



ORDINE DEGLI INGEGNERI  
DELLA PROVINCIA DI PALERMO



Università  
degli Studi  
di Palermo

dj  
dipartimento  
di ingegneria  
unipa

## Seminario tecnico

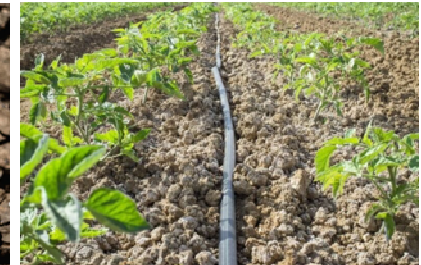
# “Il riuso irriguo delle acque reflue depurate: applicazione in Sicilia del Regolamento EU n.741/2020”

Palermo, 23 Settembre 2022

## GLI INTERVENTI DI RECUPERO DELLE ACQUE REFLUE DEPURATE: PROCESSI E TECNOLOGIE ADOTTABILI

*Michele Torregrossa*

Dipartimento di Ingegneria - UniPA



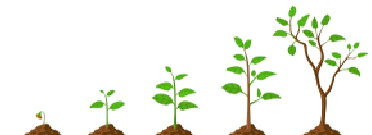


## 1. Introduzione



### DOMANDE

- Quali obiettivi di qualità per le acque reflue trattate devono essere raggiunti?
- Questi obiettivi possono essere raggiunti con tecnologie e processi già disponibili?
- Se la risposta è sì, la loro applicabilità è tecnicamente ed economicamente sostenibile?





## 2. Obiettivi del recupero e riuso

### REGOLAMENTO EU) 741/2020 DEL PARLAMENTO E DEL CONSIGLIO EUROPEO

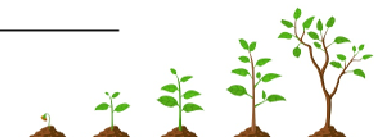
Tabella 1 — Classi di qualità delle acque affinate e tecniche di irrigazione e utilizzi agricoli consentiti

Classe minima di qualità delle acque affinate	Categoria di coltura (*)	Tecniche di irrigazione
A	Tutte le colture alimentari da consumare crude la cui parte commestibile è a diretto contatto con le acque affinate e le piante da radice da consumare crude	Tutte
B	Colture alimentari da consumare crude la cui parte commestibile è prodotta al di sopra del livello del terreno e non è a diretto contatto con le acque affinate, colture alimentari trasformate e colture non alimentari, comprese le colture utilizzate per l'alimentazione di animali da latte o da carne	Tutte
C	Colture alimentari da consumare crude la cui parte commestibile è prodotta al di sopra del livello del terreno e non è a diretto contatto con le acque affinate, colture alimentari trasformate e colture non alimentari, comprese le colture utilizzate per l'alimentazione di animali da latte o da carne	Irrigazione a goccia (***) o altra tecnica di irrigazione che eviti il contatto diretto con la parte commestibile della coltura
D	Colture industriali, da energia e da sementi	Tutte le tecniche di irrigazione (***)

(\*) Se lo stesso tipo di coltura irrigata rientra in più categorie della tabella 1, si applicano le prescrizioni della categoria più rigorosa.

(\*\*) L'irrigazione a goccia (o irrigazione localizzata) è un sistema di microirrigazione capace di somministrare acqua alle piante sotto forma di gocce o di sottili flussi d'acqua. L'acqua viene erogata a bassissima portata (2-20 litri/ora) sul terreno o direttamente al di sotto della sua superficie da un sistema di tubi di plastica di piccolo diametro dotati di ugelli denominati «emettitori» o «gocciolatori».

(\*\*\*) Nel caso di tecniche di irrigazione che imitano la pioggia, occorre prestare particolare attenzione alla protezione della salute dei lavoratori o degli abitanti. A tal fine si devono porre in essere le adeguate misure preventive.





## 2. Obiettivi del recupero e riuso

### REGOLAMENTO EU) 741/2020 DEL PARLAMENTO E DEL CONSIGLIO EUROPEO

Tabella 2 — Prescrizioni di qualità delle acque affinate a fini irrigui in agricoltura

Classe di qualità delle acque affinate	Obiettivo tecnologico indicativo	Prescrizioni di qualità				
		E. coli (numero/100 ml)	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	TSS (mg/l)	Torbidità (NTU)	Altro
A	Trattamento secondario, filtrazione e disinfezione	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 5	Legionella spp.: < 1 000 ufc/l se vi è rischio di diffusione per via aerea Nematodi intestinali (uova di elminti): ≤ 1 uovo/l per irrigazione di pascoli o colture da foraggio
B	Trattamento secondario e disinfezione	≤ 100	In conformità della direttiva 91/271/CEE (allegato I, tabella 1)	In conformità della direttiva 91/271/CEE (allegato I, tabella 1)	–	
C	Trattamento secondario e disinfezione	≤ 1 000			–	
D	Trattamento secondario e disinfezione	≤ 10 000			–	

BOD<sub>5</sub> = 25 mg/L,  $\eta \geq 70 \div 90\%$   
TSS = 35 mg/L,  $\eta \geq 90\%$

≡ Limiti Tab.1, Allegato 5, D.Lgs. 152/2006





## 2. Obiettivi del recupero e riuso

### REGOLAMENTO EU) 741/2020 DEL PARLAMENTO E DEL CONSIGLIO EUROPEO

Tabella 2 — Prescrizioni di qualità delle acque affinate a fini irrigui in agricoltura

Classe di qualità delle acque affinate	Obiettivo tecnologico indicativo	Prescrizioni di qualità				
		E. coli (numero/100 ml)	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	TSS (mg/l)	Torbidità (NTU)	Altro
A	Trattamento secondario, filtrazione e disinfezione	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 5	Legionella spp.: < 1 000 ufc/l se vi è rischio di diffusione per via aerea Nematodi intestinali (uova di elminti): ≤ 1 uovo/l per irrigazione di pascoli o colture da foraggio
B	Trattamento secondario e disinfezione	≤ 100	In conformità della direttiva 91/271/CEE (allegato I, tabella 1)	In conformità della direttiva 91/271/CEE (allegato I, tabella 1)	-	
C	Trattamento secondario e disinfezione	≤ 1 000			-	
D	Trattamento secondario e disinfezione	≤ 10 000			-	
<b>Decreto Ministero dell’Ambiente n.185/2003</b>						
Nessuna distinzione in relazione all'uso		≤10 CFU/100 ml (nell' 80% dei campioni)  Max ≤ 100 CFU/100 ml (nel 20% dei campioni)	≤ 20 mgO <sub>2</sub> /l	≤ 10 mgSST/l	-	Salmonella: assente



“Il riuso irriguo delle acque reflue depurate:  
applicazione in Sicilia del Regolamento EU n.741/2020”



## 2. Obiettivi del recupero e riuso

### REGOLAMENTO EU) 741/2020 DEL PARLAMENTO E DEL CONSIGLIO EUROPEO

Tabella 3 — Frequenze minime delle attività ordinarie di monitoraggio delle acque affinate a fini irrigui in agricoltura

Classe di qualità delle acque affinate	Frequenze minime di monitoraggio					
	E. coli	BOD <sub>5</sub>	TSS	Torbidità	Legionella spp. (ove applicabile)	Nematodi intestinali (ove applicabile)
A	Una volta alla settimana	Una volta alla settimana	Una volta alla settimana	Continuativo	Due volte al mese	Due volte al mese o come determinato dal gestore dell'impianto di affinamento secondo il numero di uova presenti nelle acque reflue che entrano nell'impianto di affinamento
B	Una volta alla settimana	In conformità della direttiva 91/271/CEE (allegato I, sezione D)	In conformità della direttiva 91/271/CEE (allegato I, sezione D)	–		
C	Due volte al mese			–		
D	Due volte al mese			–		





## 2. Obiettivi del recupero e riuso

### REGOLAMENTO EU) 741/2020 DEL PARLAMENTO E DEL CONSIGLIO EUROPEO

Tabella 4 — Monitoraggio a fini di validazione delle acque affinate a fini irrigui in agricoltura

Classe di qualità delle acque affinate	Microorganismi indicatori (*)	Obiettivi prestazionali per la catena di trattamento (riduzione di log <sub>10</sub> )
A	<i>E. coli</i>	≥ 5,0
	Colifagi totali/colifagi F-specifici/colifagi somatici/colifagi (**)	≥ 6,0
	Spore di <i>Clostridium perfringens</i> /solfobatteri sporigeni (***)	≥ 4,0 (in caso di spore di <i>Clostridium perfringens</i> ) ≥ 5,0 (in caso di solfobatteri sporigeni)

(\*) Ai fini del controllo di validazione possono essere impiegati anche i patogeni di riferimento *Campylobacter*, Rotavirus e *Cryptosporidium* al posto dei microorganismi indicatori proposti. Gli obiettivi prestazionali da applicare per la riduzione di log<sub>10</sub> devono quindi essere i seguenti: *Campylobacter* (≥ 5,0), Rotavirus (≥ 6,0) e *Cryptosporidium* (≥ 5,0).

(\*\*) Quale indicatore più appropriato della presenza di virus è scelto il valore totale dei colifagi. Tuttavia, se l'analisi dei colifagi totali non è possibile, deve essere analizzato almeno uno di questi indicatori (colifagi F-specifici o colifagi somatici).

(\*\*\*) Quale indicatore più appropriato della presenza di protozoi è scelto il valore delle spore di *Clostridium perfringens*. Tuttavia, se la concentrazione di spore di *Clostridium perfringens* non rende possibile convalidare l'eliminazione richiesta di log<sub>10</sub>, si possono considerare in alternativa i solfobatteri sporigeni.





## 2. Obiettivi del recupero e riuso

### REGOLAMENTO EU) 741/2020 DEL PARLAMENTO E DEL CONSIGLIO EUROPEO

Condizioni relative alle prescrizioni supplementari

6. Presa in considerazione di prescrizioni per la qualità e il monitoraggio dell'acqua che si aggiungono a quelle indicate nell'allegato I, sezione 2, o entrambe, o sono più rigorose rispetto ad esse, ove necessario e opportuno per garantire un livello adeguato di protezione dell'ambiente e della salute umana e animale, in particolare quando vi sono chiare prove scientifiche del fatto che i rischi derivino dalle acque affinate e non da altre fonti.

In base all'esito della valutazione del rischio di cui al punto 5, tali prescrizioni supplementari possono in particolare riguardare:

- a) i metalli pesanti;
- b) gli antiparassitari;
- c) i sottoprodotti di disinfezione;
- d) i medicinali;
- e) altre sostanze che destano crescente preoccupazione, tra cui i microinquinanti e le microplastiche;
- f) la resistenza agli agenti antimicrobici.

Valutazione  
del rischio



Decreto Ministero dell'Ambiente n.185/2003

Non stabilisce limiti per composti farmaceutici e per la cura del corpo, metaboliti di farmaci, microplastiche e altri contaminanti emergenti.

La US Environmental Protection Agency (EPA) ha fornito un elenco di priorità contenente 129 inquinanti che devono essere eliminati dalle acque reflue prima della distribuzione.

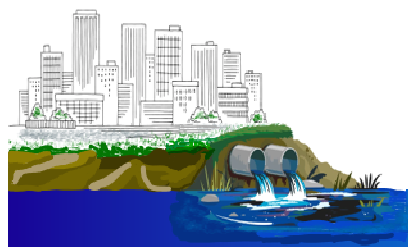
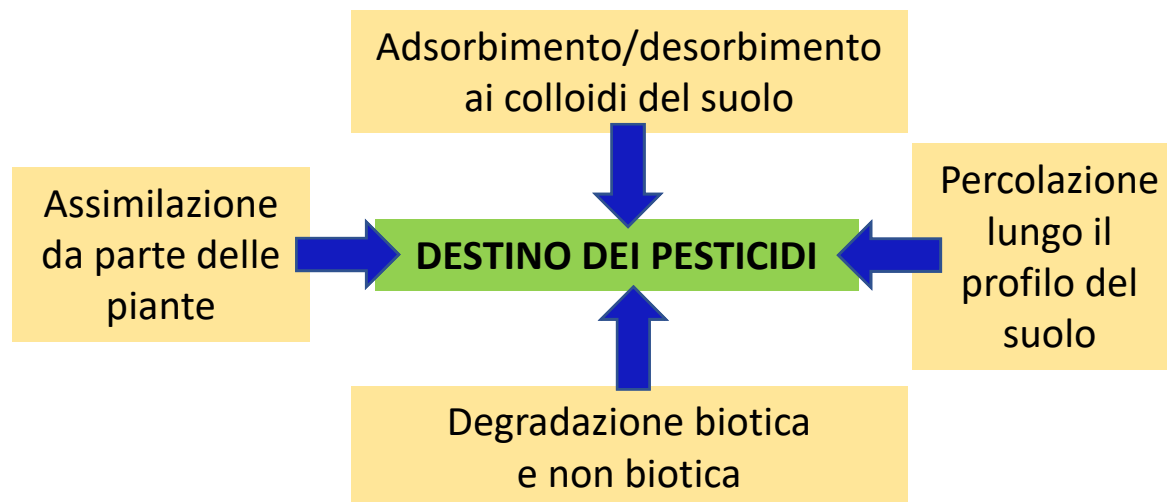






