

Rimozione di microinquinanti emergenti (MIE) e microplastiche (MP) in acque reflue e in acque potabili

Valeria Mezzanotte*

Francesca Malpei**, Alberto Zoccali**

Manuela Antonelli**

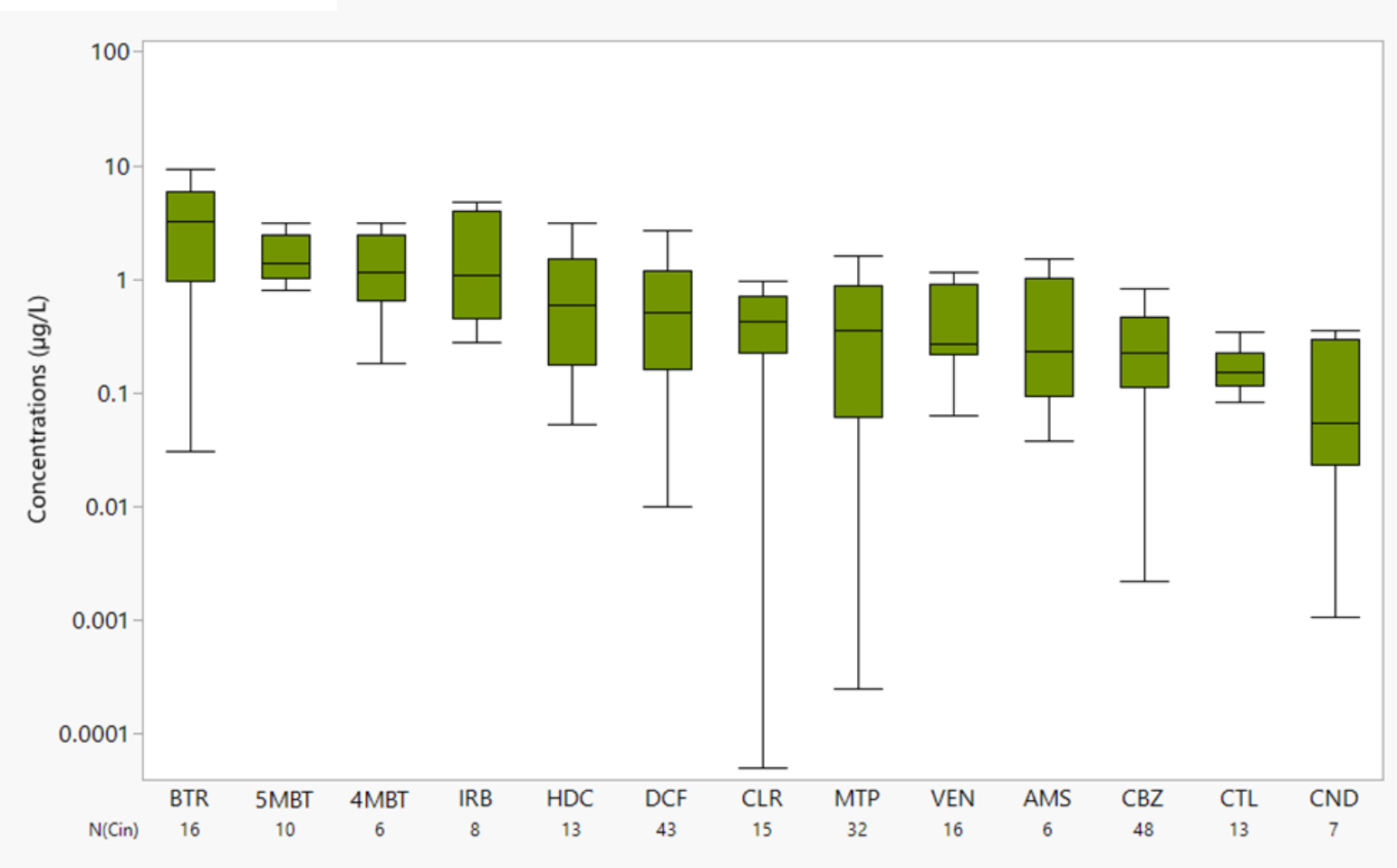
