sup>-1</sup> 0.116 µg L <sup>-1</sup> 0.304 µg L <sup>-1</sup> 1.013 µg L <sup>-1</sup> 0.021 µg L <sup>-1</sup>	O <sub>3</sub> /Cl <sub>2</sub> /UV process the most effective, then O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV, O <sub>3</sub> /UV, O <sub>3</sub> , Cl <sub>2</sub> /UV, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV	O <sub>3</sub> 0.02–0.24, O <sub>3</sub> /UV 0.21–0.35, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV 0.37–0.83, Cl <sub>2</sub> /UV 0.12–7.3, O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV 0.29–0.36, O <sub>3</sub> /Cl <sub>2</sub> /UV 0.24–0.54	(Sgroi et al., 2021a, 2021b)
UV H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV	industrial wastewater, hospital wastewater, grey wastewater, urban wastewater effluents	PhAC detected: 34,000 µg L <sup>-1</sup> 14 35 19 28 30	Overall removal by H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV 17 % 36 % 59 % 69–96 %	UV vs H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /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 <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV HSO <sub>5</sub> <sup>-</sup> /UV S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> <sup>2-</sup> /UV	secondary effluent	carbamazepine, crotamiton, N,N-diethyl-metatoluamide, gemfibrozil, ibuprofen, trimethoprim	500 µg L <sup>-1</sup> for each	S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> <sup>2-</sup> /UV generally better than H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV and HSO <sub>5</sub> <sup>-</sup> /UV	n/d	Zhou et al. (2020)
O <sub>3</sub> , O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , UV, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV, O <sub>3</sub> /UV, O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV, plasma ozonation	synthetic wastewater	1,7-a-ethinylestradiol (EE2)	1 mg L <sup>-1</sup>	Plasma oxidation, O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV, O <sub>3</sub> /UV, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV, UV	O <sub>3</sub> : 0.0046 plasma oxidation: 0.124 O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 0.07 O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV: 0.8 O <sub>3</sub> /UV: 10.6 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /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](http://www.elsevier.com/locate/jenvman)

## Research article

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

Kinga Skalska-Tuomi <sup>a,\*</sup> , Laura Kaijanen <sup>b</sup>, José María Monteagudo <sup>c</sup> , Mika Mänttäri <sup>b</sup><sup>a</sup> Department of Separation Science, School of Engineering Science, Lappeenranta-Lahti University of Technology (LUT), Sanmonkatu 12, 50130, Mikkeli, Finland<sup>b</sup> Department of Separation Science, School of Engineering Science, Lappeenranta-Lahti University of Technology (LUT), Yliopistonkatu 34, 53850, Lappeenranta, Finland<sup>c</sup> University of Castilla-La Mancha, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, Avda. Camilo José Cela, 1, 13071, Ciudad Real, Spain

Con il patrocinio di:

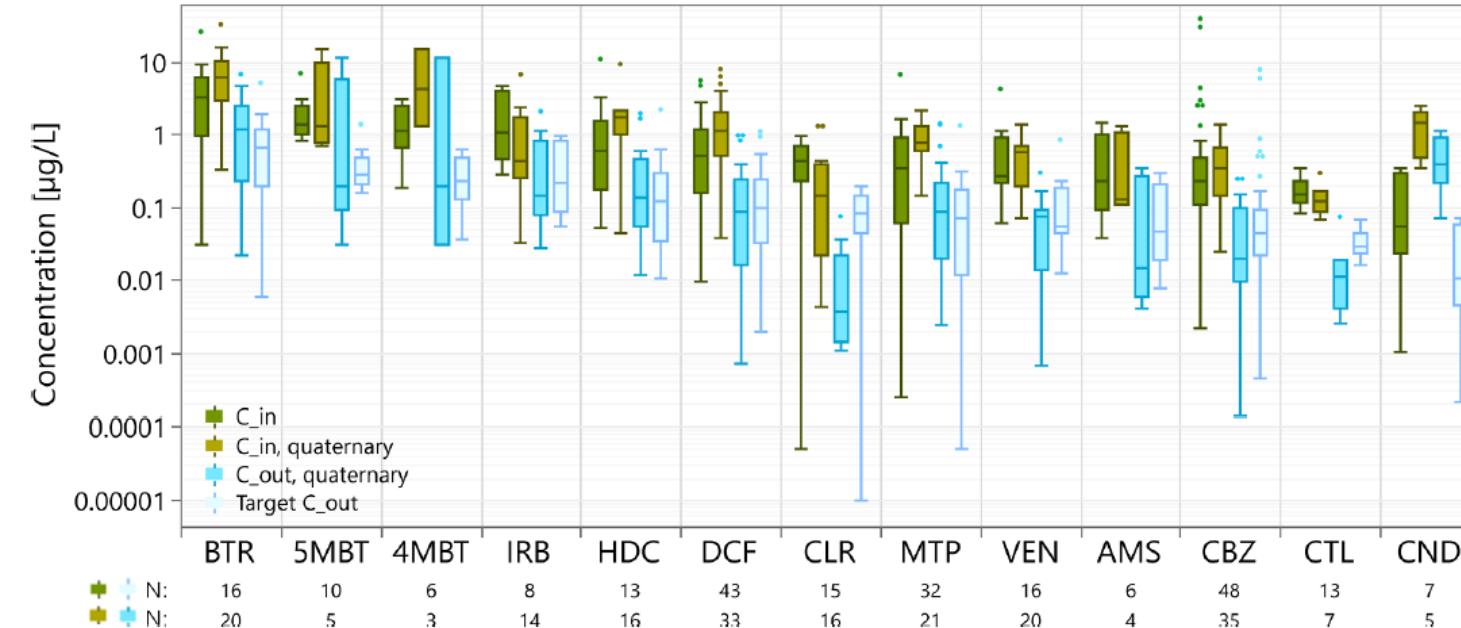




Micropollutants removal, residual risk, and costs for quaternary treatments  
in the framework of the Urban Wastewater Treatment Directive

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 UWWD.