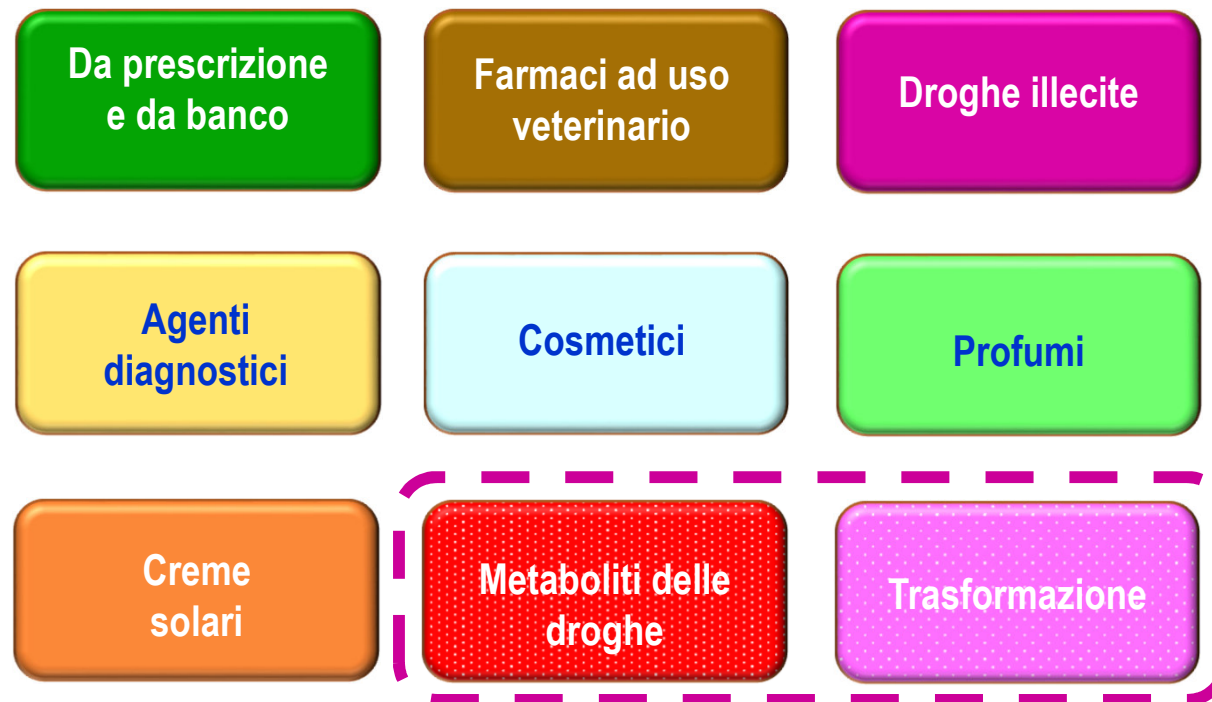
## 2. Obiettivi del recupero e riuso

### ACQUE REFLUE – PESTICIDI – INTERAZIONE CON IL SUOLO





## Prodotti farmaceutici e prodotti per la cura della persona





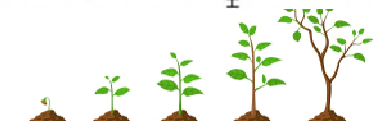
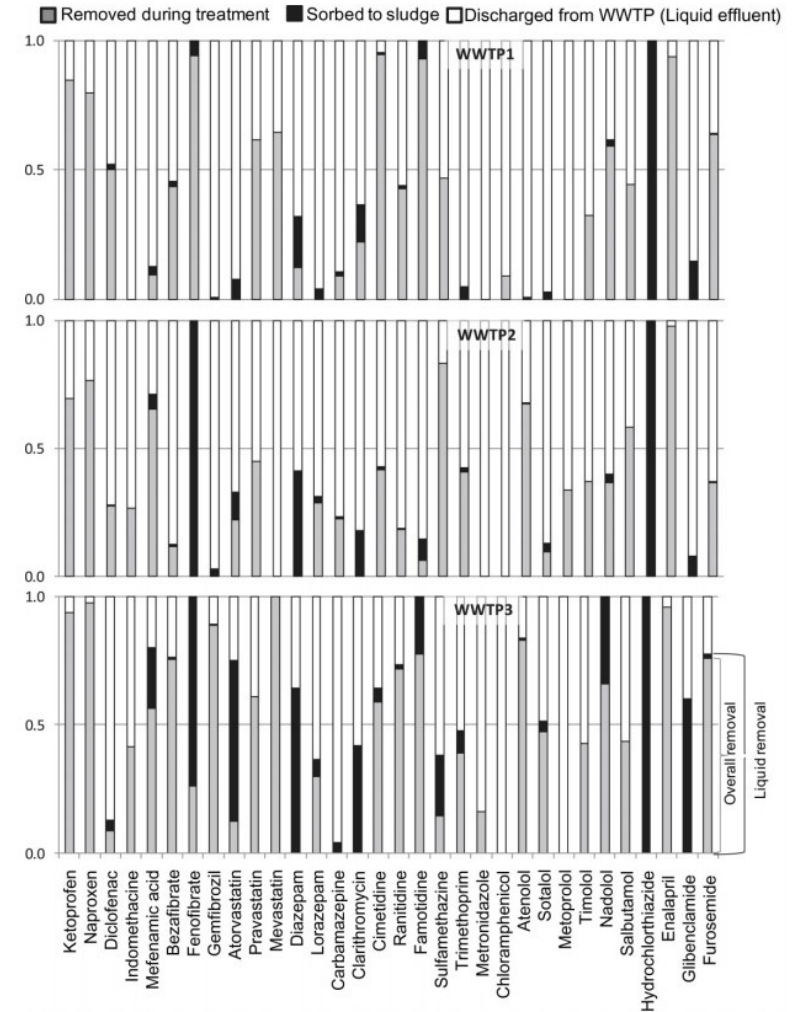
## 2. Obiettivi del recupero e riuso

### PRODOTTI FARMACEUTICI

I farmaci più frequentemente somministrati:

- Antibiotici
- Antiparassitari
- Antimicrobici
- Anticoagulanti
- Antipertensivi
- ACE inibitori
- Agenti ipolipidemici
- Analgesici non oppioidi
- Antiepilettici
- Disturbi gastrointestinali
- Farmaci respiratori
- Antidiabetici
- Antidepressivi

Esempio di rimozione di farmaci negli impianti di trattamento convenzionali delle acque reflue

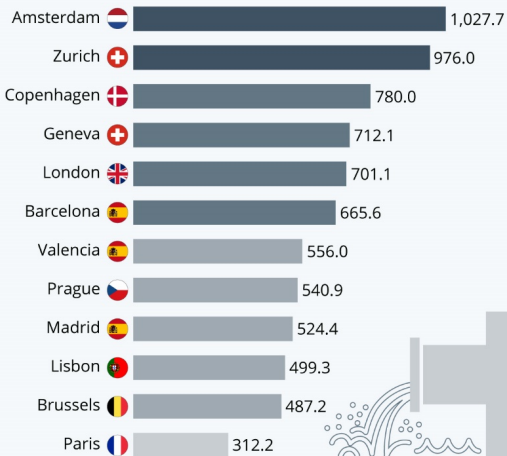




## 2. Obiettivi del recupero e riuso

### Down the Drain: Wastewater with the Most Cocaine

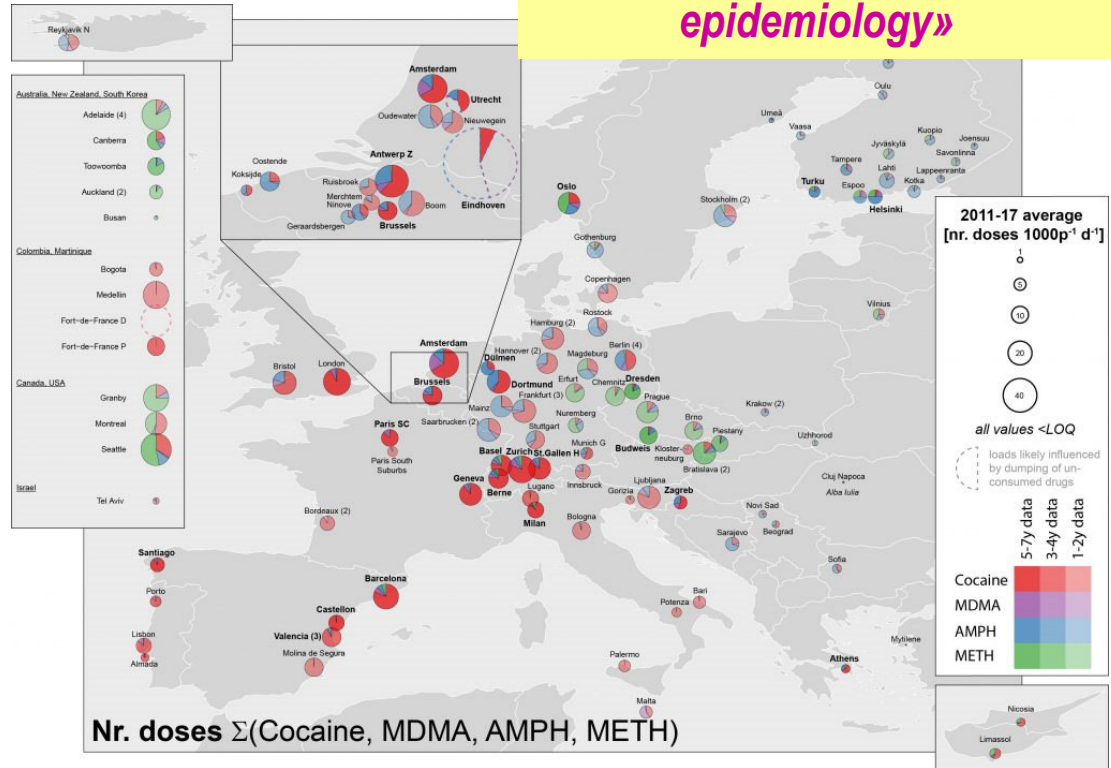
Cocaine found in wastewater in selected European cities in 2019\* (mg/1,000 people/day)



\* Weekend averages  
Source: European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction



### «Wastewater-based epidemiology»



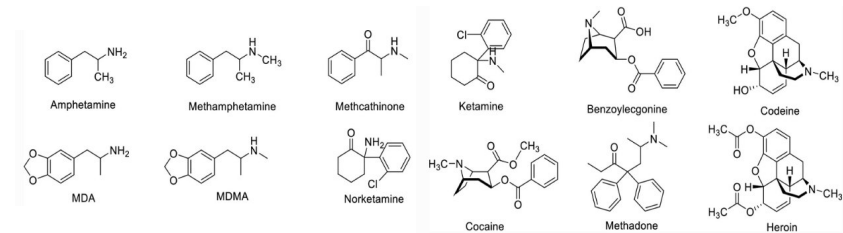
“Il riuso irriguo delle acque reflue depurate:  
applicazione in Sicilia del Regolamento EU n.741/2020”



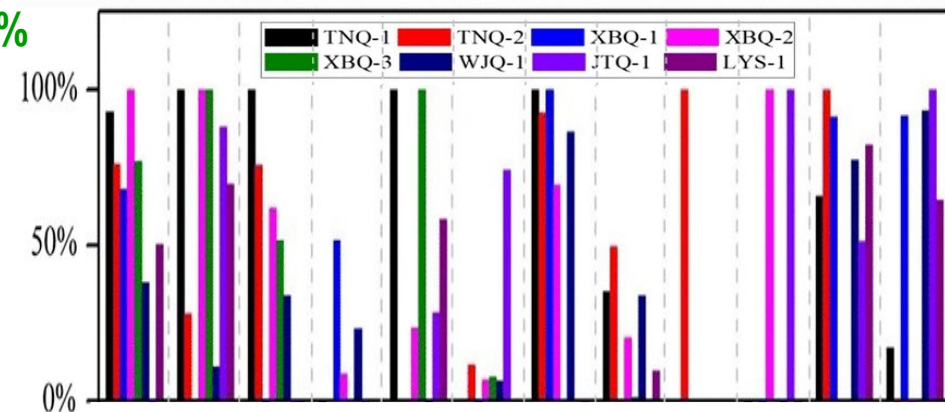
## 2. Obiettivi del recupero e riuso

### Metaboliti delle droghe

Il tasso di rimozione dell'anfetamina (AMP) e della cocaina (COC) può essere superiore al 90%, mentre l'efficienza di rimozione della 3,4metilendioossimetamfetamina (MDMA) o della metanfetamina (METH) è inferiore al 50%



### Comparazione della resa di rimozione di metaboliti di droghe illecite in 8 impianti di depurazione



Deng et al. (2020)  
Occurrence and removal of illicit drugs in different wastewater treatment plants with different treatment techniques. *Environmental Sciences Europe*, 32, Article number: 28

L'efficienza di rimozione degli analiti target dipende fortemente dalle tecniche di trattamento delle acque reflue:

- CAS →  $\eta = 33 \div 75\%$
- SBR →  $\eta > 79\%$
- Processi A<sup>2</sup>/O e A/O →  $\eta > 73\%$

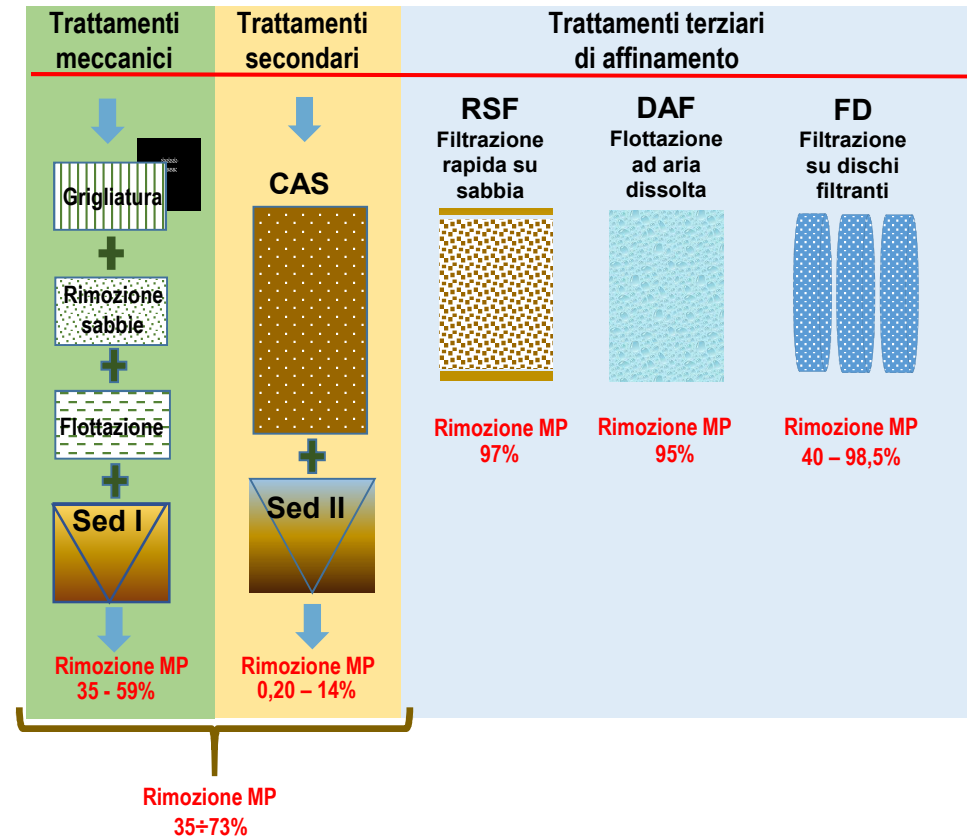
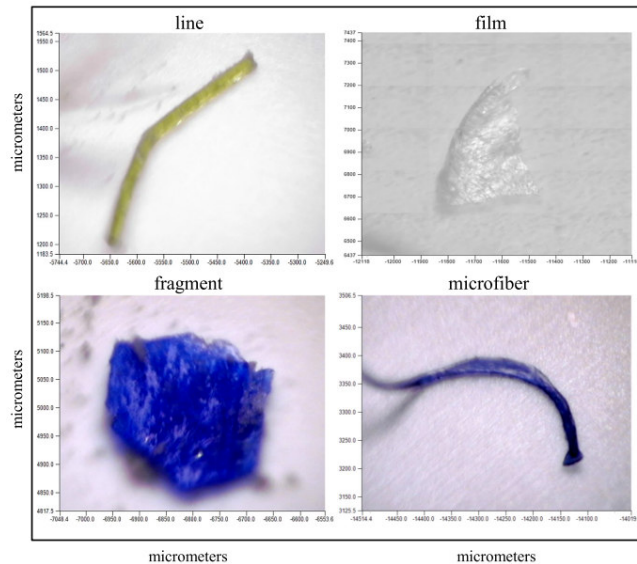


“Il riuso irriguo delle acque reflue depurate: applicazione in Sicilia del Regolamento EU n.741/2020”



2. Obiettivi del recupero e riuso

Microplastiche

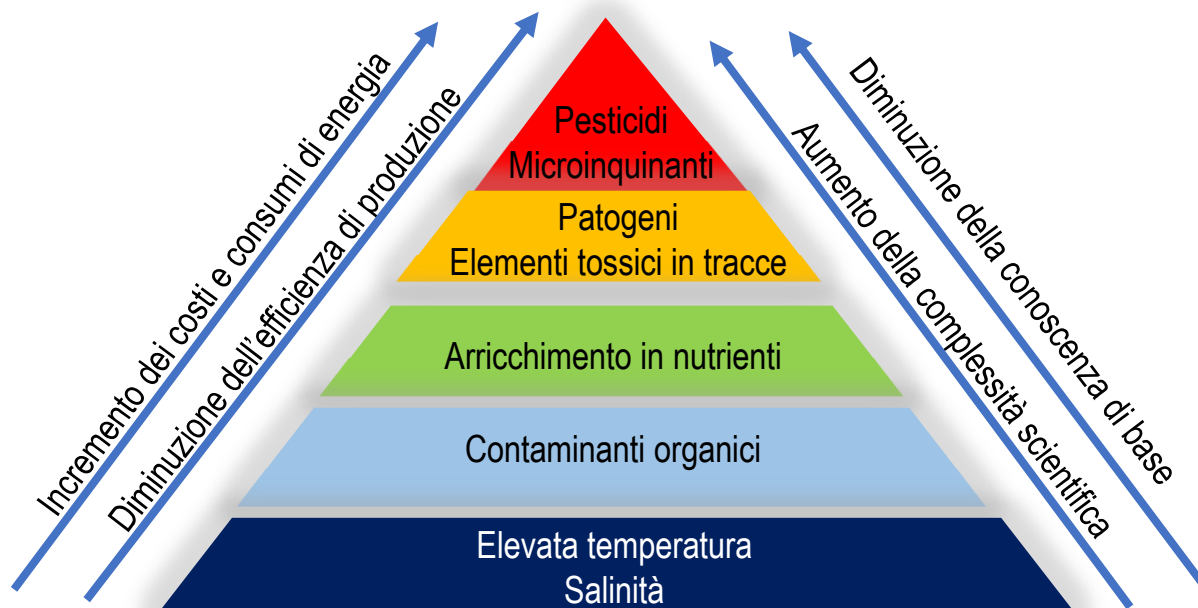


“Il riuso irriguo delle acque reflue depurate:  
applicazione in Sicilia del Regolamento EU n.741/2020”