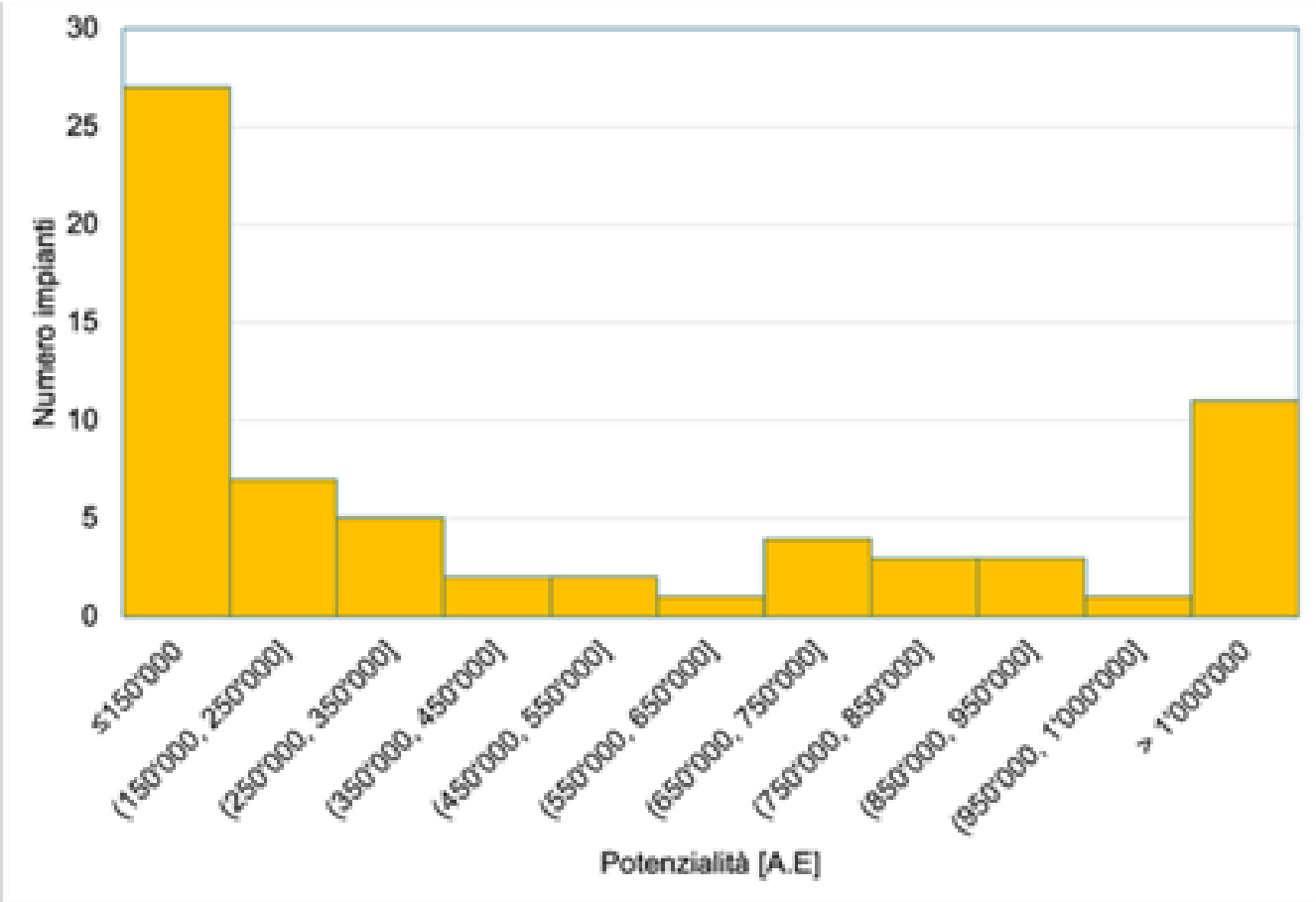
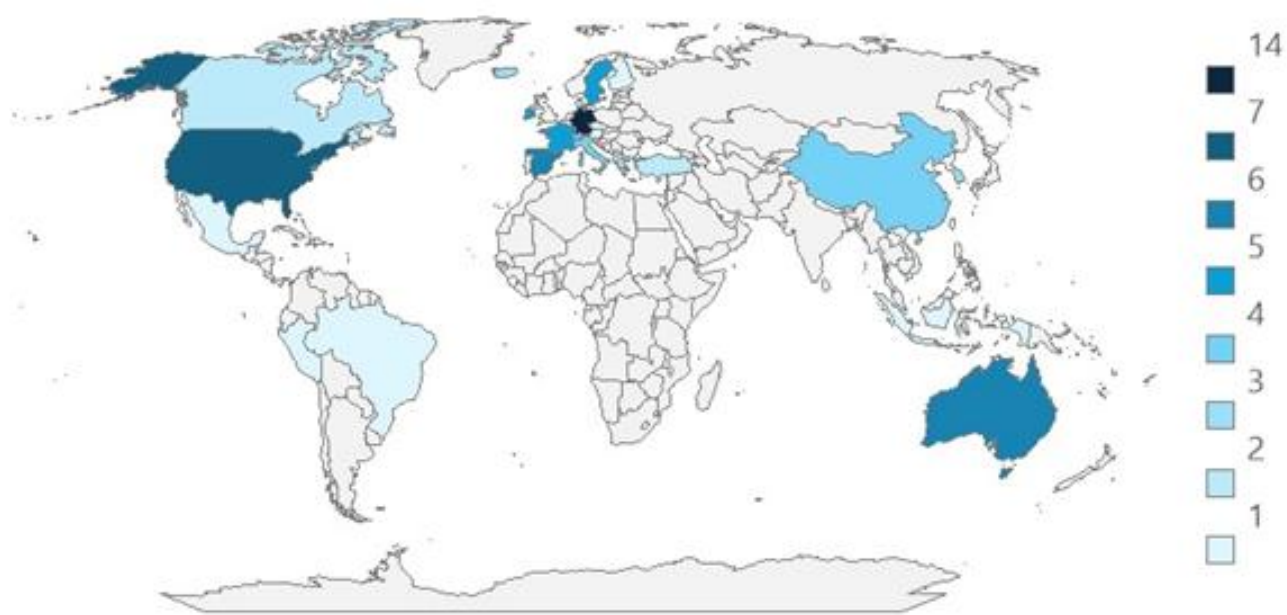
** Università degli Studi di Milano-Bicocca, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra (DISAT), Milano*

*** Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICA), Milano*

Palazzo Lombardia – Sala Biagi

20 ottobre 2025

Presenza di MIE nelle acque reflue

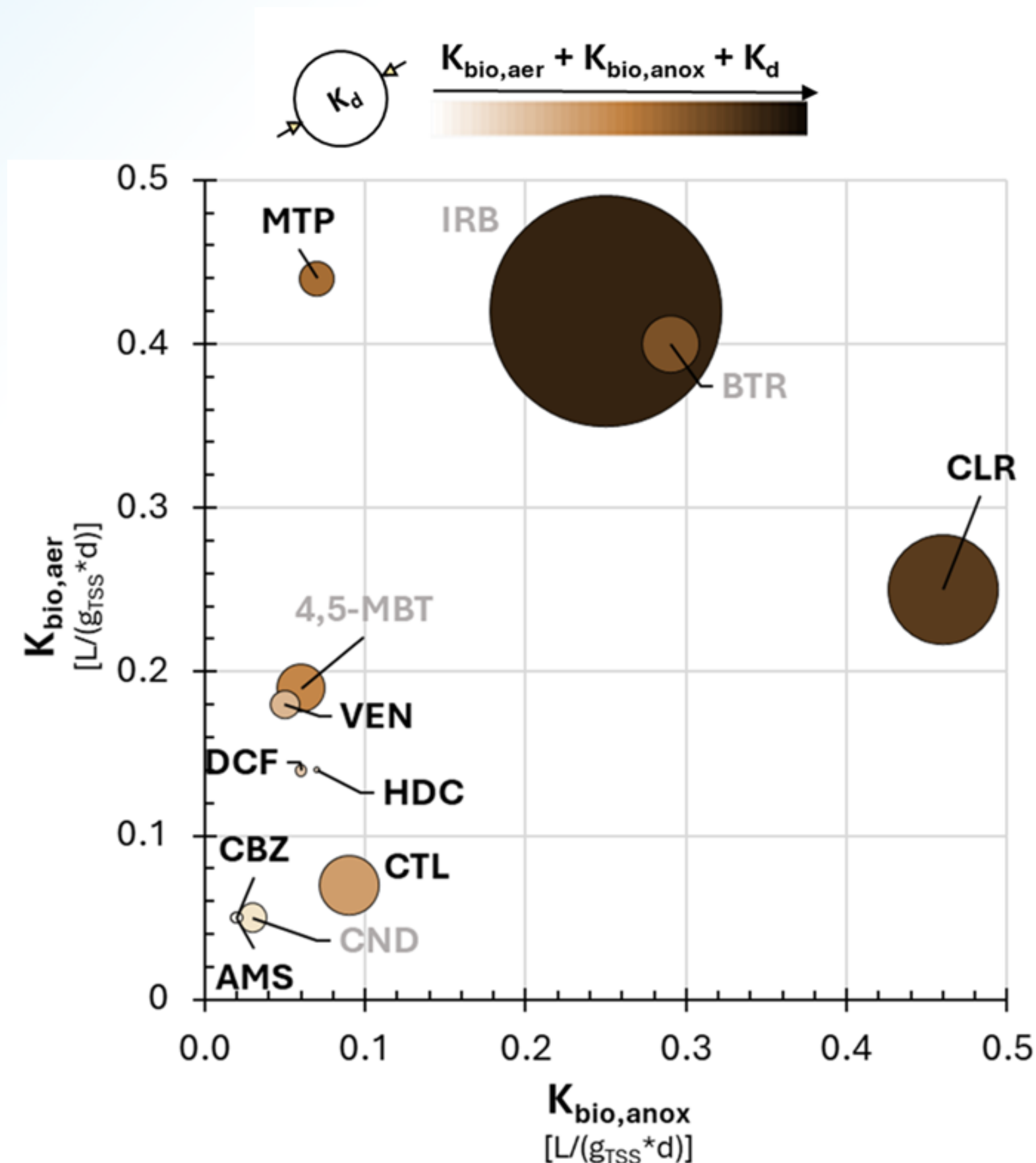


MIE da rimuovere per almeno l'80% dalle acque reflue secondo la nuova Direttiva 3019/2024/UE

	Composto	Abbreviazione	N. CAS	Categoria	Tipologia d'uso
4 Categoria 1	Amisulpride	AMS	71675-85-9	1	Antipsicotico
	Carbamazepina	CBZ	298-46-4	1	Antiepilettico
	Citalopram	CTL	59729-33-8	1	Antidepressivo
	Claritromicina	CLR	81103-11-9	1	Antibacterial
	Diclofenac	DCF	15307-86-5	1	Antinfiammatorio
	Idroclorotiazide	HDC	58-93-5	1	Antipertensivo
	Metoprololo	MTP	37350-58-6	1	Antipertensivo
2 Categoria 2	Venlafaxina	VEN	93413-69-5	1	Antidepressivo
	Benzotriazolo	BTR	95-14-7	2	Inibitore della corrosione
	Candesartan	CND	139481-59-7	2	Antipertensivo
	Irbesartan	IRB	138402-11-6	2	Antipertensivo
	4,5-Metilbenzotriazolo *	4,5-MBT (MBT)	29878-31-7/136-85-6	2	Inibitore della corrosione

* Miscela di 4-Metilbenzotriazolo (Codice 4MBT) e 5-Metilbenzotriazolo (Codice 5MBT), talvolta indicata come MBT.

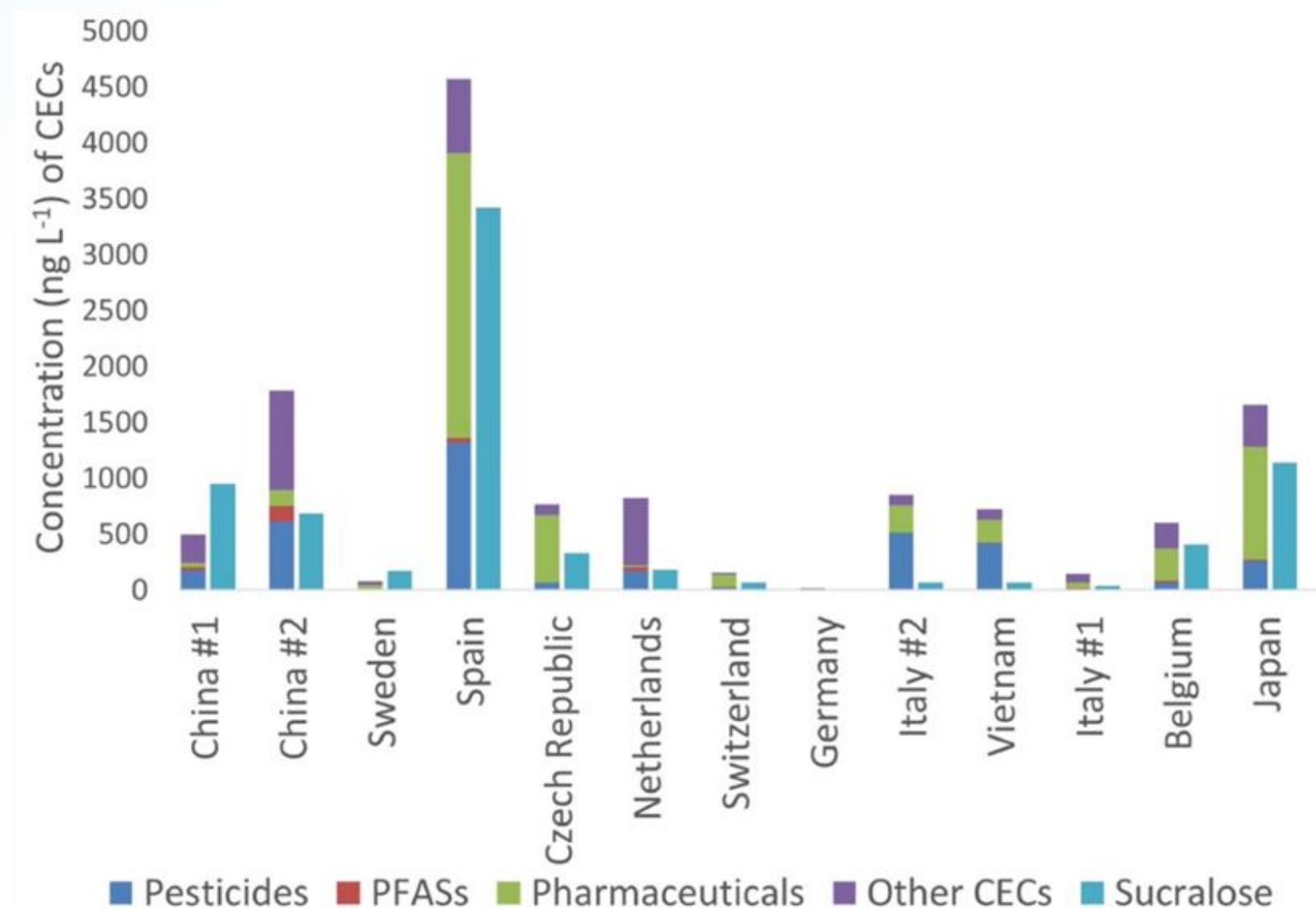
Mappa di idoneità al trattamento biologico