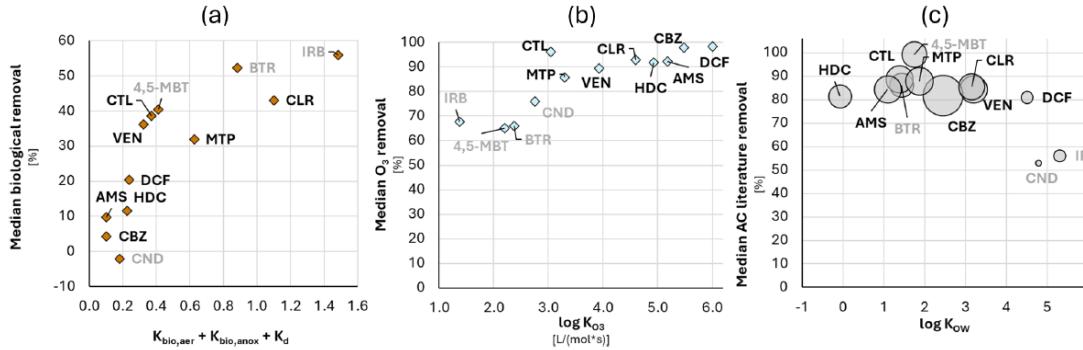


Fig. 4. Median micropollutants removal during (a) biological treatment; (b) ozonation; (c) activated carbon adsorption and correlation with the respective fate parameters. The color of the micropollutants' label indicates their belonging to category 1 (black) and category 2 (grey) of the UWWTD.

Water Research X 29 (2025) 100334



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

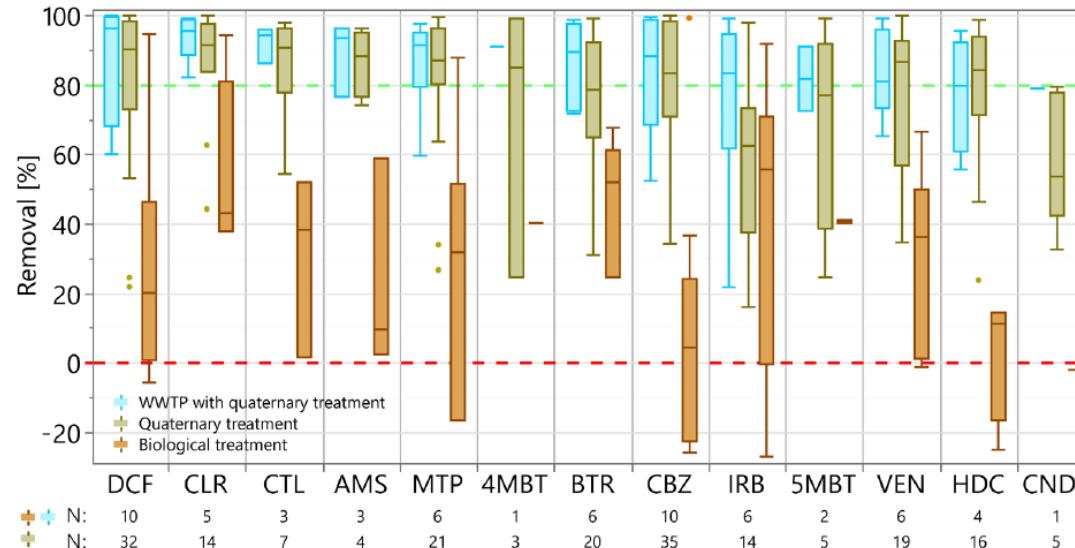


Fig. 3. Micropollutants removal at different stages of the WWTP: at the biological treatment, at the quaternary treatments, and at WWTP where quaternary treatments are in place. When multiple concentration data were available for the same micropollutant at the same WWTP stage, the average was taken. 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.