### 3. Configurazione degli impianti di affinamento e recupero

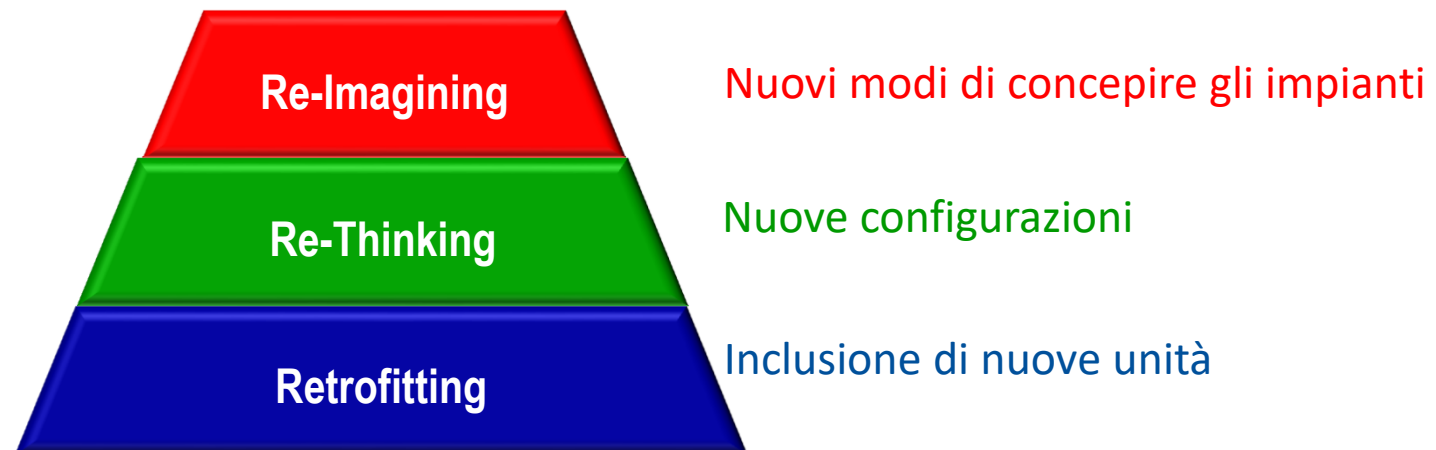
#### Gerarchia della complessità nel trattamento delle acque reflue per la produzione di acque di elevata qualità





### 3. Configurazione degli impianti di affinamento e recupero

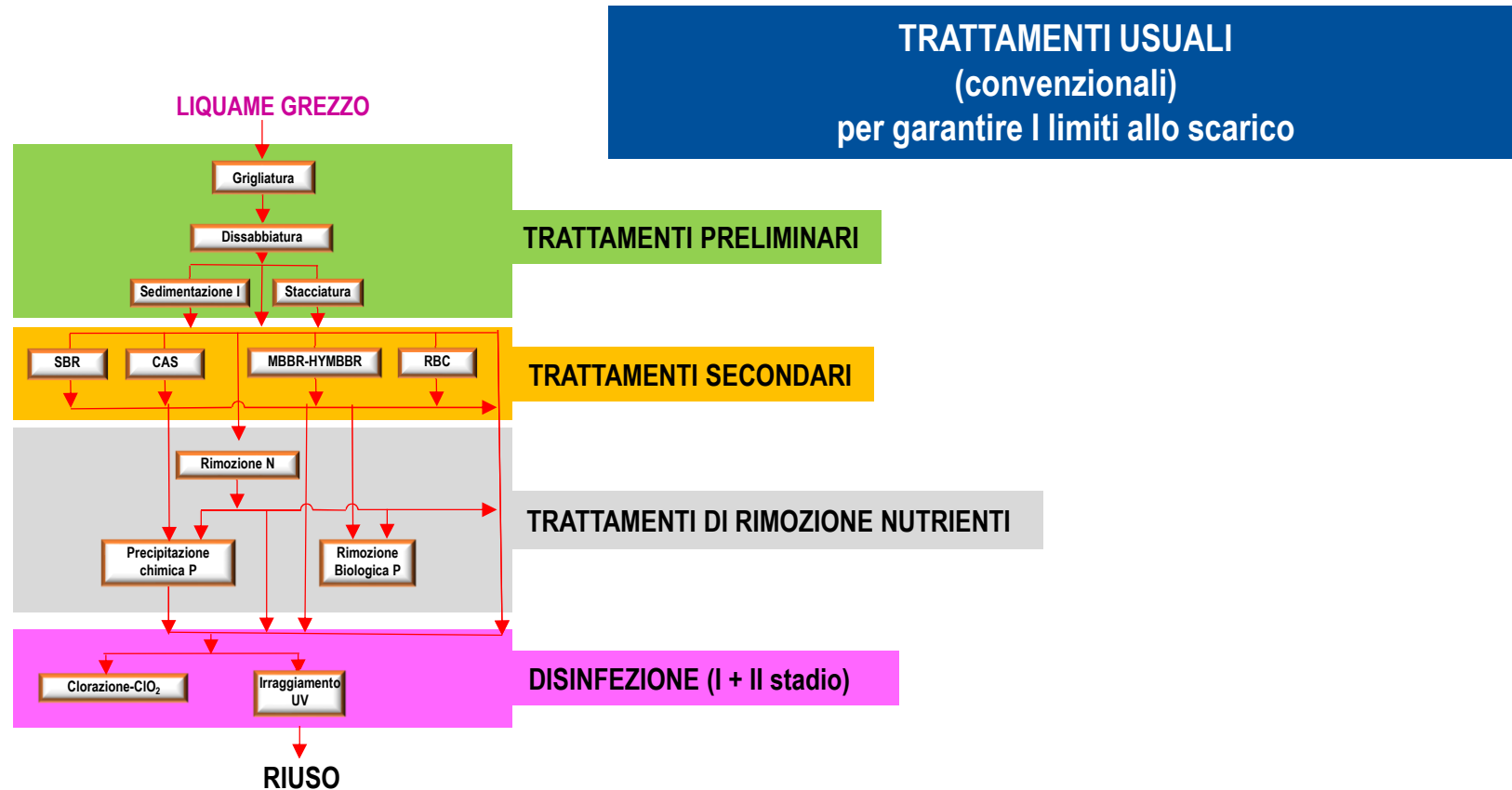
#### 3R - PROCESSI INNOVATIVI PER IL TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE







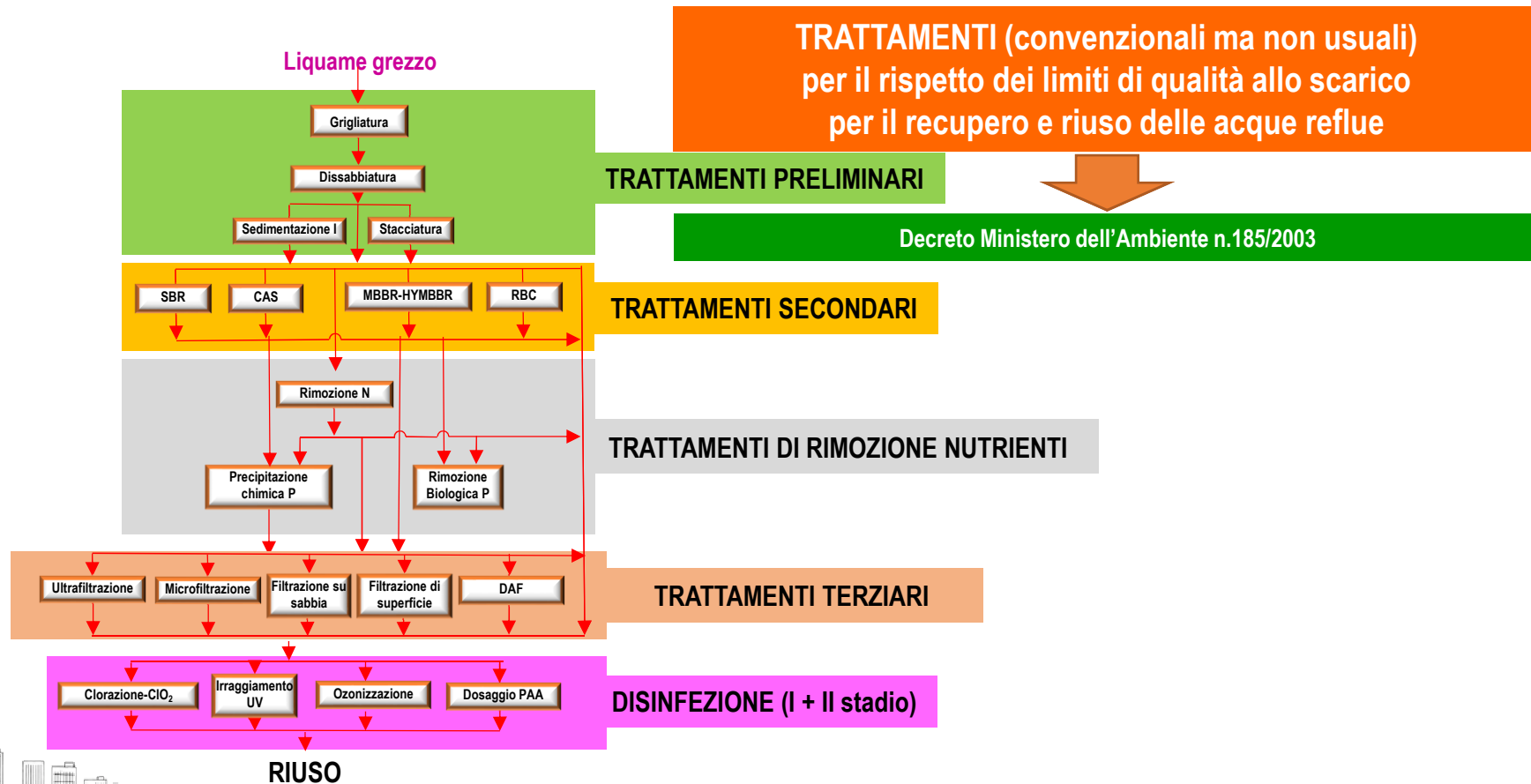
### 3. Configurazione degli impianti di affinamento e recupero



“Il riuso irriguo delle acque reflue depurate:  
applicazione in Sicilia del Regolamento EU n.741/2020”



### 3. Configurazione degli impianti di affinamento e recupero



**TRATTAMENTI (convenzionali ma non usuali)  
per il rispetto dei limiti di qualità allo scarico  
per il recupero e riuso delle acque reflue**



**Decreto Ministero dell'Ambiente n.185/2003**



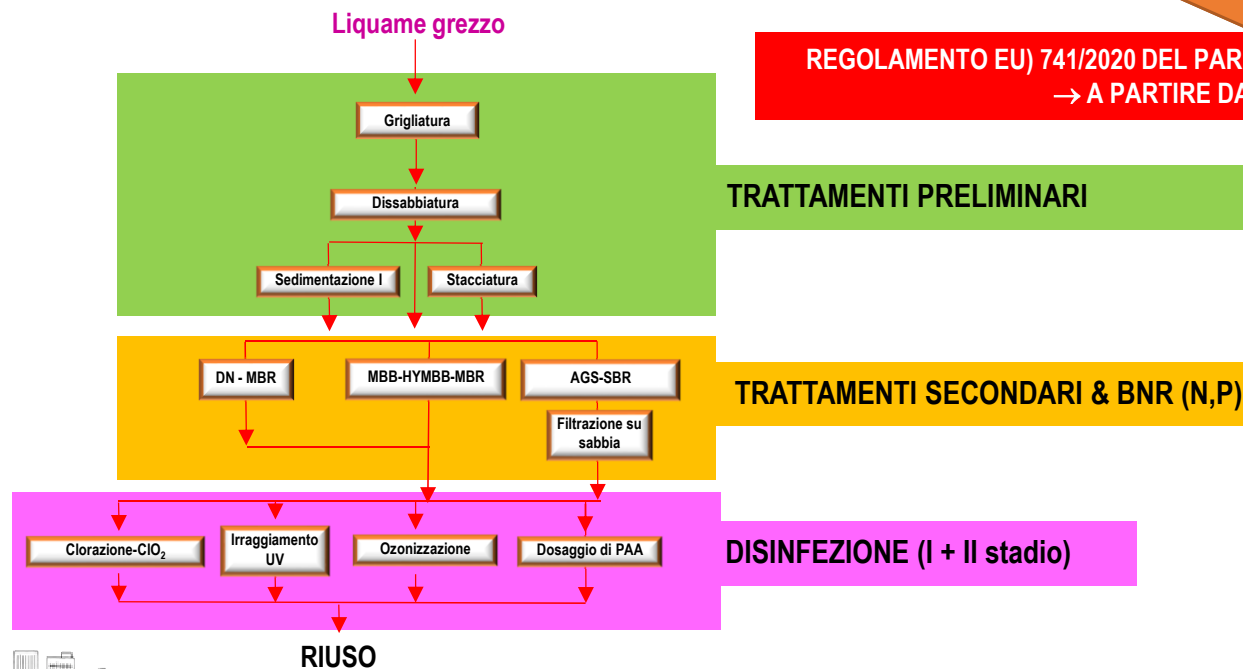


### 3. Configurazione degli impianti di affinamento e recupero

**TRATTAMENTI BIOLOGICI AVANZATI**  
per il rispetto dei limiti di qualità allo scarico  
per il recupero e riuso delle acque reflue



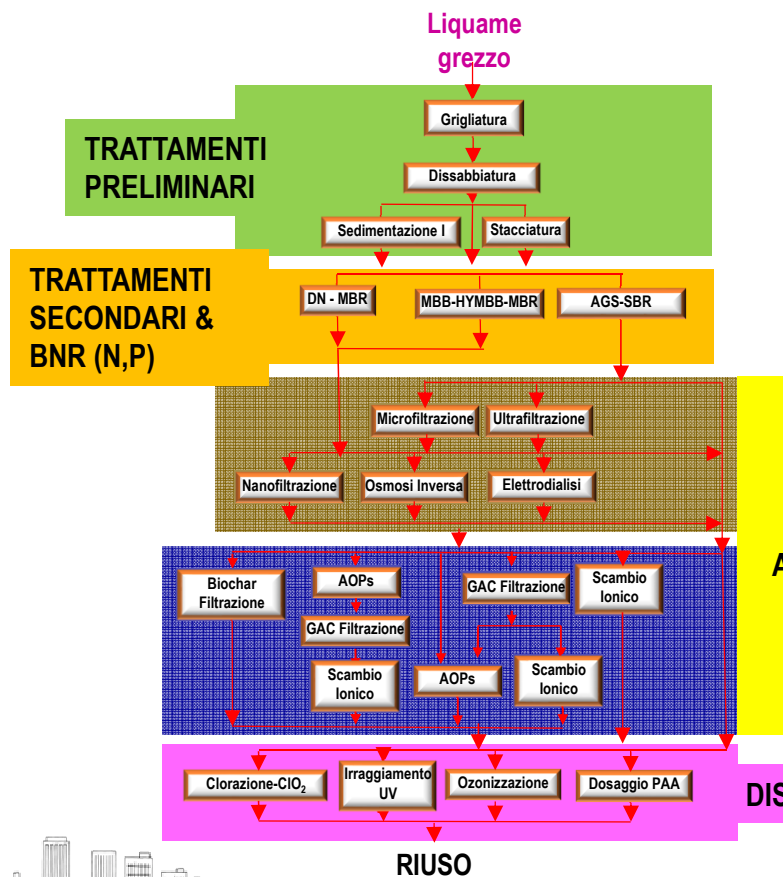
**REGOLAMENTO EU) 741/2020 DEL PARLAMENTO E DEL CONSIGLIO EUROPEO**  
→ A PARTIRE DAL 26 Giugno 2023