Rimozione maggiore per
irbesartan,
benzotriazolo e
claritromicina, minima
per carbamazepina,
candesartan,
amisulpride, diclofenac
e idroclorotiazide

Concentrazioni di MIE in acque potabili grezze e trattate

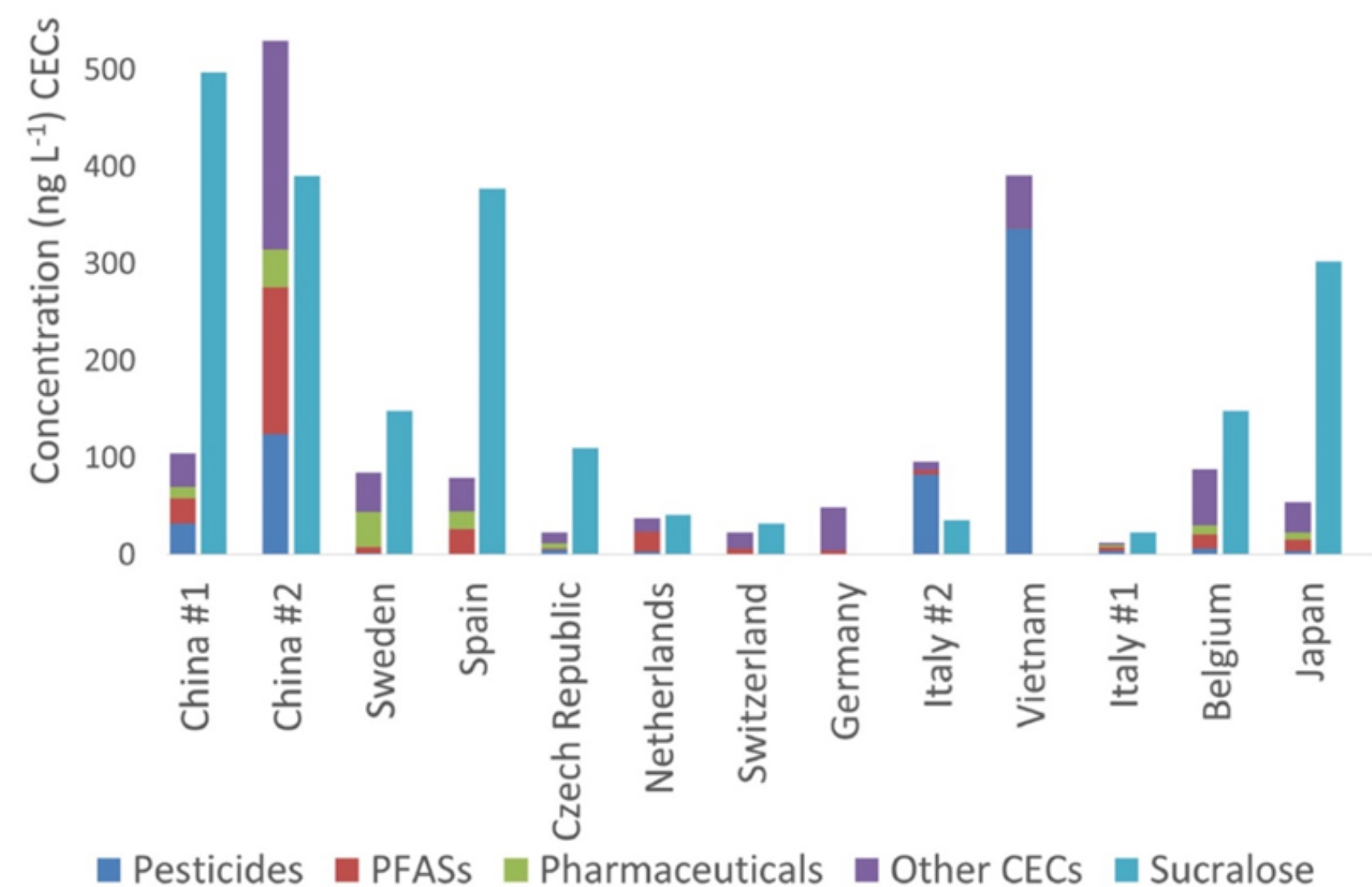
177 composti analizzati (farmaci, pesticidi, PFAS e altri) in acque in ingresso e in uscita da 13 impianti di potabilizzazione in Europa e in Asia