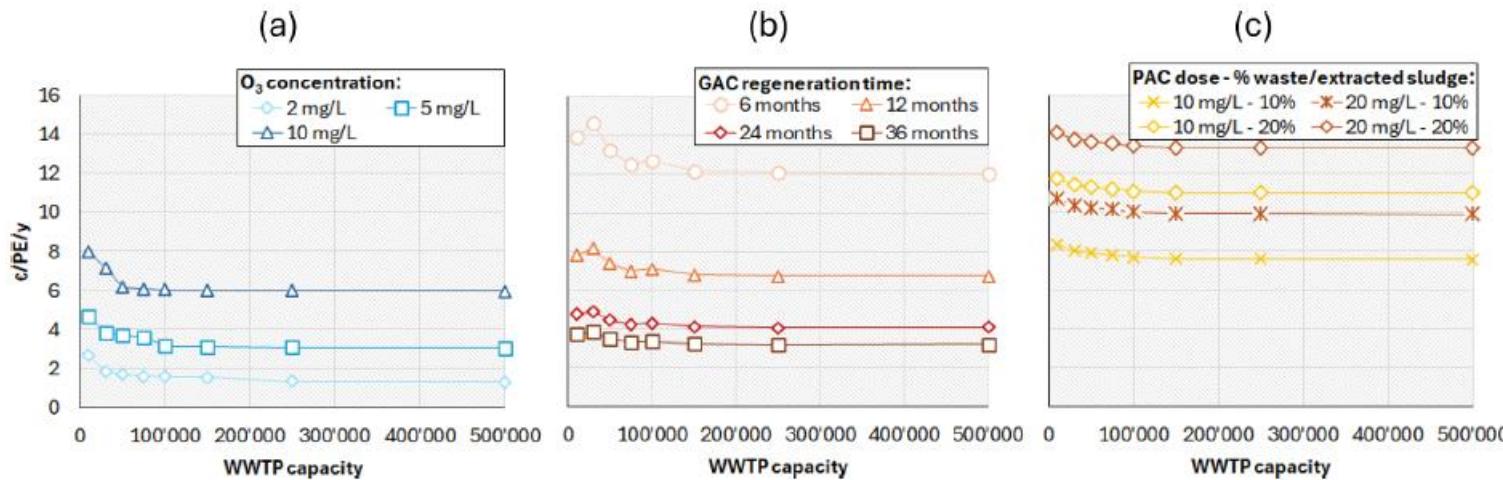
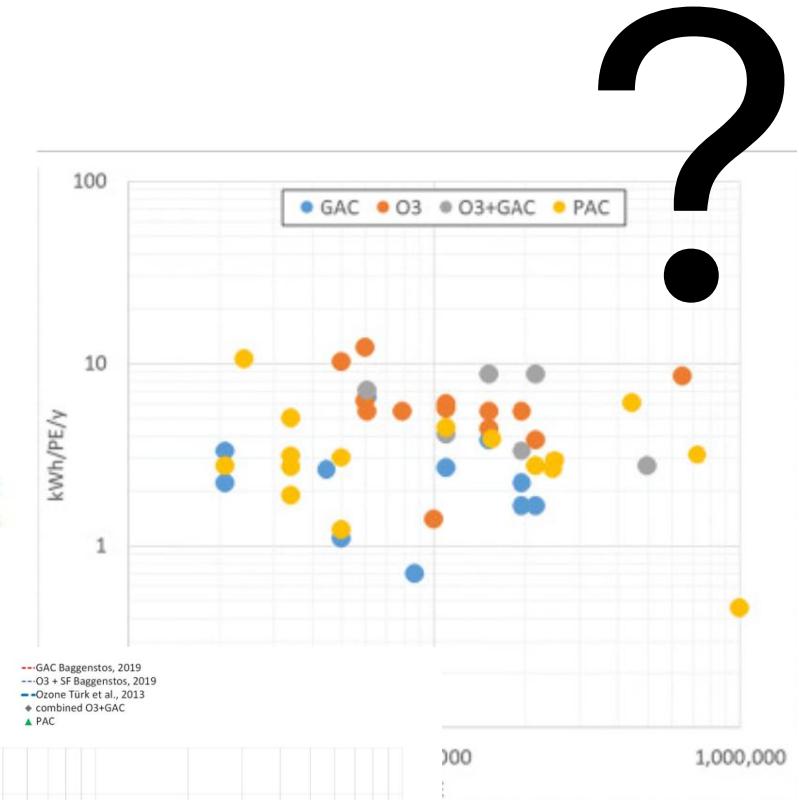


Fig. 6. Yearly per-capita cost for each investigated quaternary treatment, at different WWTP capacity, depending on selected operating parameters: (a) ozone concentration in the contact tank; (b) time between two regenerations of GAC; (c) dosage of PAC and waste sludge (% of the extracted sludge) sent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