“Il riuso irriguo delle acque reflue depurate: applicazione in Sicilia del Regolamento EU n.741/2020”



3. Configuration of TWWRP (Tertiary WW Reclaim Plant)



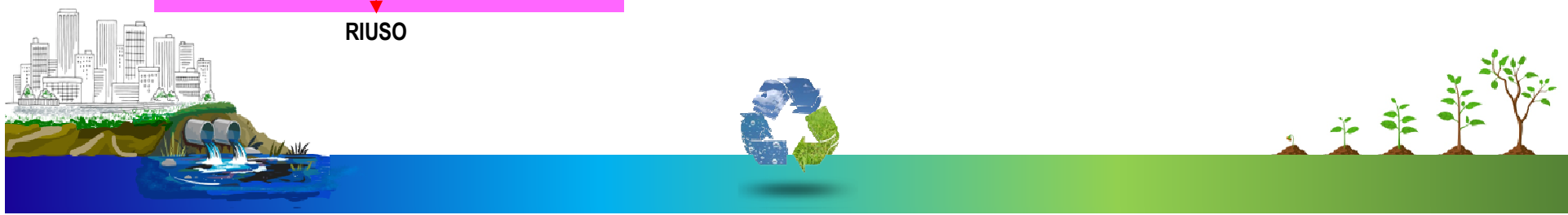
**TRATTAMENTI BIOLOGICI AVANZATI**  
per il rispetto dei limiti di qualità allo scarico  
per il recupero e riuso delle acque reflue

**REGOLAMENTO EU) 741/2020 DEL PARLAMENTO E DEL CONSIGLIO EUROPEO**  
→ A PARTIRE DAL 26 Giugno 2023

**VALUTAZIONE DEL RISCHIO**

**TRATTAMENTI DI AFFINAMENTO AVANZATI**  
Se risulta necessario rimuovere sostanze xenobiotiche e altri microinquinanti

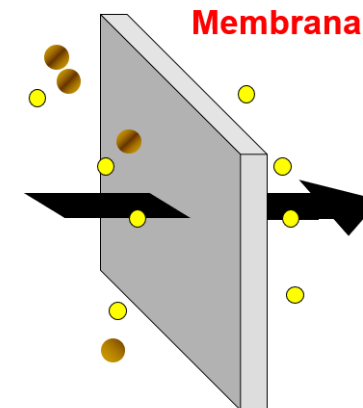
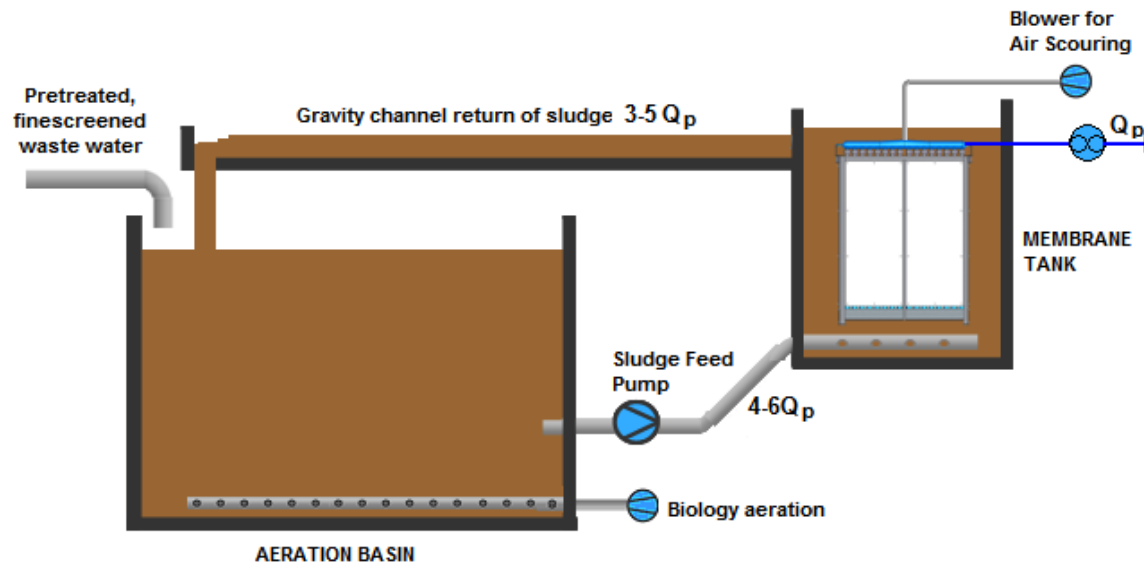
**DISINFEZIONE (I + II stadio)**





## 5. Trattamenti biologici avanzati e loro efficienza nella rimozione dei contaminanti emergenti

### Processi MBR

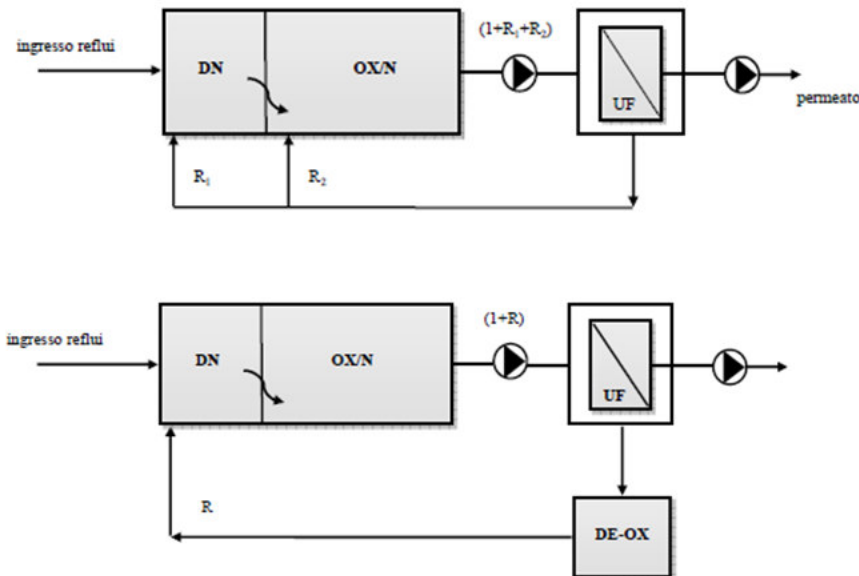




## 5. Trattamenti biologici avanzati e loro efficienza nella rimozione dei contaminanti emergenti

### Processi MBR

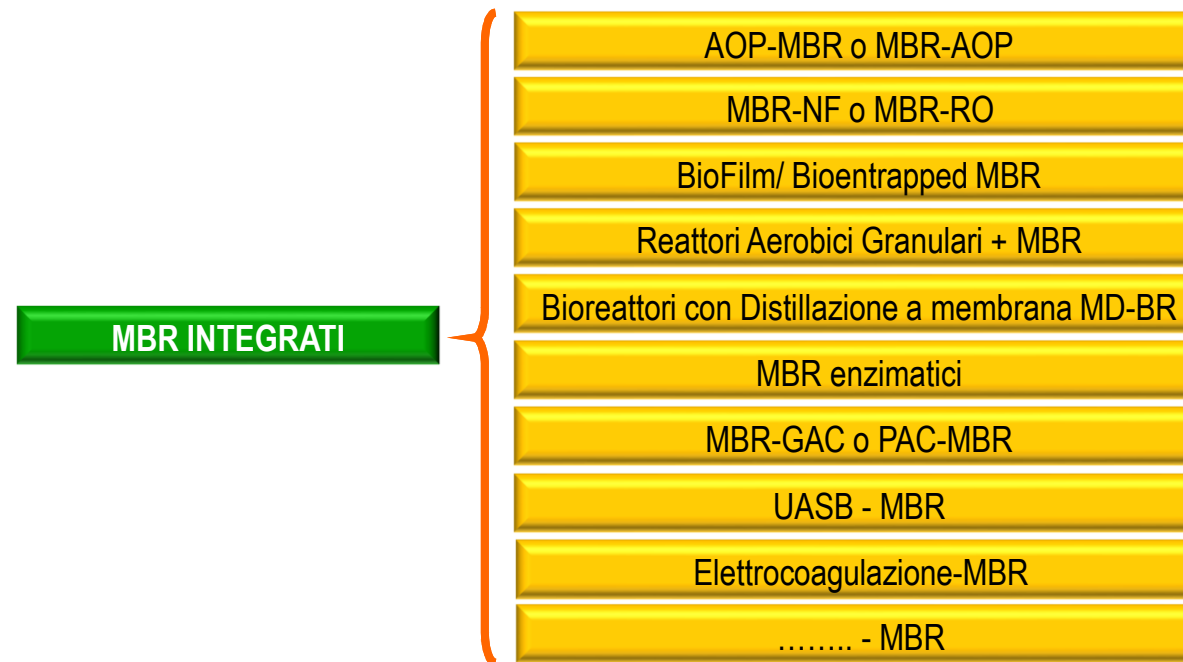
Fanghi attivi  
(rimozione C + N)





## 5. Trattamenti biologici avanzati e loro efficienza nella rimozione dei contaminanti emergenti

### Processi MBR



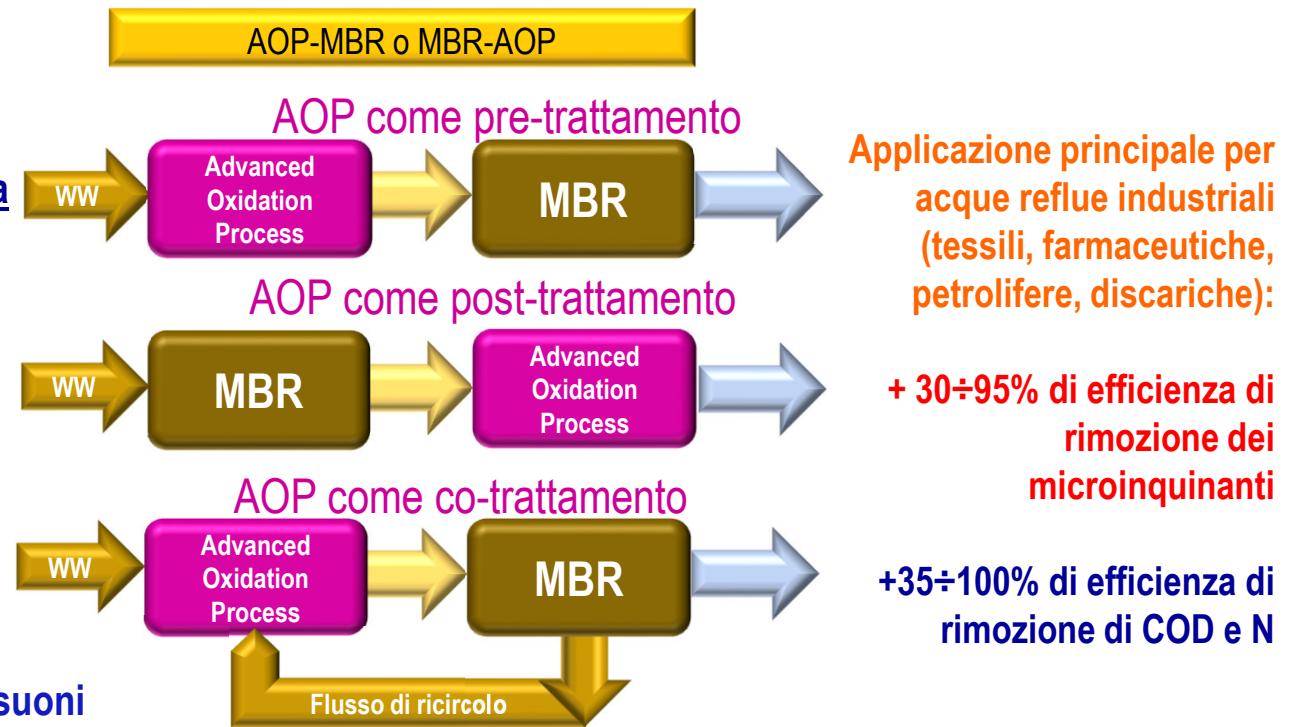


## 5. Trattamenti biologici avanzati e loro efficienza nella rimozione dei contaminanti emergenti

### Processi di Ossidazione Avanzata

#### AOP:

- Ossidazione con aria umida
- Ossidazione elettrochimica
- Ossidazione Fenton
- Coagulazione elettrochimica
- Ozonizzazione
- Ozonizzazione catalitica
- Ossidazione fotocatalitica
- Ossidazione ad ultrasuoni
- Ossidazione catalitica ad ultrasuoni

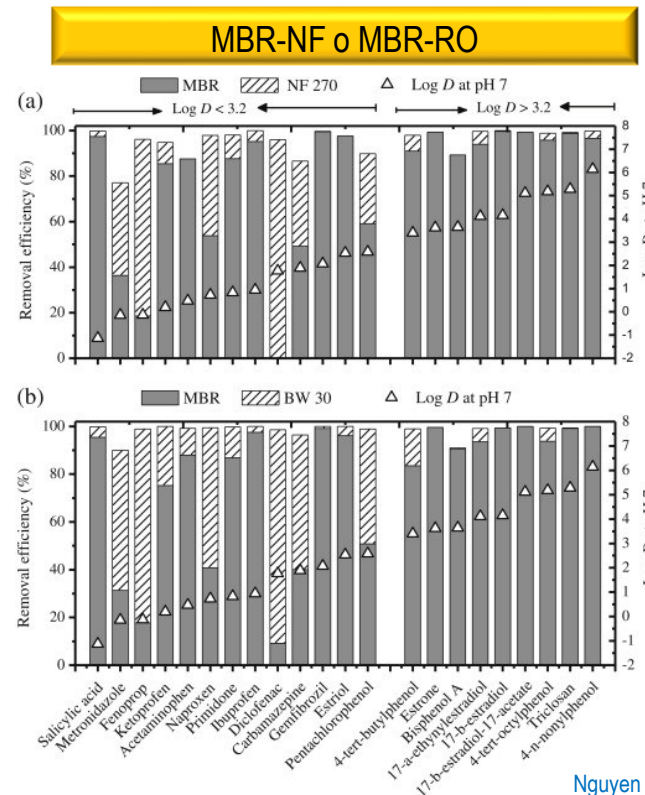






## 5. Trattamenti biologici avanzati e loro efficienza nella rimozione dei contaminanti emergenti

Rimozione di composti farmaceutici



MBR+Nanofiltrazione

MBR+Osmosi Inversa

Nguyen et al., 2013, *International Biodeterioration & Biodegradation*



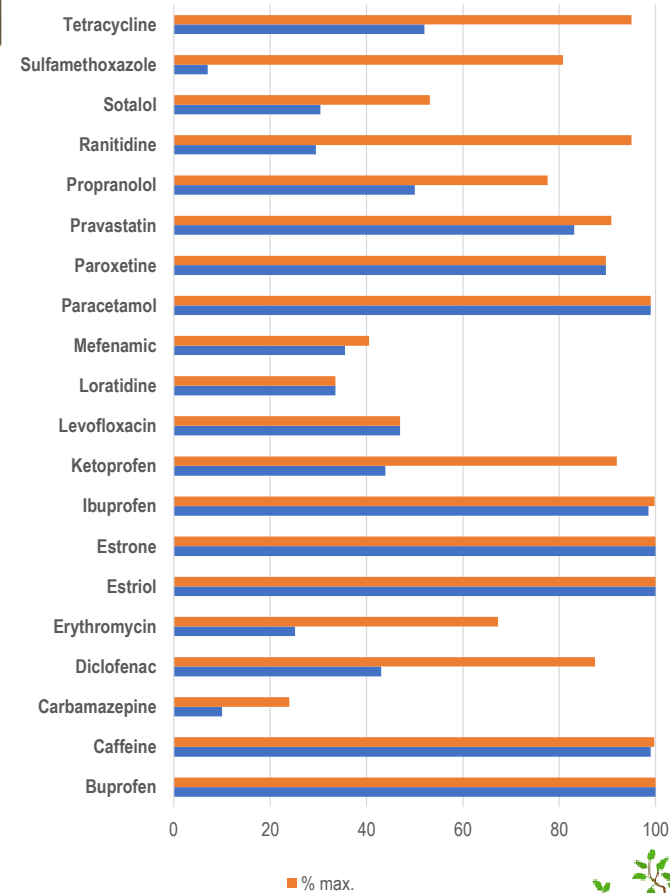
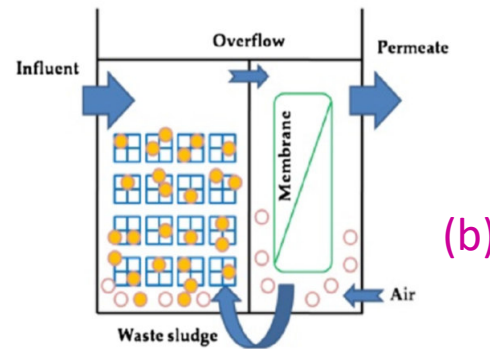
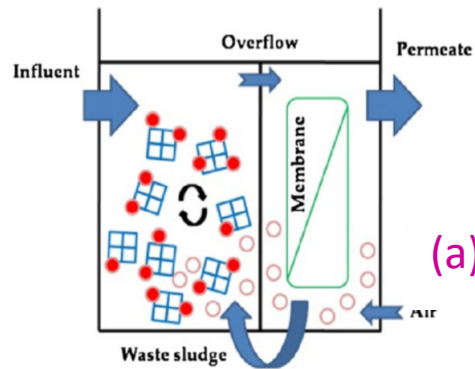
“Il riuso irriguo delle acque reflue depurate: applicazione in Sicilia del Regolamento EU n.741/2020”