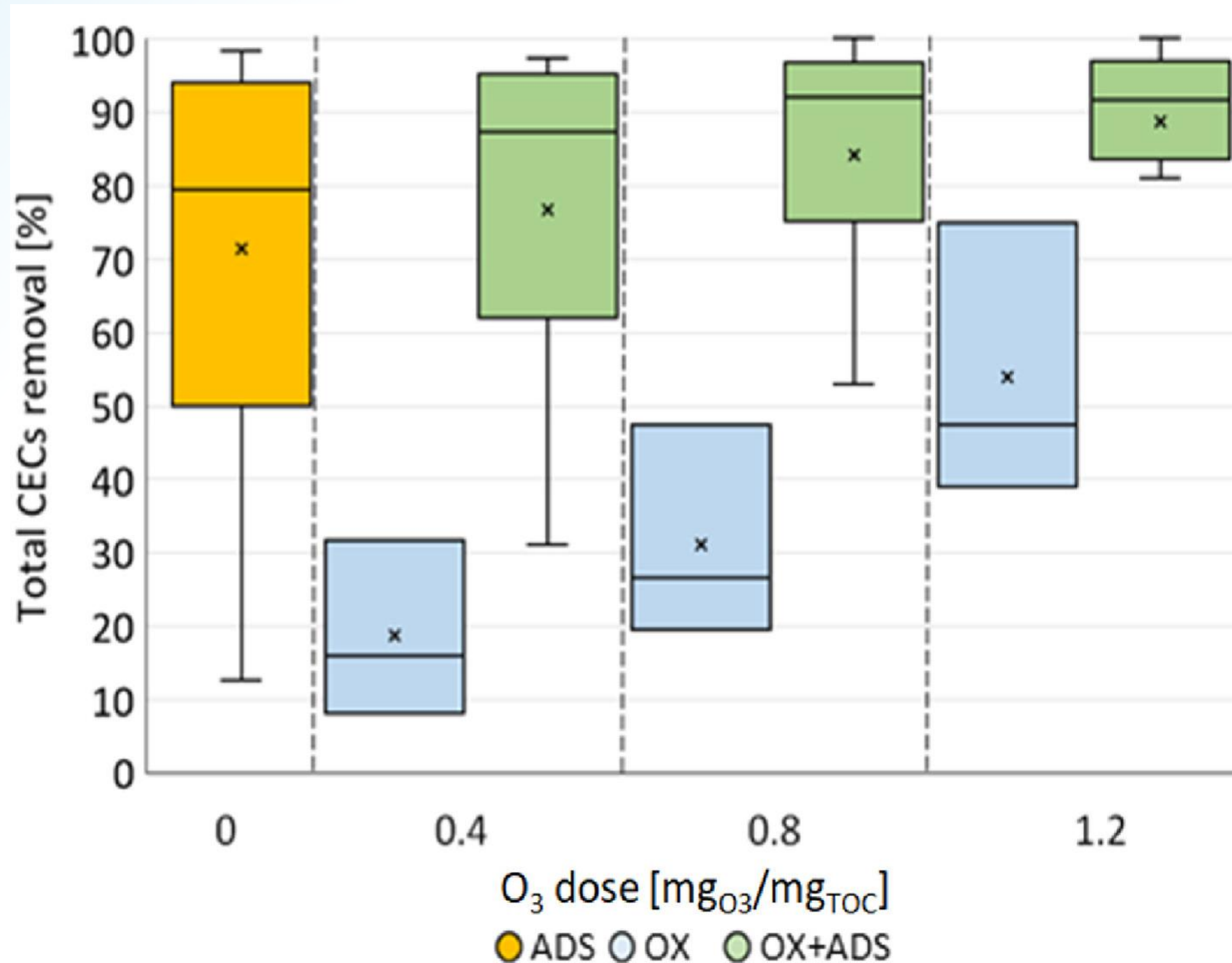
- 115 composti in almeno un campione di acqua grezza (media 44)
- Distribuzione di MIE diversa nei diversi Paesi: in Svezia prevalenza di farmaci, ma concentrazioni già molto basse nell'acqua grezza

Concentrazioni di MIE in acque potabili trattate

- 58 composti in almeno un campione
- Numero di MIE tra 11 (campione Italia #2) e 35 (Cina #2), media di 19 (± 8)
- PFAS la categoria più rappresentata in 8 campioni (in media 6 composti per impianto). Almeno 3 PFAS (tra i quali PFOA e PFHpA) in tutti i campioni dopo trattamento
- Limite svedese di 90 ng/L per $\Sigma 11$ PFAS (PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFBS, PFHxS, PFOS, and 6:2 FTSA) superato solo nell'acqua trattata del sito Cina #2 (150 ng/L)



Rimozione di MIE dalle acque potabili



Ad oggi la soluzione più affidabile consiste nella sequenza ozonizzazione + carbone attivo ma le prestazioni dipendono dal tipo di molecole da rimuovere e dalle condizioni operative dei processi

Considerazioni riassuntive

- La contaminazione da MIE in acque reflue e potabili è estremamente variabile quantitativamente e qualitativamente
- La rimozione di MIE dalle acque reflue implica l'adozione di trattamenti quaternari in sequenza con conseguente aggravio di costi e di consumi energetici
- La presenza di MIE nelle acque di falda è molto minore e i trattamenti normalmente adottati per la potabilizzazione (adsorbimento su carbone attivo e ozonizzazione) forniscono prestazioni soddisfacenti. Tuttavia i dati analitici sono meno numerosi per le acque potabili che per le acque reflue
- Sussiste un rilevante problema analitico che pone un notevole margine di incertezza sulle conoscenze e che rende ancora molto incerto il destino dei MIE nei fanghi di depurazione
- La contaminazione e la rimozione di PFAS presentano ancora forti criticità legate alla determinazione analitica e alle conoscenze tossicologiche e ecotossicologiche

MICROPLASTICHE: a che punto siamo ?

Sono incluse in Watch List Europee ?