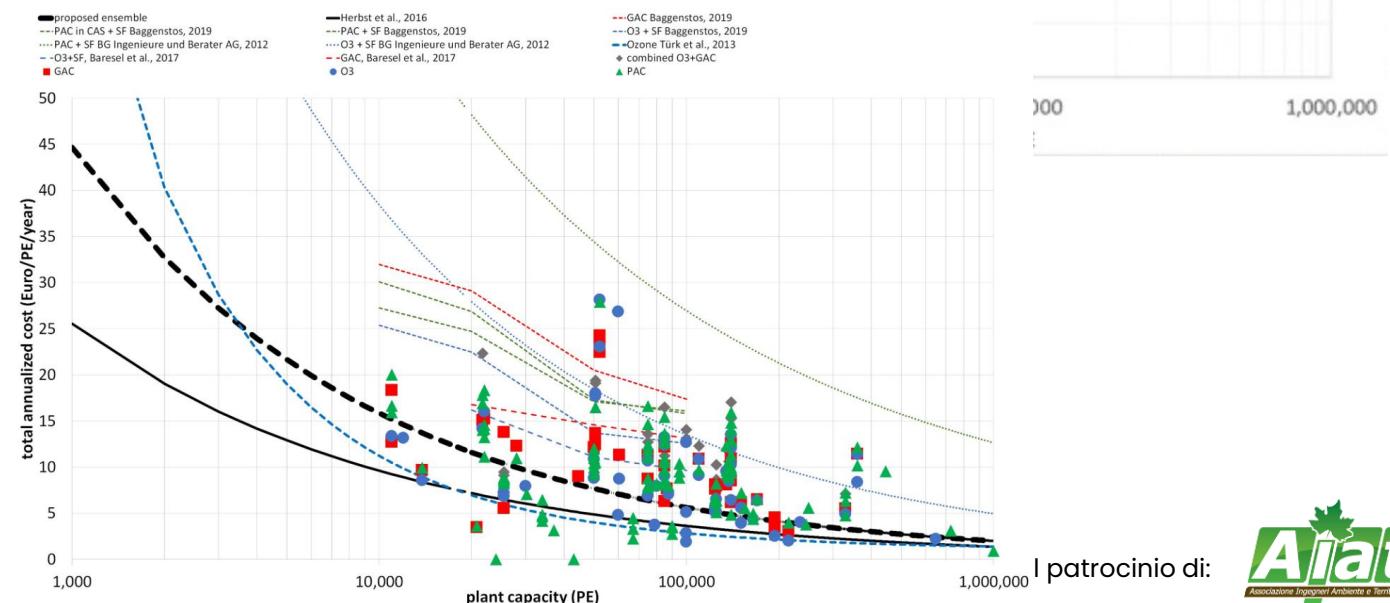
We analyzed the “costs” of 11 WWTP’s (quaternary treatment):  
WWTP ca. 50'000 population equivalent (PE)

#### 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.)

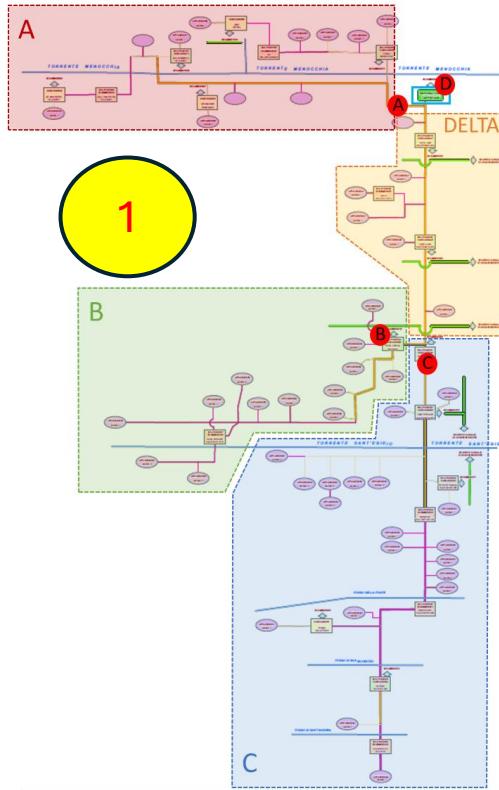
#### Operating costs (include: personnel costs, operating costs, electricity costs, laboratory costs...):

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



EVIDENZA	<b>Molto più forte integrazione tra pianificazione/gestione urbana e gestione servizio idrico integrato</b>
ASPETTI IN DIRETTIVA	<ul style="list-style-type: none"> <li>adattamento ai cambiamenti climatici</li> <li>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.</li> <li>limitare l'inquinamento da tracimazioni causate da piogge violente a non più del 2 % del carico annuo di acque reflue urbane raccolte</li> <li>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</li> </ul>

## 4) SERVIZIO IDRICO INTEGRATO E GESTIONE URBANA

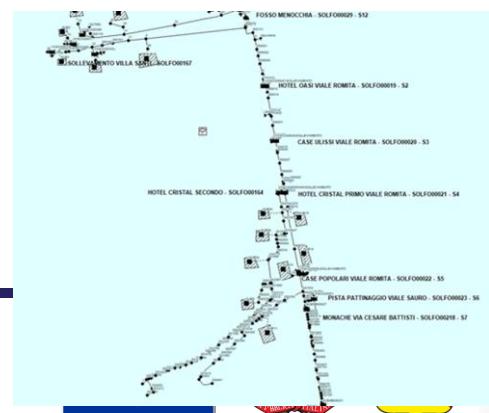


4



	D	A	B	C	DELTA
Portate medie	Q (m <sup>3</sup> /d)	973	290	200	335
	BOD5 (mg/l)	132	35	148	147
Concentrazioni medie	COD (mg/l)	216	45	243	295
	NTOT (mg/l)	50	30	63	49
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
Abitanti equivalenti base concentrazione	AE BOD5	2143	167	494	820
	AE COD	1748	110	405	822
	AE NTOT	4065	717	1046	1374
Portata specifica base concentrazione	Qs BOD5 (l/AE/d)	454	1738	405	408
	Qs COD (l/AE/d)	557	2641	493	407
	Qs NTOT (l/AE/d)	239	405	191	244