## 5. Trattamenti biologici avanzati e loro efficienza nella rimozione dei contaminanti emergenti

### BioFilm/ Bioentrapped MBR

#### Rimozione di composti farmaceutici

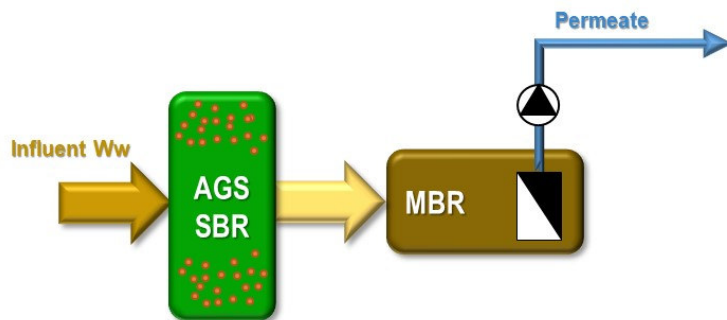




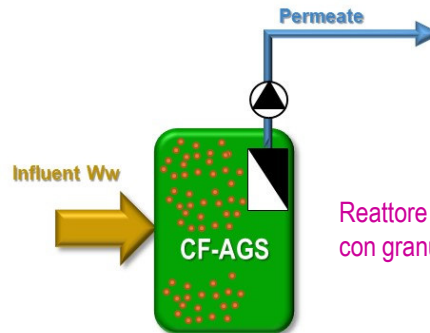
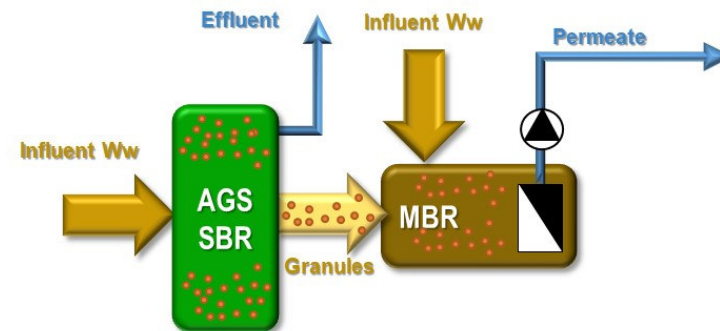
## 5. Trattamenti biologici avanzati e loro efficienza nella rimozione dei contaminanti emergenti

### Biomasse Aerobiche Granulari - MBR

MBR alimentato con l'effluente di un reattore aerobico granulare SBR

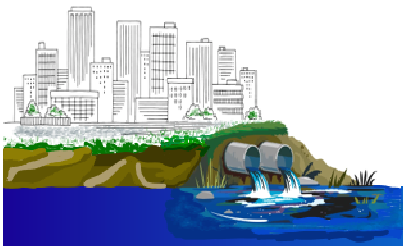


Biomassa aerobica granulare coltivata in reattore separato SBR e liquame alimentato nell'MBR



Reattore a flusso continuo a biomassa aerobica granulare con granuli a diretto contatto con le fibre di membrana

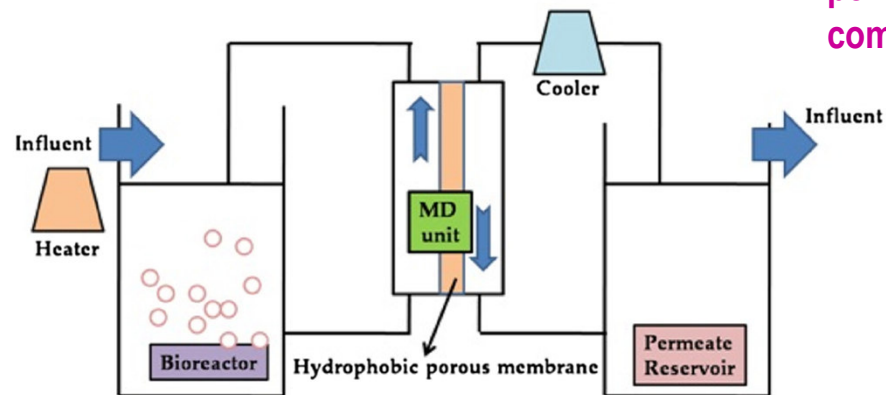
Campo et al., 2021, Membranes (Basel)





## 5. Trattamenti biologici avanzati e loro efficienza nella rimozione dei contaminanti emergenti

### Bioreattore con Membrane di Distillazione MD-BR



La membrana MD agisce da barriera contro la permeazione di composti a basso peso molecolare e composti recalcitranti

La temperatura elevata, tipicamente **50–60°C**, viene utilizzata per guidare l'acqua attraverso la membrana e ciò significa che **è necessaria una biomassa termofila.**

La membrana idrofobica trattiene i sali non volatili che si accumulano nel reattore. Pertanto la biomassa MDBR deve essere **alotollerante.**

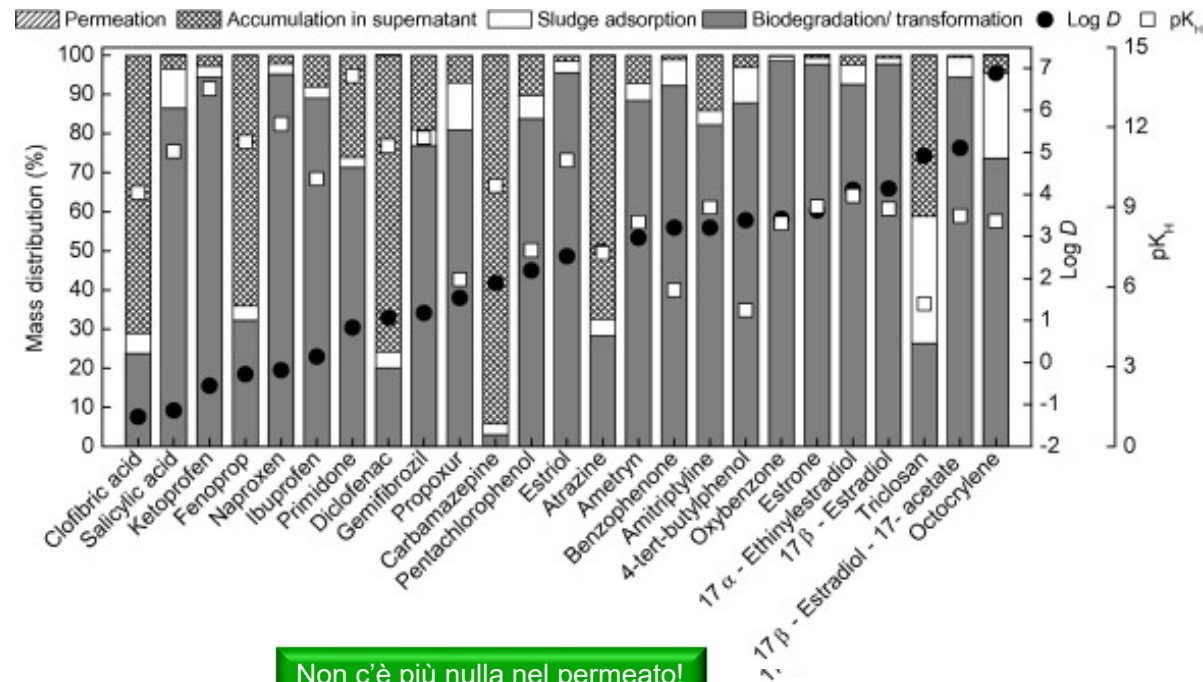




## 5. Trattamenti biologici avanzati e loro efficienza nella rimozione dei contaminanti emergenti

### Bioreattore con Membrane di Distillazione MD-BR

Rimozione  
composti  
farmaceutici



Non c'è più nulla nel permeato!

Wijekoon et al. 2014, [Bioresource Technology](#)





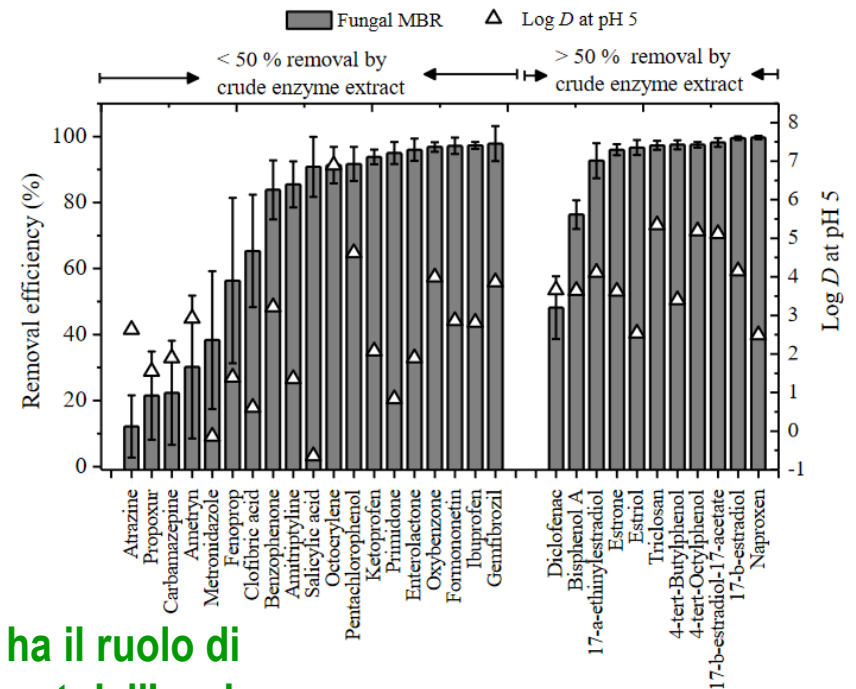
## 5. Trattamenti biologici avanzati e loro efficienza nella rimozione dei contaminanti emergenti

### MBR Enzimatici

I farmaci antitumorali (che mostrano effetti cancerogeni, interferenti endocrini, teratogeni, genotossici, mutageni e citotossici) sono recalcitranti non solo ai trattamenti convenzionali ma anche ad alcune tecnologie avanzate e non convenzionali, come l'idrolisi e le radiazioni UV.



Enzimi prodotti da funghi white-rot



Nguyen et al., 2018, [Bioresource Technology](#)

La membrana ha il ruolo di evitare il washout dell'enzima

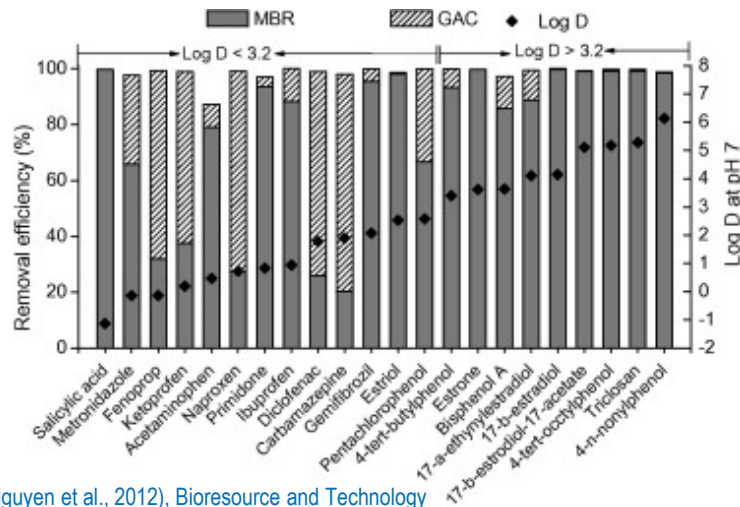




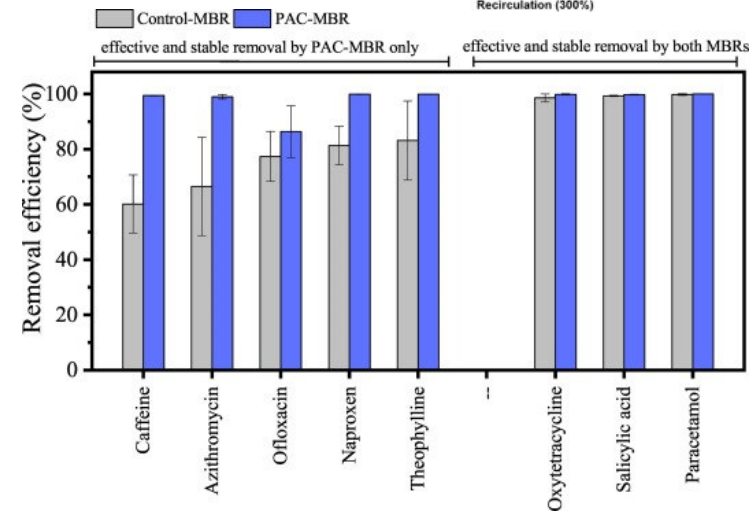
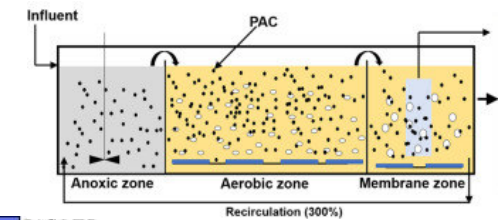
## 5. Trattamenti biologici avanzati e loro efficienza nella rimozione dei contaminanti emergenti

MBR – GAC o MBR - PAC

Il carbone attivo granulare (GAC) ha dimostrato di raggiungere con successo i livelli trattati di sostanze perfluoroalchiliche (PFAS) richiesti, con cicli operativi di almeno due mesi tra la rigenerazione. Un'alternativa è dosare carbone attivo in polvere (PAC) nella linea a fanghi attivi di ritorno (RAS), ma questo ovviamente si aggiunge ai residui solidi (fanghi).