Non nella 5a proposta di Watch List della WFD

Dovrebbero essere incluse nell'aggiornamento della 1a Watch List DWD

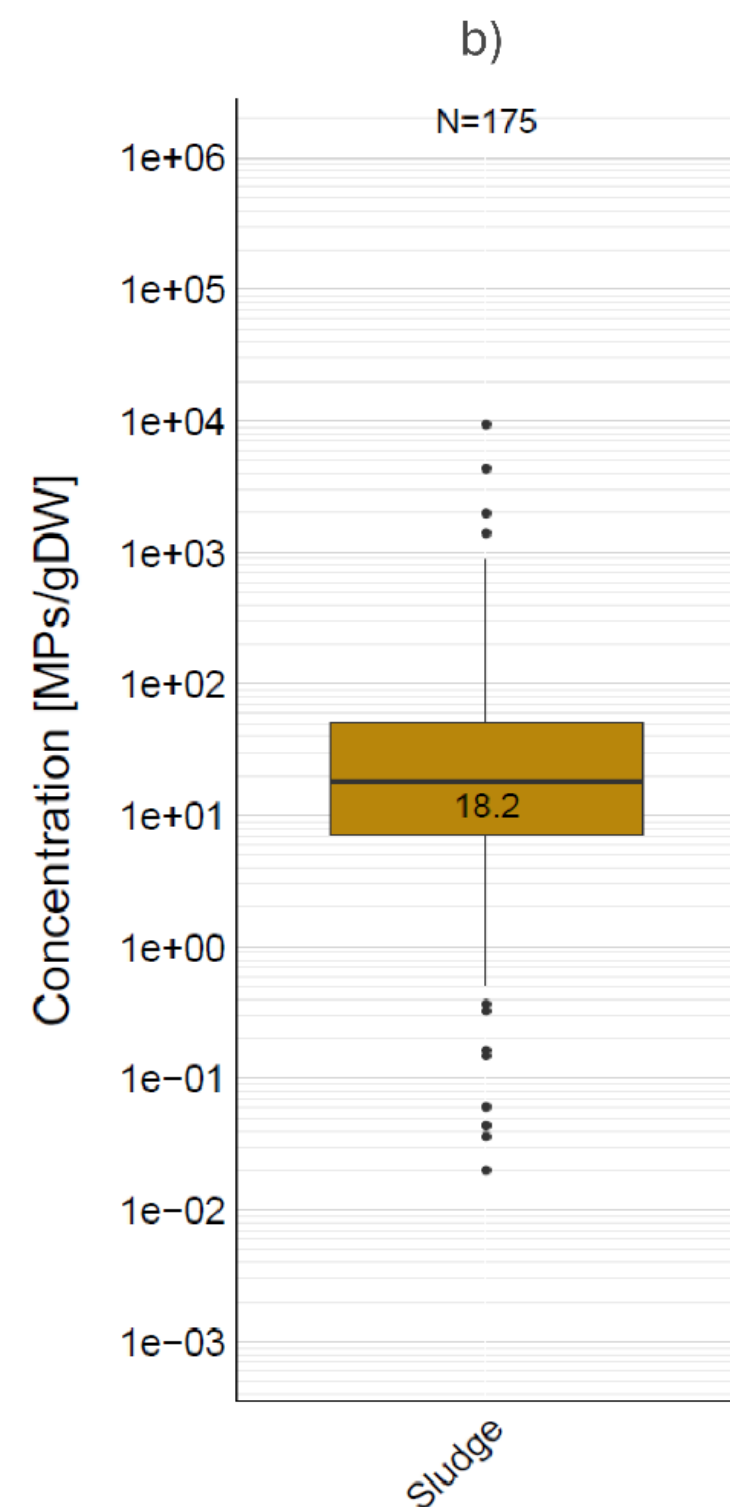
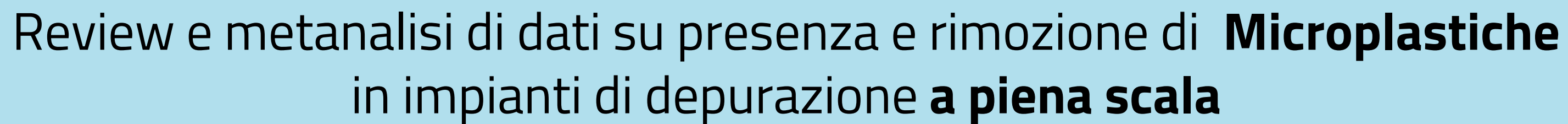
Ci sono metodi di campionamento e analisi ufficiali ?

Si', per acque destinate a consumo umano (Decisione 2024/1441)

Devono essere monitorate negli impianti di depurazione ?

Si', ingresso e uscita, $P > 10.000$ (art.21, comma 3 UWWTD, 2024/3019)

+ sfioratori piena per agglomerati art.5 (art.21, comma 2 UWWTD, 2024/3019)



Journal of Environmental Chemical Engineering 13 (2025) 116812

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Journal of Environmental Chemical Engineering

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

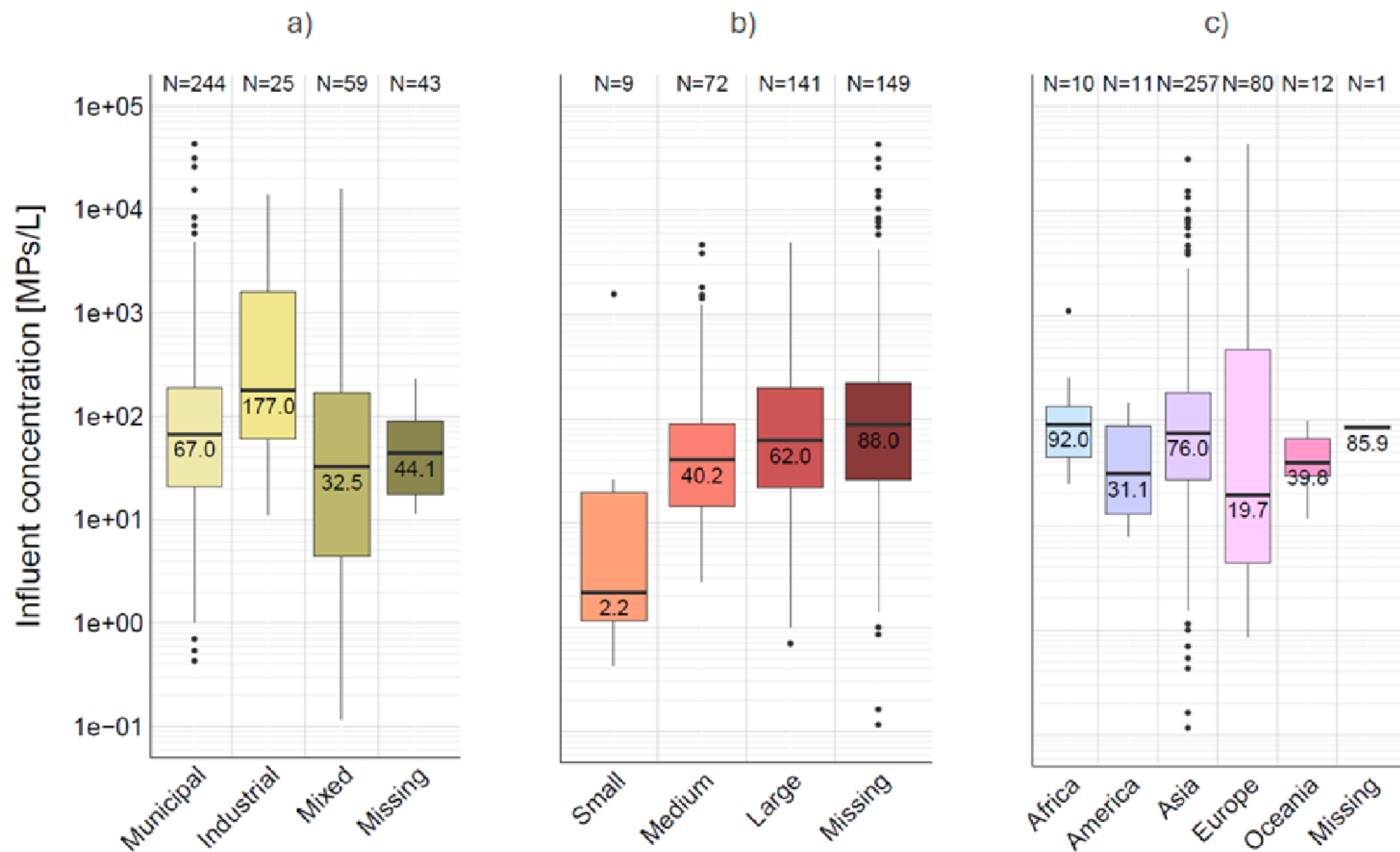
Removal of microplastics in wastewater treatment plants: insights from a literature meta-analysis