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



simulazione  
osservazione

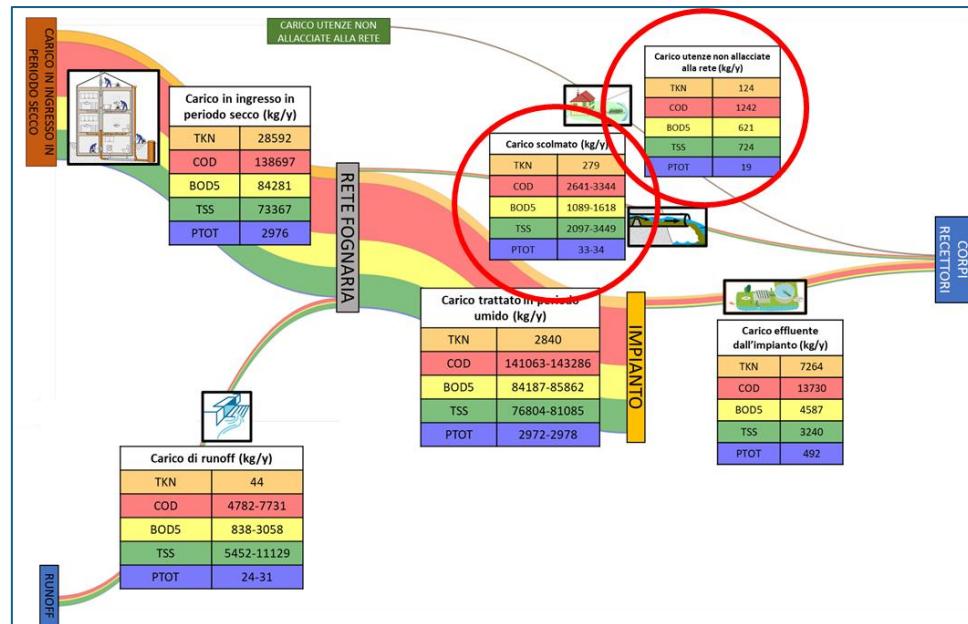


CARICHI DI MASSA	Ntot	COD	BOD5
	(kg/d)	(kg/d)	(kg/d)
Output modello	46	202	111
Ingresso medio	49	210	129
% errore	-5	-3.9	-13.4

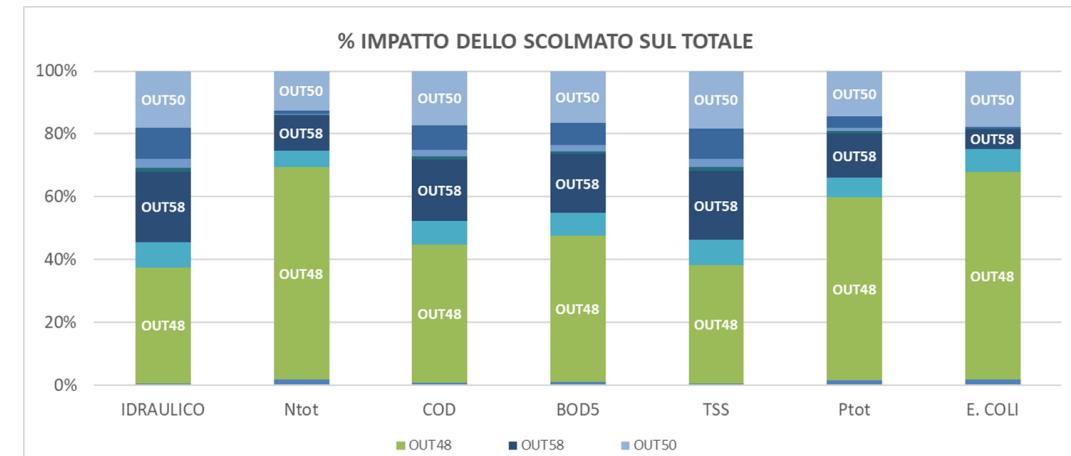
Con il patrocinio di:



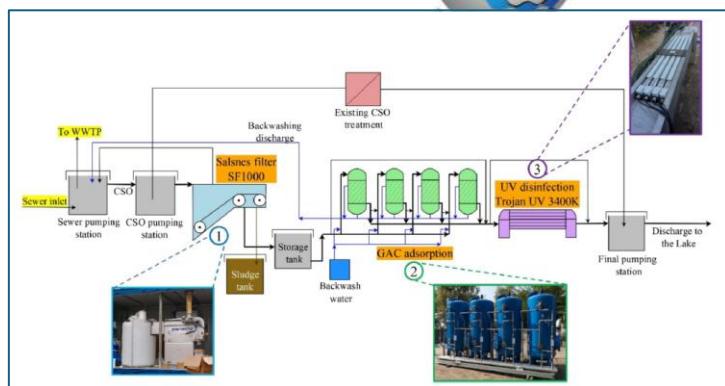
## 4) SERVIZIO IDRICO INTEGRATO E GESTIONE URBANA



N° Attivazioni; Scolmatori critici; valori di p



INTCATCH 2020



Interreg  
Italy - Croatia  
AdSWiM  
EUROPEAN UNION

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 <sup>a</sup>, Anna Laura Eusebi <sup>a</sup>, Cecilia Bruni <sup>a</sup>, Enrico Marinelli <sup>a</sup>, Giovanna Darvin <sup>b</sup>, Claudio Bernardo Carini <sup>c</sup>, Cristiana Bollettini <sup>c</sup>, Virginia Recanati <sup>c</sup>, Çağrı Akyol <sup>d</sup>, Francesca Fotone <sup>d</sup>