(Nguyen et al., 2012), Bioresource and Technology



Asif et al., 2020, Science of The Total Environment



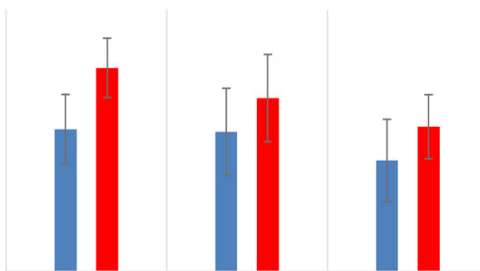


## 5. Trattamenti biologici avanzati e loro efficienza nella rimozione dei contaminanti emergenti

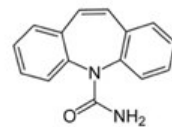
### UASB - MBR

Rimozione della Carbamazepina

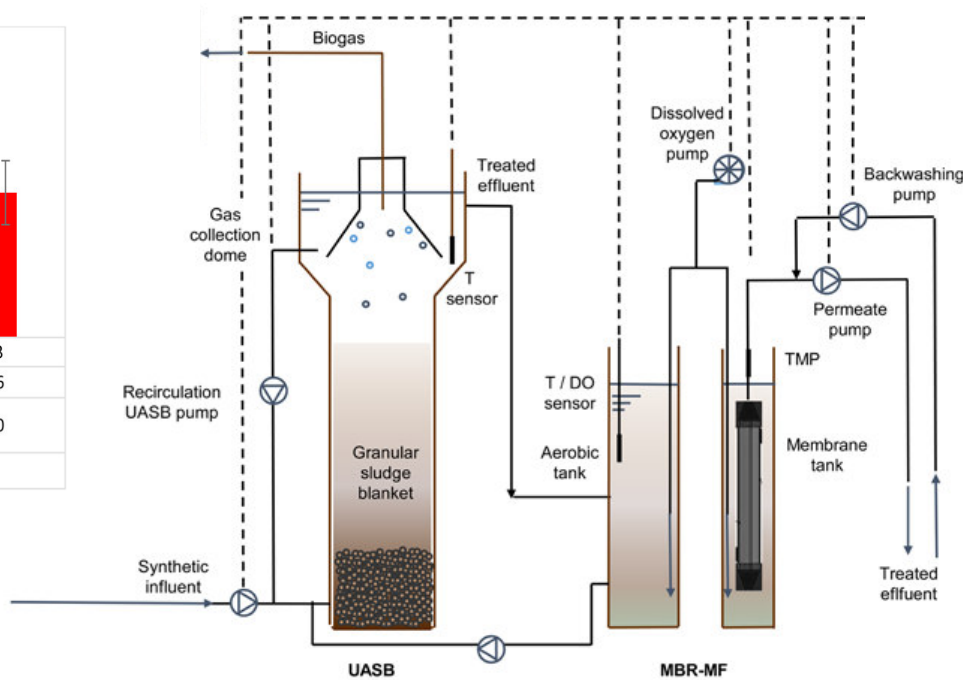
CBZ Removal efficiencies (%)



	OLR1	OLR2	OLR3
■ UASB average removal rates (%)	48.88	48.03	38.16
■ UASB-MBR average removal rates (%)	70.03	59.63	49.80



Carbamazepine -CBZ



Moya-Llamas et al., 2021, Water Science and Technology







## 5. Trattamenti biologici avanzati e loro efficienza nella rimozione dei contaminanti emergenti

### Rimozione dei nutrienti

REGOLAMENTO EU) 741/2020 DEL PARLAMENTO E DEL CONSIGLIO EUROPEO

Il riutilizzo dell'acqua potrebbe contribuire al recupero dei nutrienti contenuti nelle acque reflue urbane trattate e l'uso di acque bonificate a fini irrigui in agricoltura o silvicoltura potrebbe essere un modo per ripristinare i nutrienti, come **azoto**, **fosforo** e **potassio**, ai cicli biogeochimici naturali .

Decreto Ministero dell'Ambiente n.185/2003		
Nutrienti	Unità	Limiti
Azoto totale (*)	mgN/L	15
Azoto ammoniacale	mgNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L	2
Fosforo totale (*)	mgP/L	2

(\*) In caso di riutilizzo irriguo, I limiti per azoto e fosforo totale possono essere essere incrementati fino a **35 mg/L** e **10 mg/L** rispettivamente.





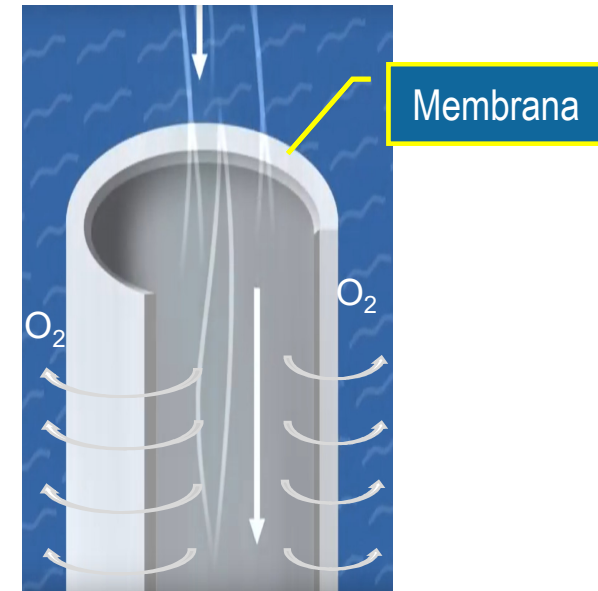
## 5. Trattamenti biologici avanzati e loro efficienza nella rimozione dei contaminanti emergenti

### Technologia MABR

#### *Membrane Aerated Biofilm Reactor*

Implementa un processo di trattamento biologico aerobico in grado di integrare o aumentare la capacità di rimozione dei composti azotati dalle acque reflue in impianti originariamente con configurazione convenzionale (CAS) o con insufficiente capacità di ottenere la qualità richiesta nella rimozione dell'azoto.

Si basa sull'utilizzo di membrane, che in questo caso non hanno lo scopo di separare la biomassa per ottenere un effluente di alta qualità (filtrazione a membrana), come avviene nei sistemi MBR, ma di immettere aria nell'impianto dall'interno della membrana all'esterno.





## 5. Trattamenti biologici avanzati e loro efficienza nella rimozione dei contaminanti emergenti

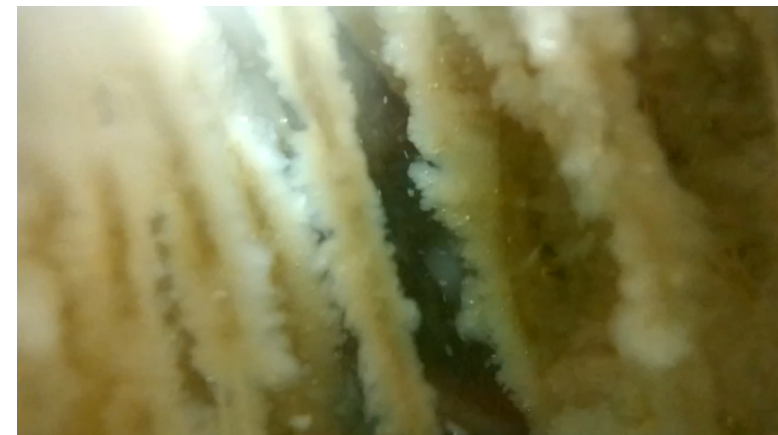
### Technologia MABR

#### *Membrane Aerated Biofilm Reactor*

#### Scopo:

**Nitrificazione o nitrificazione e denitrificazione simultanea**

**È stato dimostrato che i microrganismi nitrificanti crescono preferibilmente sulla superficie della membrana anche in condizioni di carico organico relativamente elevato.**



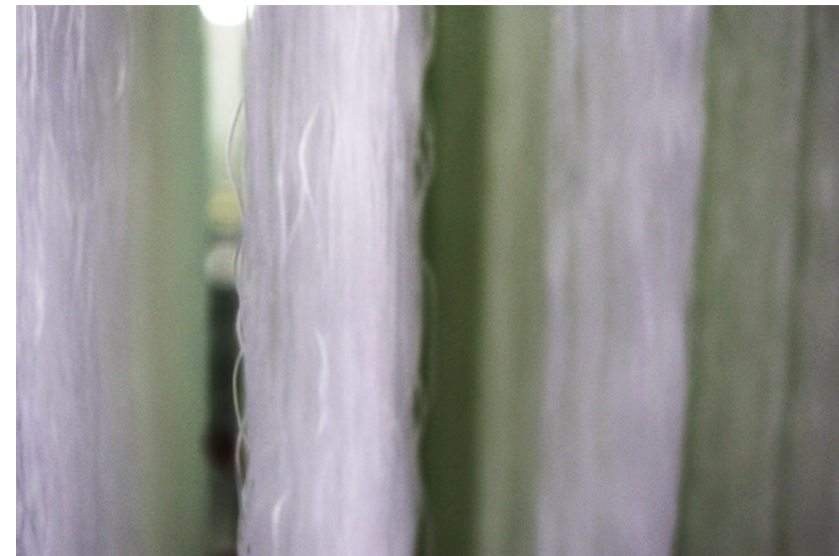
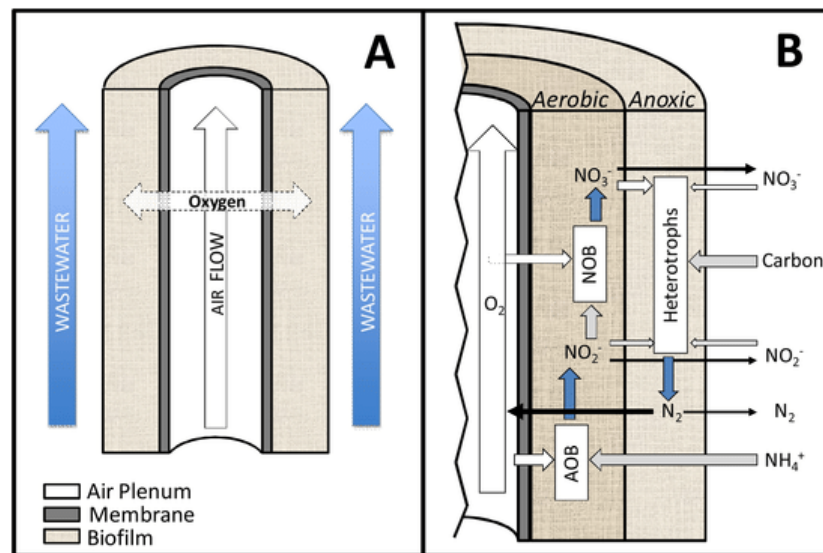
Sviluppo di biomassa in film sulla superficie delle membrane





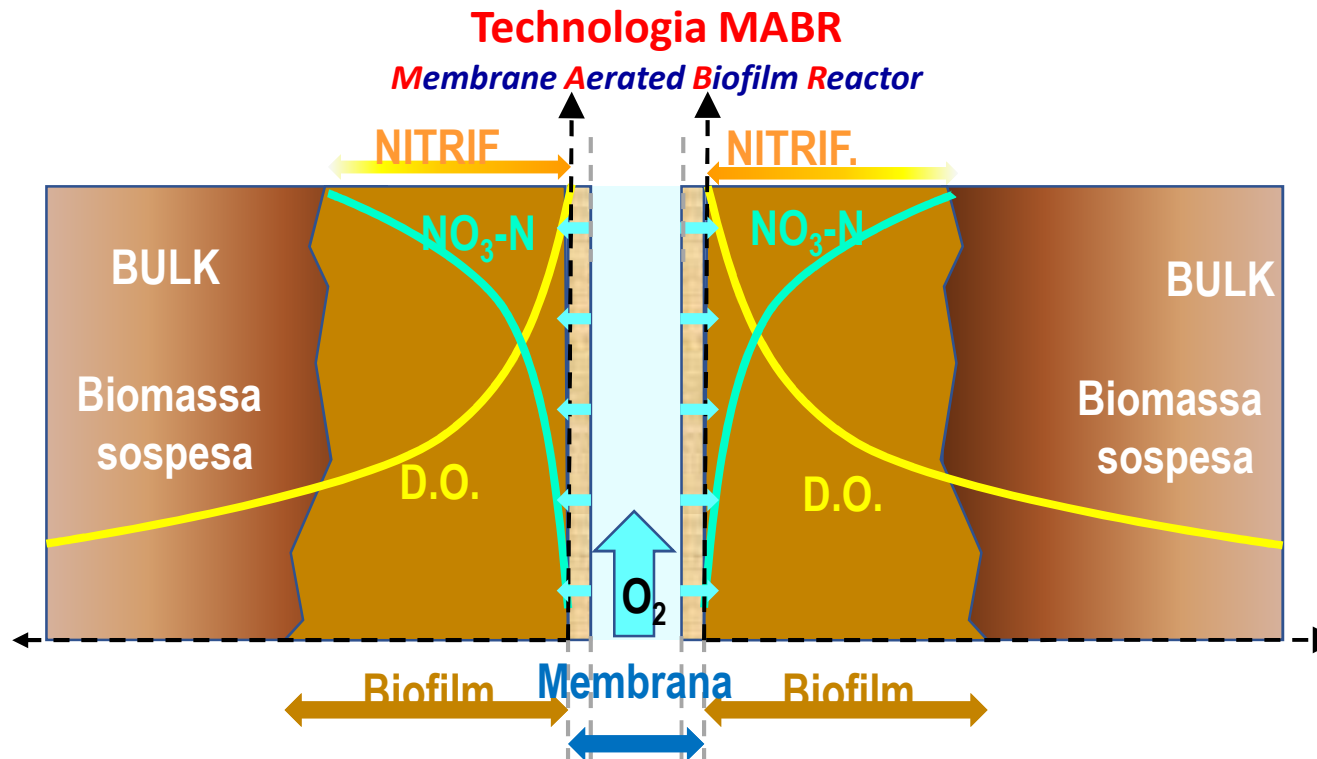
## 5. Trattamenti biologici avanzati e loro efficienza nella rimozione dei contaminanti emergenti