Alberto Zoccali , Beatrice Cantoni, Arianna Azzellino, Francesca Malpei

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

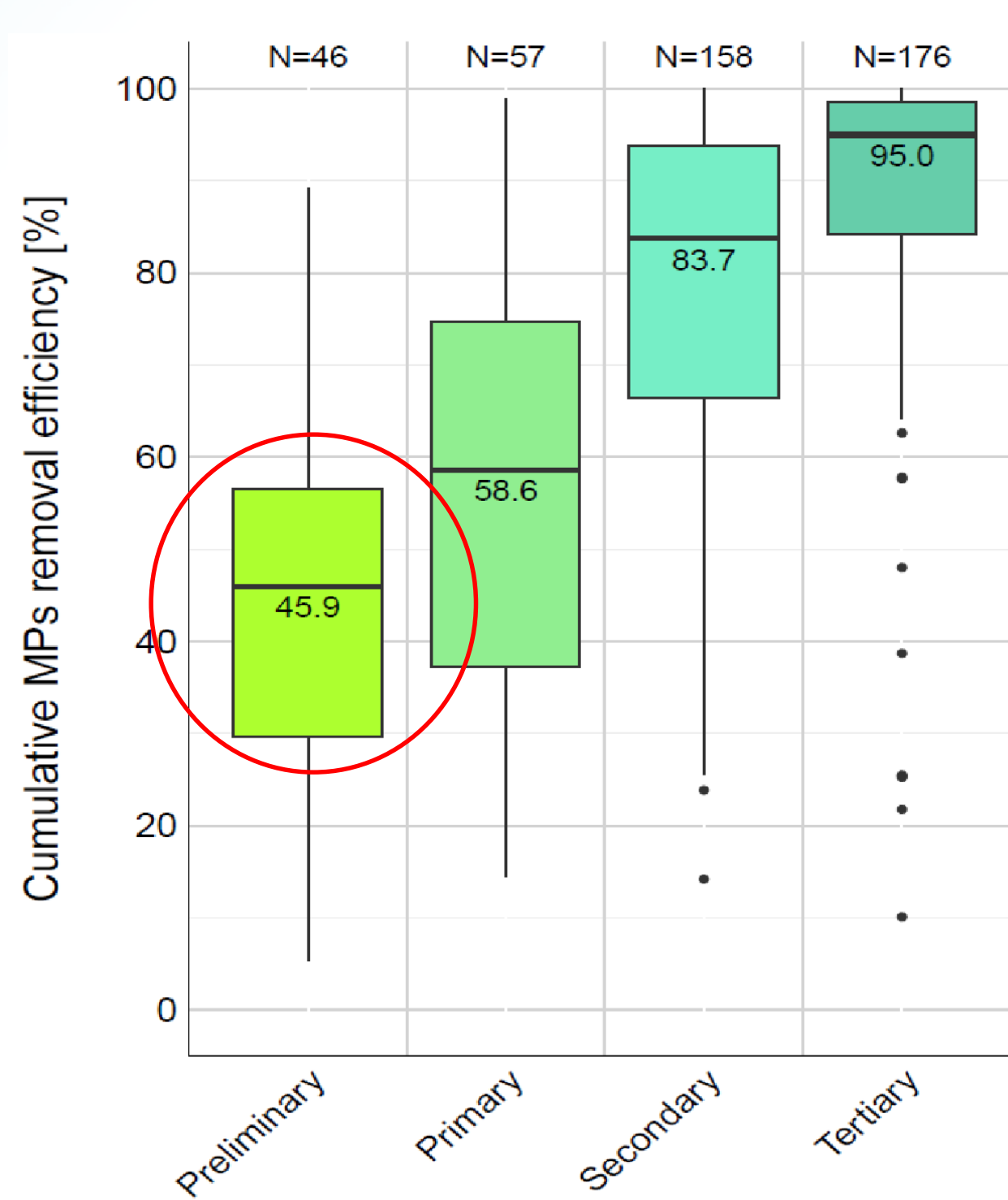


Review e metanalisi di dati su presenza e rimozione di MP in impianti di depurazione **a piena scala**