# 4) SERVIZIO IDRICO INTEGRATO E GESTIONE URBANA

Critical reviews in environmental science and technology  
<https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1757957>



Check for updates

## CSO TREATMENT TRAINS

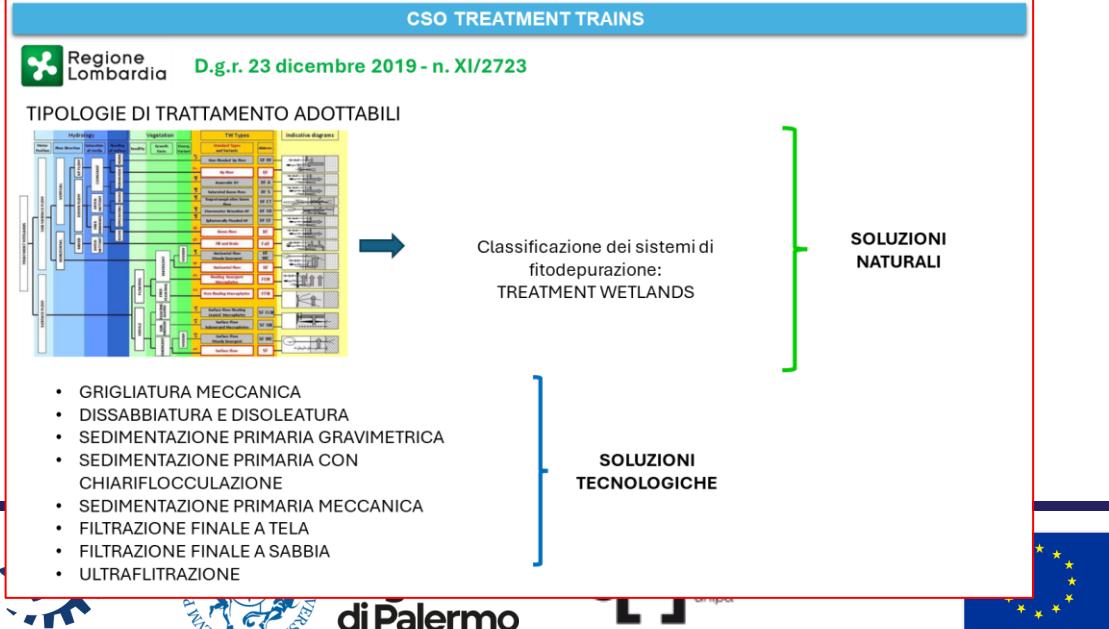


D.g.r. 23 dicembre 2019 - n. XI/2723

### TIPOLOGIE DI TRATTAMENTO ADOTTABILI

ID 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 + VP								
VF ad alimentazione alternata								
VF + FWS								
FWS								
FTW + VF o HF								
AEW + FWS (ritadepurazione intensificata aerata)								
Vasca di equalizzazione + HF								
Vasca di equalizzazione + VP								
Sedimentazione primaria statica								
Sedimentazione con pacchi lamellari								
Chiariflocculazione								
Microgrigliatura								
Grigliatura fine + Filtrazione meccanica finale								