### Technologia MABR *Membrane Aerated Biofilm Reactor*



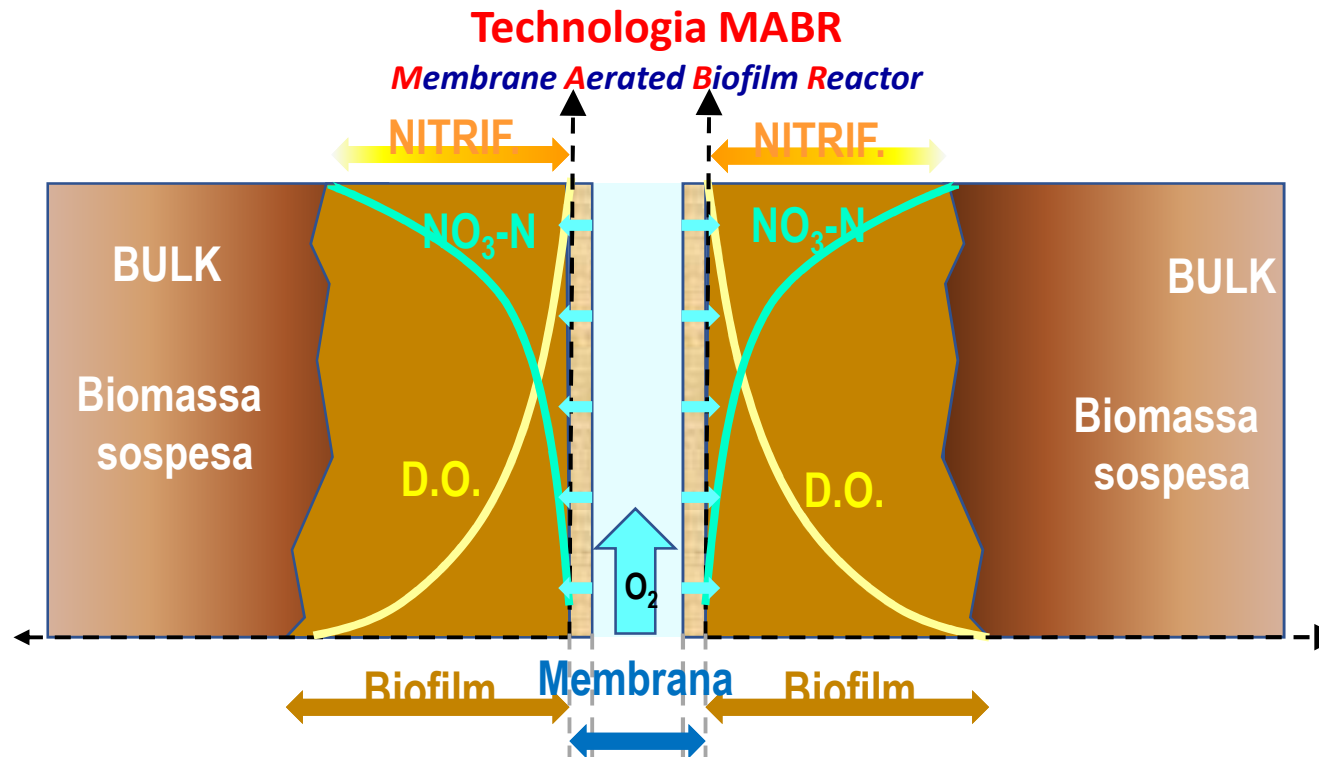


## 5. Trattamenti biologici avanzati e loro efficienza nella rimozione dei contaminanti emergenti



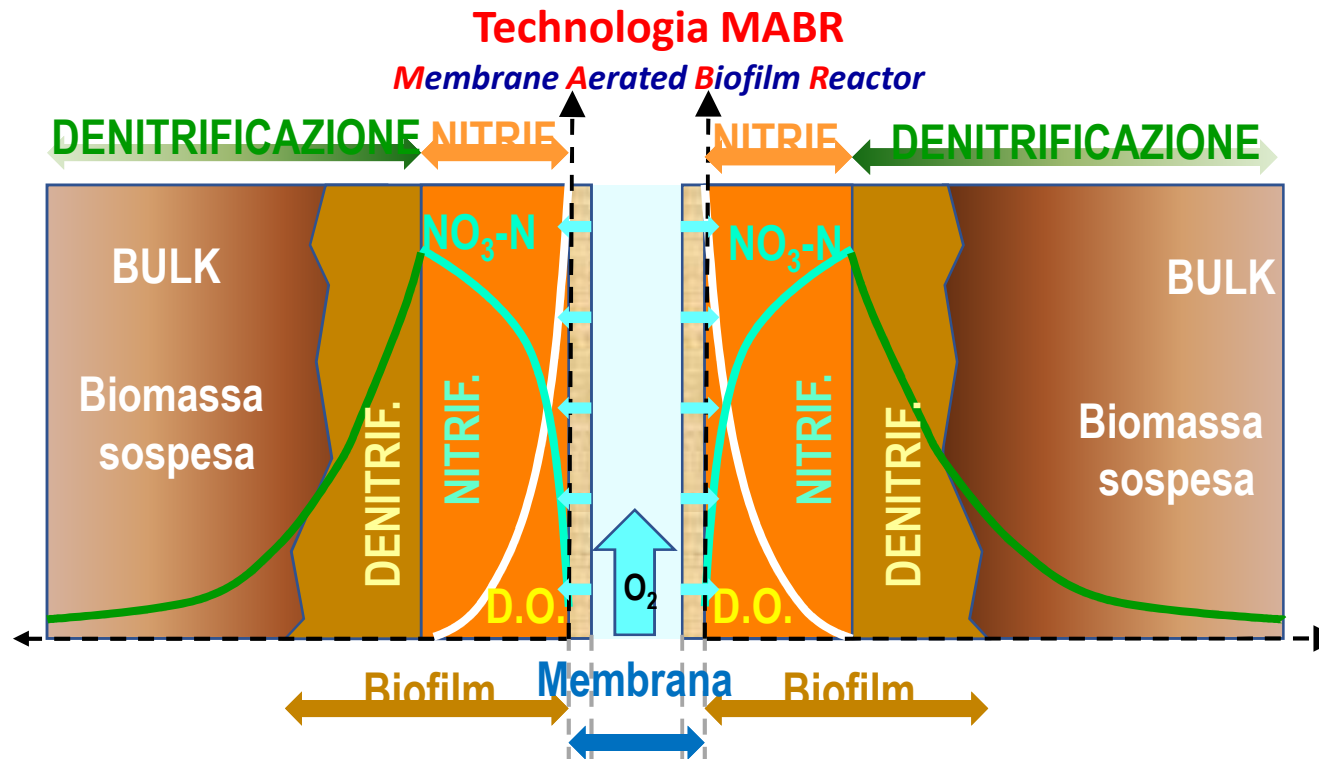


## 5. Trattamenti biologici avanzati e loro efficienza nella rimozione dei contaminanti emergenti





## 5. Trattamenti biologici avanzati e loro efficienza nella rimozione dei contaminanti emergenti

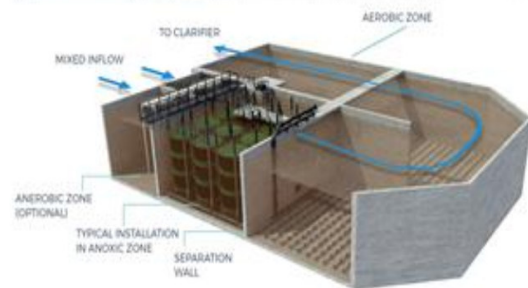
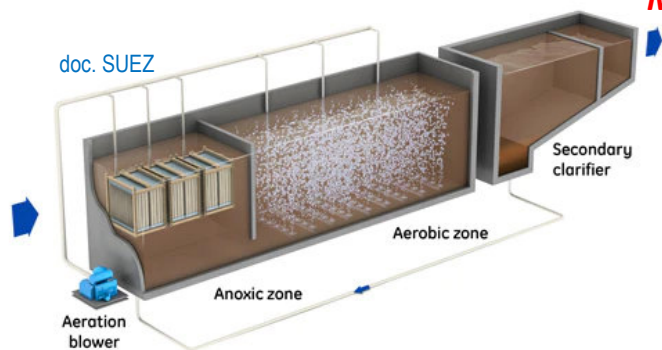




## 5. Trattamenti biologici avanzati e loro efficienza nella rimozione dei contaminanti emergenti

### Technologia MABR

#### Membrane Aerated Biofilm Reactor



doc. Fluence

Oltre al trattamento delle acque reflue urbane e degli impianti di produzione agroalimentare e biomasse, numerosi sono gli studi che dimostrano l'efficienza e la validità dell'applicazione dei sistemi MABR nel trattamento dei rifiuti industriali contenenti composti xenobiotici, quali benzene, etilbenzene, toluene, xilene (Syron & Casey, 2008), nonilfenolo etossilato (Puteh, 2013), organo-clorurati (Ohandja e Stuckey, 2006), idrocarburi (Li et al., 2015), formaldeide (Mei et al, 2019). Alcuni schemi, proposti per il trattamento delle acque reflue cariche di questi composti, prevedono l'accoppiamento del processo biologico MABR integrato con trattamenti con ozono e carbone attivo (Li et al., 2015).

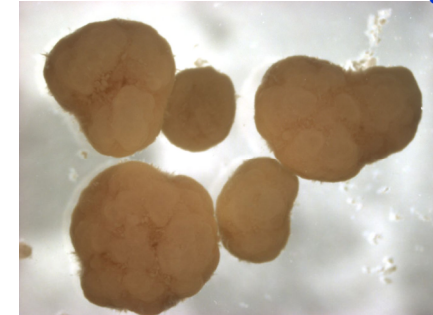






## 5. Trattamenti biologici avanzati e loro efficienza nella rimozione dei contaminanti emergenti

### REATTORI A BIOMASSA AEROBICA GRANULARE



In questi sistemi:

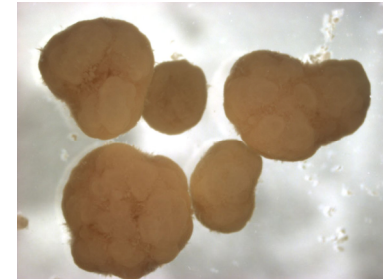
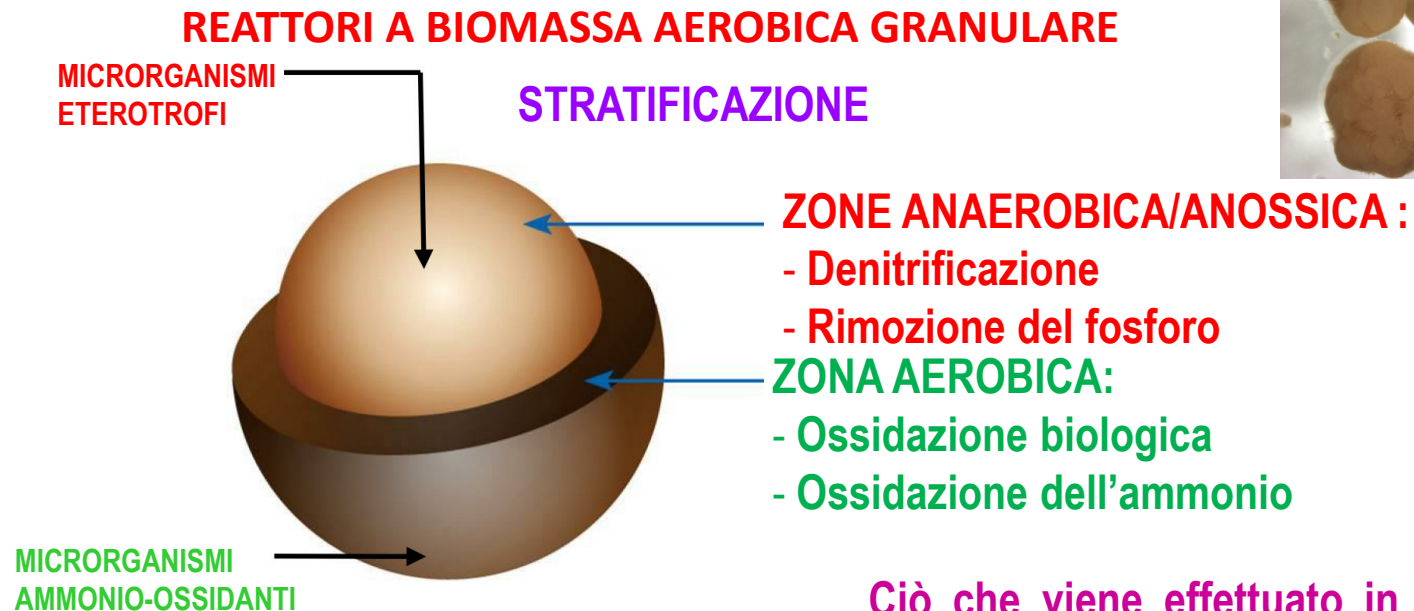
- è possibile operare con elevate concentrazioni di biomassa (fino a 20 gSS/L) ed elevati carichi organici (fino a 15 kgCOD/m<sup>3</sup>-giorno) ottenendo basse produzioni di fanghi in eccesso;
- è necessario solo il 25% dell'area richiesta per un sistema a fanghi attivi convenzionale;
- il consumo di energia può essere ridotto del 25 ÷ 30%;
- la bassa produzione di fanghi in eccesso, le ridotte dimensioni dei reattori ed il minor consumo energetico potrebbero ridurre fino al 50% i costi di investimento e di gestione dell'impianto.

D'altra parte, il processo di granulazione e il mantenimento in regime stazionario della struttura dei granuli richiede un notevole controllo e, al momento, esistono anche forti vincoli legati ai brevetti.





## 5. Trattamenti biologici avanzati e loro efficienza nella rimozione dei contaminanti emergenti



Ciò che viene effettuato in diversi reattori negli impianti a fanghi attivi può essere ottenuto all'interno di un singolo granulo.





## 5. Trattamenti biologici avanzati e loro efficienza nella rimozione dei contaminanti emergenti

### REATTORI A BIOMASSA AEROBICA GRANULARE



Parameter	Influent	Effluent (Average)
	(mg/l)	(mg/l)
COD	879	27
BOD	333	< 2.0
NKj	77	1.4
NH4-N	54	0.1
N-total		< 4.0
P-total	9.3	0.3
Suspended Solids	341	< 5.0





## 5. Trattamenti biologici avanzati e loro efficienza nella rimozione dei contaminanti emergenti

### REATTORI A BIOMASSA AEROBICA GRANULARE

Utrecht (Olanda): 308,333 (A.E.) - 2018



Blackburn, (UK): 321,500 (A.E.) - 2021

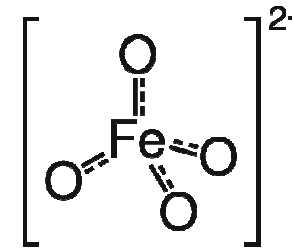




## 6. Altre tecnologie avanzate

### NOVITÀ NELLA DISINFEZIONE CHIMICA

Ferrato ( $\text{FeO}_4^{2-}$ ) o Ferro (VI)



Il ferrato è una molecola di ferro sovrallimentata in cui il ferro si trova nello stato di ossidazione più 6; è estremamente potente, ancora più ossidante dell'ozono e non crea sottoprodotti di disinfezione, risolvendo difficili problemi di trattamento contrariamente ad altri ossidanti.

Il ferrato è anche considerato una sostanza chimica "verde".

Può funzionare contemporaneamente come ossidante, coagulante e disinfettante.

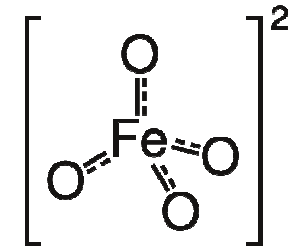
È considerato ecologico. È potente, ad azione rapida, agisce a piccole dosi e il prodotto finale del trattamento con Ferrate è l'idrossido ferrico, il ferro (III), un composto non tossico e rispettoso dell'ambiente.



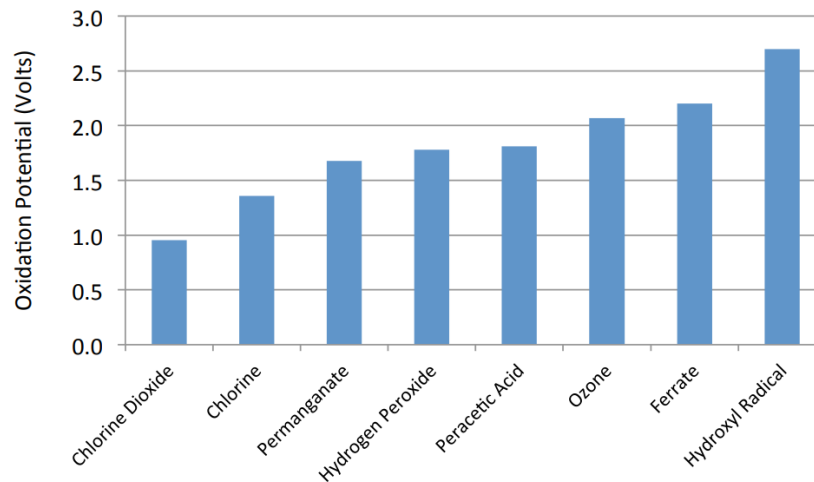


## 6. Altre tecnologie avanzate

### NOVITÀ NELLA DISINFEZIONE CHIMICA Ferrato ( $\text{FeO}_4^{2-}$ ) o Ferro (VI)



È più ossidante dell'ozono



#### Composti utilizzabili:

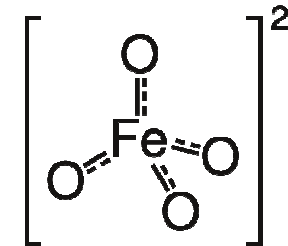
- Ferrato di Sodio,  $\text{Na}_2\text{FeO}_4$
- Ferrato di Potassio,  $\text{K}_2\text{FeO}_4$





## 6. Altre tecnologie avanzate

### NOVITÀ NELLA DISINFEZIONE CHIMICA Ferrato ( $\text{FeO}_4^{2-}$ ) o Ferro (VI)



La produzione di ferrato richiede solo la fase di ossidazione del ferro ferrico.

Nella sua forma disciolta è molto reattivo e ha una breve emivita, quindi è necessario generarlo in situ.