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

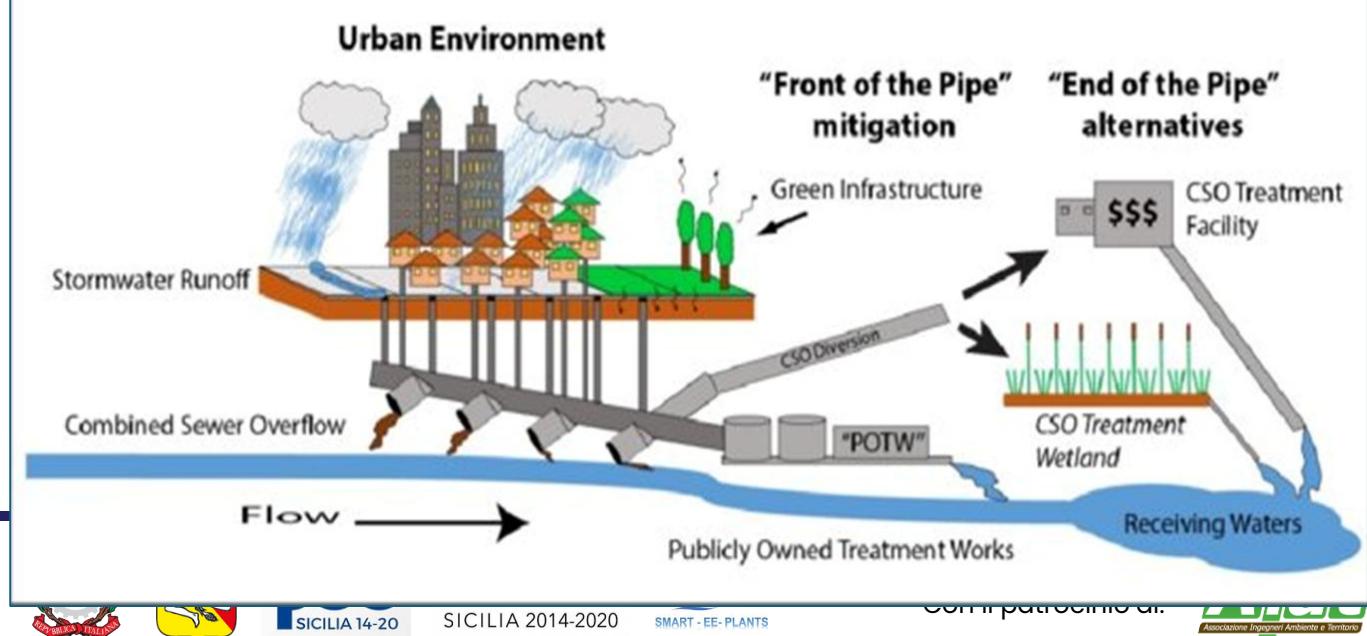


De Toffol, 2006

COUNTRY	Guideline	$Q_{newfp}$	$Q_i(\text{CSO})$	Required storage volume	Treatment Rate considered	Effects on considered receiving waters
Austria	ÖWAV-Regelblatt 19	2 $Q_{newfp}$	8 $Q_{newfp}$		50% rain runoff	Yes
Belgium (Flanders)		3-5 $Q_{newfp}$	5-10 $Q_{newfp}$ Nos=7/a	Remaining spilling vol. with T=1/7 year	No	Yes
Denmark		2 $Q_{newfp}$	5 $Q_{newfp}$ Nos=2-10/a		No	Yes
Finland		2 $Q_{newfp}$	6-7 $Q_{newfp}$		No	
France		2-3 $Q_{newfp}$	3 $Q_{newfp}$ Nos=2/a (next future)		No	

COUNTRY	Guideline	$Q_{newfp}$	$Q_i(\text{CSO})$	Required storage volume	Treatment Rate considered	Effects on considered receiving waters
Germany	ATV-A 128, 1992; BWK, 2003	2 $Q_{newfp}$	7.5-15 l/s ha	10-40m <sup>3</sup> /ha	90% of COD load	
Greece		2 $Q_{newfp}$	3-6 $Q_{newfp}$		No	
Ireland		3 $Q_{newfp}$	6-9 $Q_{newfp}$		No	
Italy	Local	2 $Q_{newfp}$	3-5 $Q_{newfp}$		No	
Luxembourg		2-3 $Q_{newfp}$	7.5-15 l/s ha	10-40m <sup>3</sup> /ha	No	

COUNTRY	Guideline	$Q_{newfp}$	$Q_i(\text{CSO})$	Required storage volume	Treatment Rate considered	Effects on considered receiving waters
Netherlands		3 $Q_{newfp}$	5 $Q_{newfp}$ Nos=7/a	70 m <sup>3</sup> /ha	No	Sometime
Portugal		2 $Q_{newfp}$	6 $Q_{newfp}$		Yes	Sometime
Spain		2 $Q_{newfp}$	5 $Q_{newfp}$		No	No
Sweden		3-4 $Q_{newfp}$	5-20 $Q_{newfp}$		No	
Switzerland	AfU, 1977; GSchG, 1991; GSchV, 1998	2 $Q_{newfp}$			No	Yes
UK	UPM	3 $Q_{newfp}$		No: 3/bathing season in bathing waters 10/a shellfish waters	$t_0=2$ h at 3 $Q_{newfp}$	No
USA	CWA, 1997; US EPA, 1995			No=4-6/a		85% combined wastewater



## PRATICHE DI GESTIONE INTEGRATA E PIÙ RESILIENTE DEL TERRITORIO



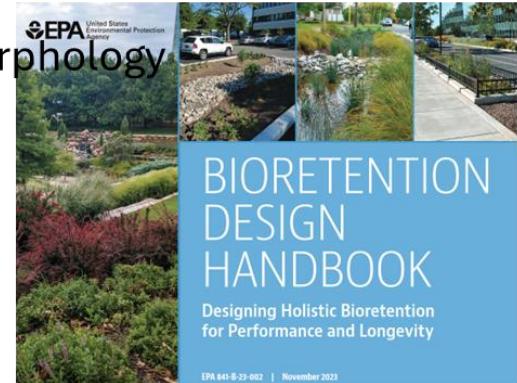
### Natural Water Retention Measures

[www.nwrm.eu](http://www.nwrm.eu)



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

- Agriculture
- Forestry
- Hydromorphology
- Urban



Green Stormwater Operations and Maintenance Manual

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



Seattle Public Utilities  
August 2009



[www.waterun.eu/](http://www.waterun.eu/)

### Diffuse pollution in urban areas – Which pollutants?

Monitoring protocols

Sensors

Emerging pollutants



Nutrients (N, P)



Solids



Rainfall

Infiltration

Run-off

Pathogens



PAHs



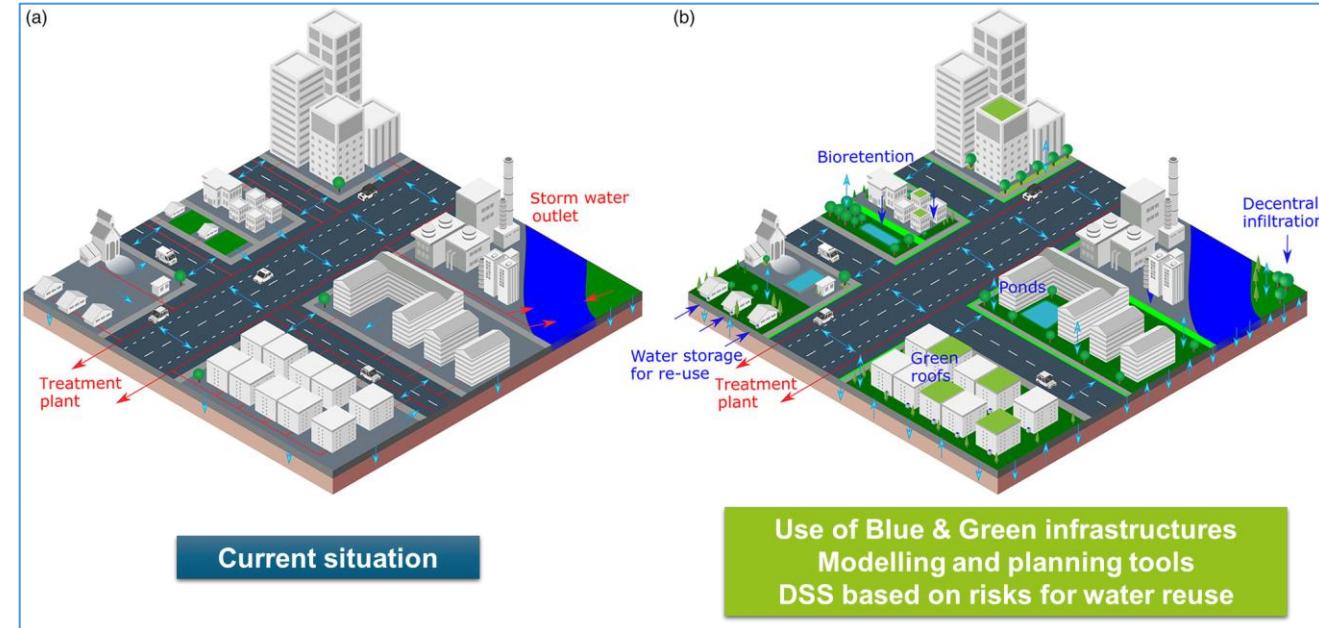
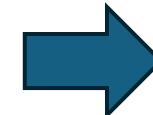
Heavy metals



Microplastics



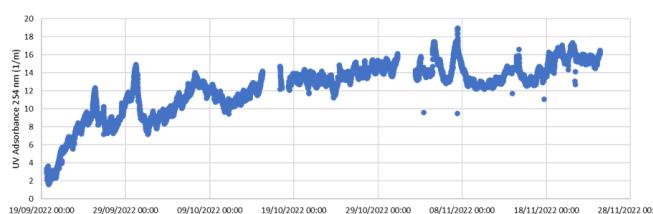
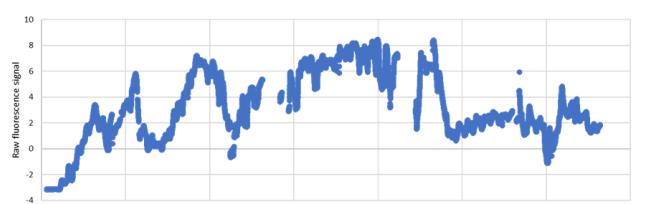
<https://doi.org/10.1002/wat2.1525>



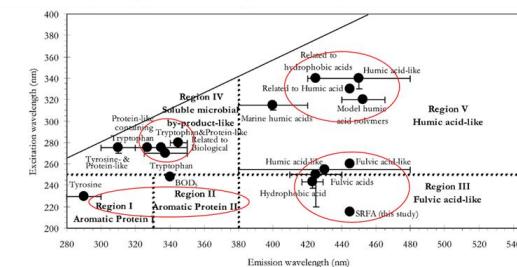
EVIDENZA	Microinquinanti e monitoraggio/riduzione scarichi/carichi industriali
ASPETTI IN DIRETTIVA	<ul style="list-style-type: none"> <li>i gestori degli impianti che ricevono acque reflue non domestiche siano consultati e informati prima del rilascio delle autorizzazioni o dell'adozione di regolamentazioni e possano consultare, su richiesta, le autorizzazioni rilasciate per adeguare i propri processi di trattamento. <b>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.</b></li> <li>inquinanti non espressamente disciplinati dalla direttiva 91/271/CEE, quali metalli pesanti, microplastiche, microinquinanti e altre sostanze chimiche, tra cui le sostanze perfluoroalchiliche (PFAS)</li> </ul>

## 5) MONITORAGGIO E RIDUZIONE SCARICHI INDUSTRIALI

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	Pivokonsky et al.. 2018	300	0.001	Mintenig et al.. 2019	
1	628	Pivokonsky et al.. 2018	310	0.61	Life Bluelakes	
2	23	Pivokonsky et al.. 2018	385	0.16	Life Bluelakes	
2	14	Pivokonsky et al.. 2018	521	0.14	Life Bluelakes	
2	1296	Pivokonsky et al.. 2018	1000	0.003	Cherniak et al.. 2022	
2	151	Pivokonsky 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**



Con il patrocinio di:



Università  
degli Studi  
di Palermo

dipartimento  
di ingegneria  
unipa



Ajat  
Associazione Ingegneri Ambiente e Territorio

# 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

Università  
degli Studi  
di Palermo



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. 08CT3600000330