Oggi esistono già alcune tecnologie brevettate per ottenere ferrato con impianti di produzione pre-assemblati.





## 6. Altre tecnologie avanzate

### Pasteurizzazione

Il valore economico della pastorizzazione è favorevole quando il calore di scarto può essere catturato e trasferito per la disinfezione.

Gli scambiatori di calore possono essere utilizzati per recuperare il calore dall'acqua calda disinfettata per preriscaldare l'acqua più fredda non disinfettata, raffreddando anche l'effluente disinfettato a pochi gradi sopra l'acqua non disinfettata in entrata.

Altre fonti di calore di scarto includono il calore di scarico di una turbina alimentata a gas naturale, biogas o vapore.

Sanciolo et al., 2020, Water





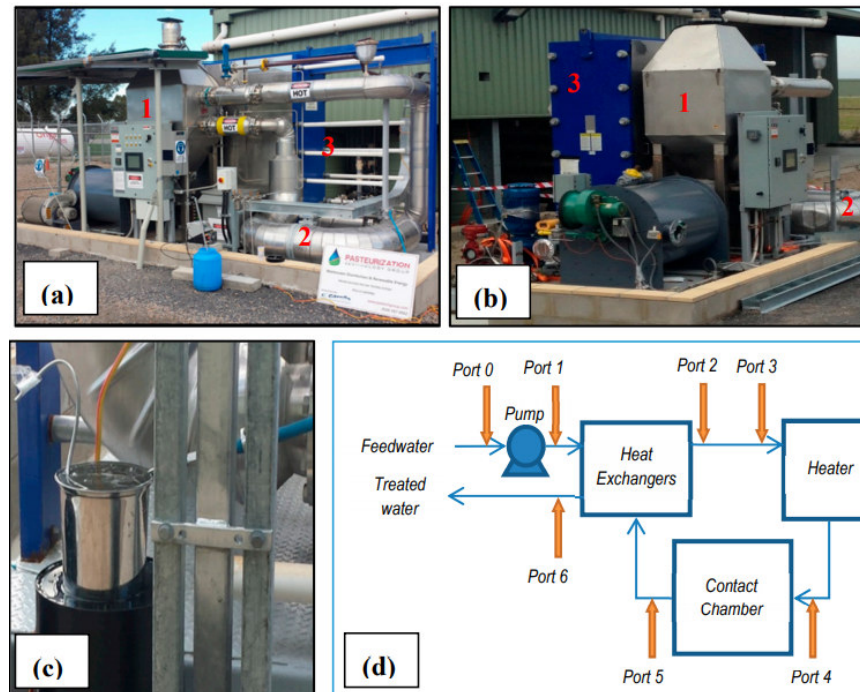
“Il riuso irriguo delle acque reflue depurate:  
applicazione in Sicilia del Regolamento EU n.741/2020”



## 6. Altre tecnologie avanzate

### Pasteurizzazione

Melbourne's Western WWTP  
and Eastern WWTP



Sanciolo et al., 2020, Water





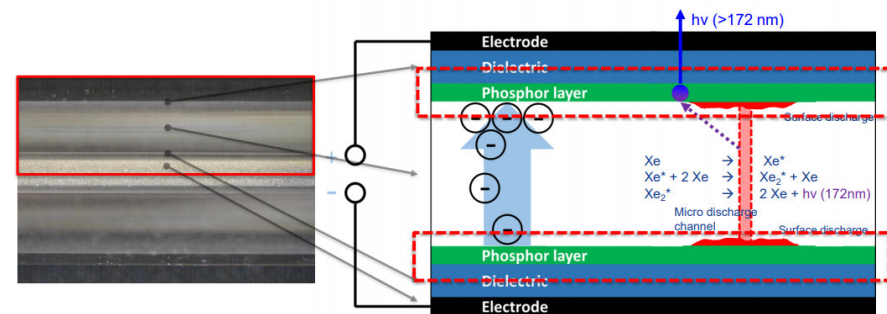
## 6. Altre tecnologie avanzate

### NOVITA' NELLA DISINFEZIONE MEDIANTE RADIAZIONI UV

#### Nuove lampade “Hg free”

Stato dell'arte:

Le lampade a scarica di gas contenenti mercurio sono le UV più comunemente applicate



#### Lampade ad eccimeri Xe convertiti al fosforo

Broxtermann et al., 2017, Journal of Business Chemistry



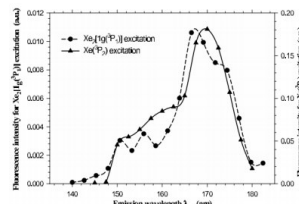


## 6. Altre tecnologie avanzate

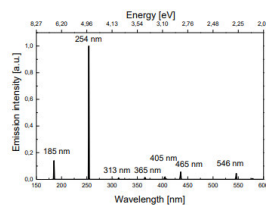
### NOVITA' NELLA DISINFEZIONE MEDIANTE RADIAZIONI UV

#### Nuove lampade “Hg free”

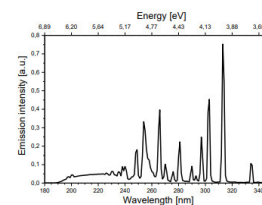
Queste lampade sono tipicamente azionate da brevi impulsi di alta tensione di 1 - 10 ns, solitamente 1 - 10 kV, e una corrente di picco di circa 0,1 A per generare scariche dielettricamente impedite, che in letteratura sono anche chiamate scarica a bagliore.



Xe-Excimer\*



Hg low pressure



Hg medium pressure

Vantaggi della tecnica degli eccimeri Xe:

- attivazione immediata
- alta emissione energetica
- modalità di funzionamento pulsante

Broxtermann et al., 2017, Journal of Business Chemistry

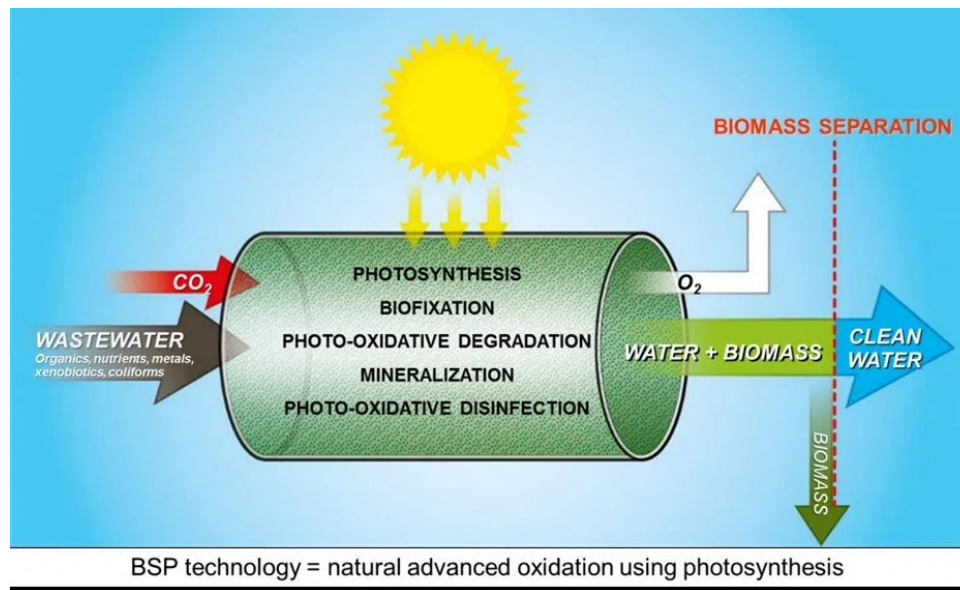




## 6. Altre tecnologie avanzate

### NOVITA' NELLA DISINFEZIONE MEDIANTE RADIAZIONE SOLARE

### Disinfezione Solare (SODIS) applicata in piccoli impianti



Tecnologia di purificazione in fotoreattori chiusi.

La tecnologia combina la degradazione dei rifiuti organici, la rimozione dei composti pericolosi disciolti e la distruzione dei contaminanti fecali nei fotobioreattori, utilizzando la luce solare e la CO<sub>2</sub> per intensificare la fotosintesi naturale.





## 6. Altre tecnologie avanzate

### NOVITA' NELLA DISINFEZIONE MEDIANTE RADIAZIONE SOLARE

#### Disinfezione Solare (SODIS) applicata in piccoli impianti

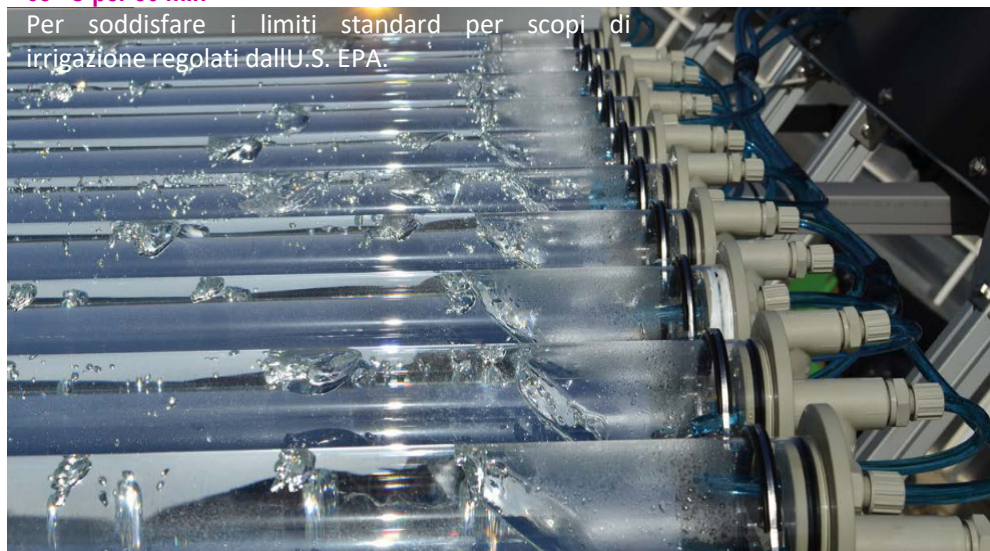
Scarichi fognari disinfettati

a 45 °C per 192 h,

55 °C per 24 h e

65 °C per 30 min

Per soddisfare i limiti standard per scopi di  
irrigazione regolati dall'U.S. EPA.



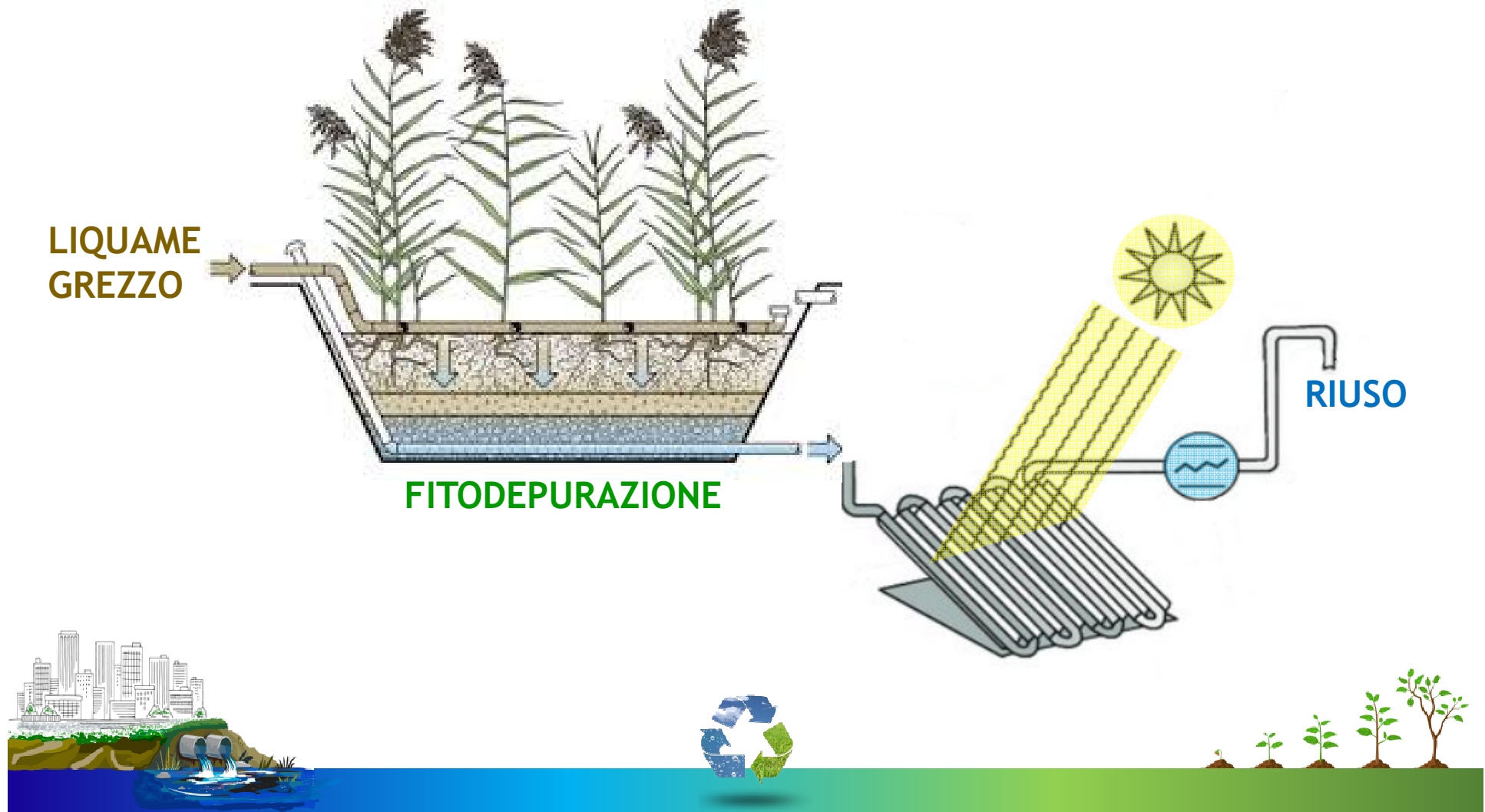
Lo speciale design dei fotobioreattori consente la purificazione di acque reflue da 100 a 2000 L per m<sup>2</sup> esposto al sole e al giorno in base alla loro forma e ai mezzi di recupero della luce solare. La circolazione dell'acqua e il sistema di iniezione aria+CO<sub>2</sub> sono progettati per utilizzare meno di 0,5 KWh per m<sup>3</sup> di acqua trattata.

Il trattamento complessivo delle acque reflue è ottenuto mediante 5 fenomeni biologici e solari intensificati in un fotoreattore ed è paragonabile a un avanzato processo di ossidazione naturale attraverso la fotosintesi eseguita da microalghe.





## Disinfezione Solare (SODIS) applicata in piccoli impianti





## 7. Conclusioni

- L'applicazione delle regole per il riutilizzo delle acque reflue comporterà una soglia di attenzione sempre maggiore.
- Gli schemi degli impianti, sempre più frequentemente, dovranno essere configurati in modo da rimuovere i contaminanti che saranno considerati fattori di rischio elevato, a seguito della specifica analisi di rischio preliminare.
- Allo stato attuale, le tecnologie disponibili sono già in grado di ottenere ottimi risultati di rimozione su molte tipologie di contaminanti, anche tra quelli emergenti, ma in molti casi i costi di investimento e di esercizio non sono ancora facilmente sostenibili. Tuttavia, lo sviluppo scientifico nel settore del trattamento delle acque è in forte crescita e molte delle applicazioni ritenute insostenibili solo pochi anni fa sono ormai realtà consolidate.





ORDINE DEGLI INGEGNERI  
DELLA PROVINCIA DI PALERMO

Seminario tecnico

“Il riuso irriguo delle acque reflue depurate:  
applicazione in Sicilia del Regolamento EU n.741/2020”



Università  
degli Studi  
di Palermo

dipartimento  
di ingegneria  
unipa



Grazie per l'attenzione

*[michele.torregrossa@unipa.it](mailto:michele.torregrossa@unipa.it)*