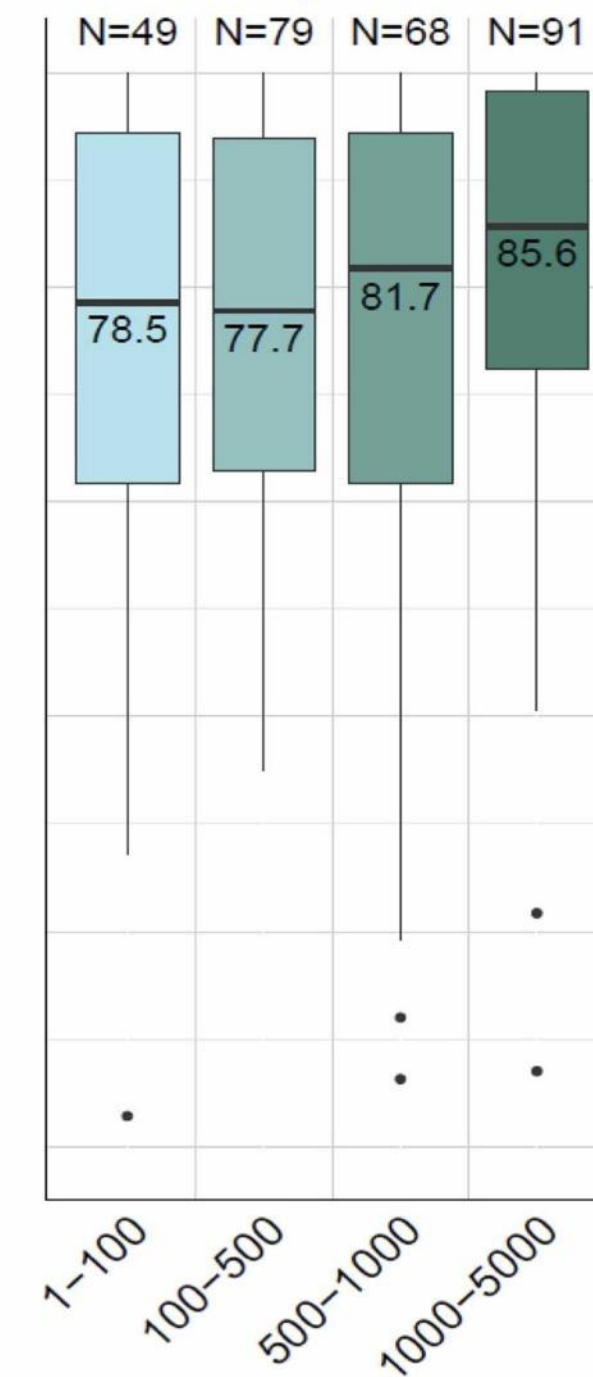




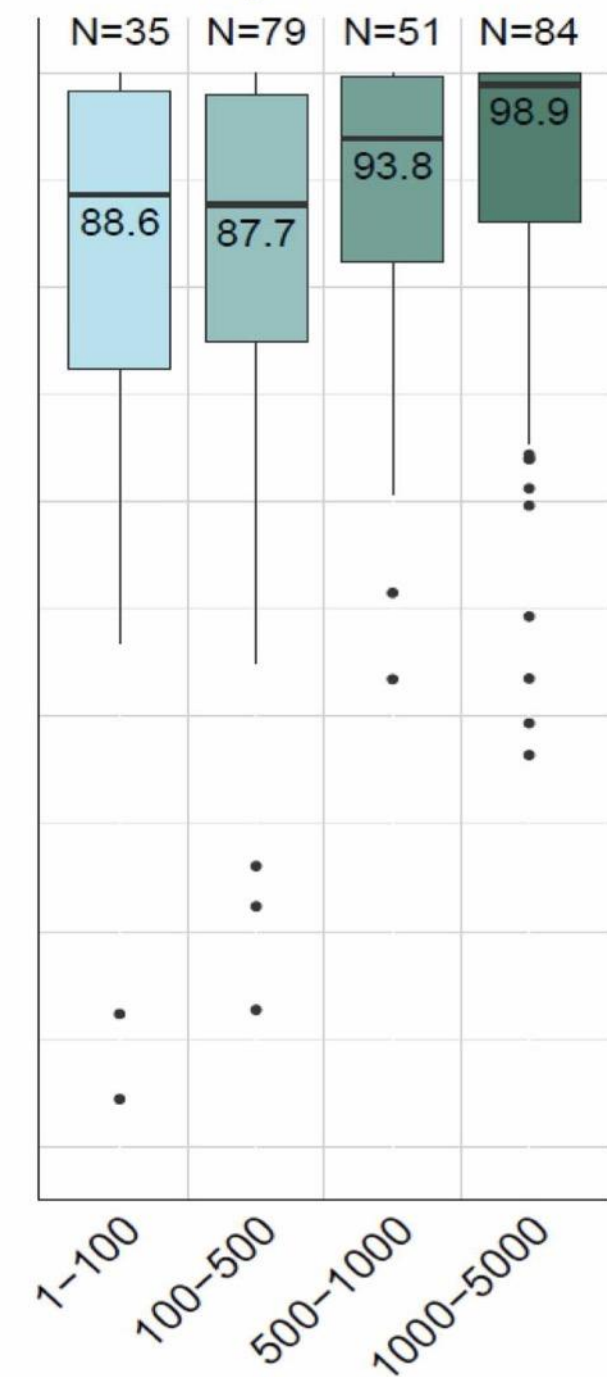
Review e metanalisi di dati su presenza e rimozione di MP in impianti di depurazione **a piena scala**



Secondary treatments



Tertiary treatments





Amplissima variabilità delle concentrazioni (e rimozioni)

Fattori intrinseci

→ determinano maggiori o minori apporti in fognatura

Fattori indiretti

- a) il valore misurato non rappresenta la realtà
- b) **diverse efficienze di rimozione tra ID (perchè ?)**



**Protocollo da stabilire sulle informazioni inerenti status & operation dell' ID,
da produrre in associazione ad ogni studio e rilievo in campo di MP !!**

Microinquinanti e ciclo idrico antropico

Molteplici vie di esposizione ed effetti: quali impatti per uomo e ambiente?



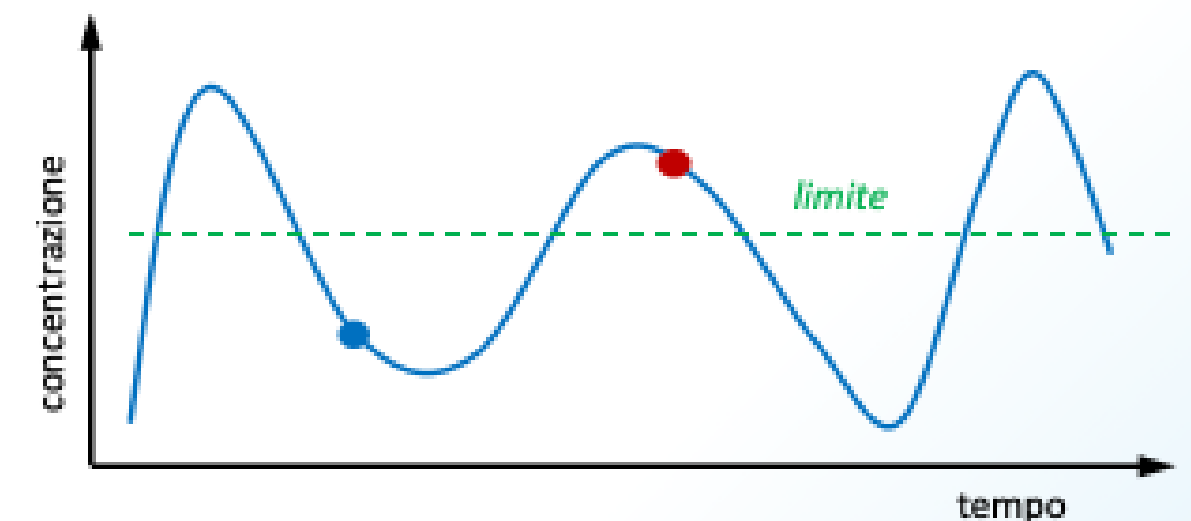
Analisi di rischio a supporto delle scelte tecnologiche

Identificazione di azioni di prevenzione e mitigazione del rilascio di MIE per un'allocazione ottimale delle risorse economiche per l'upgrade degli impianti

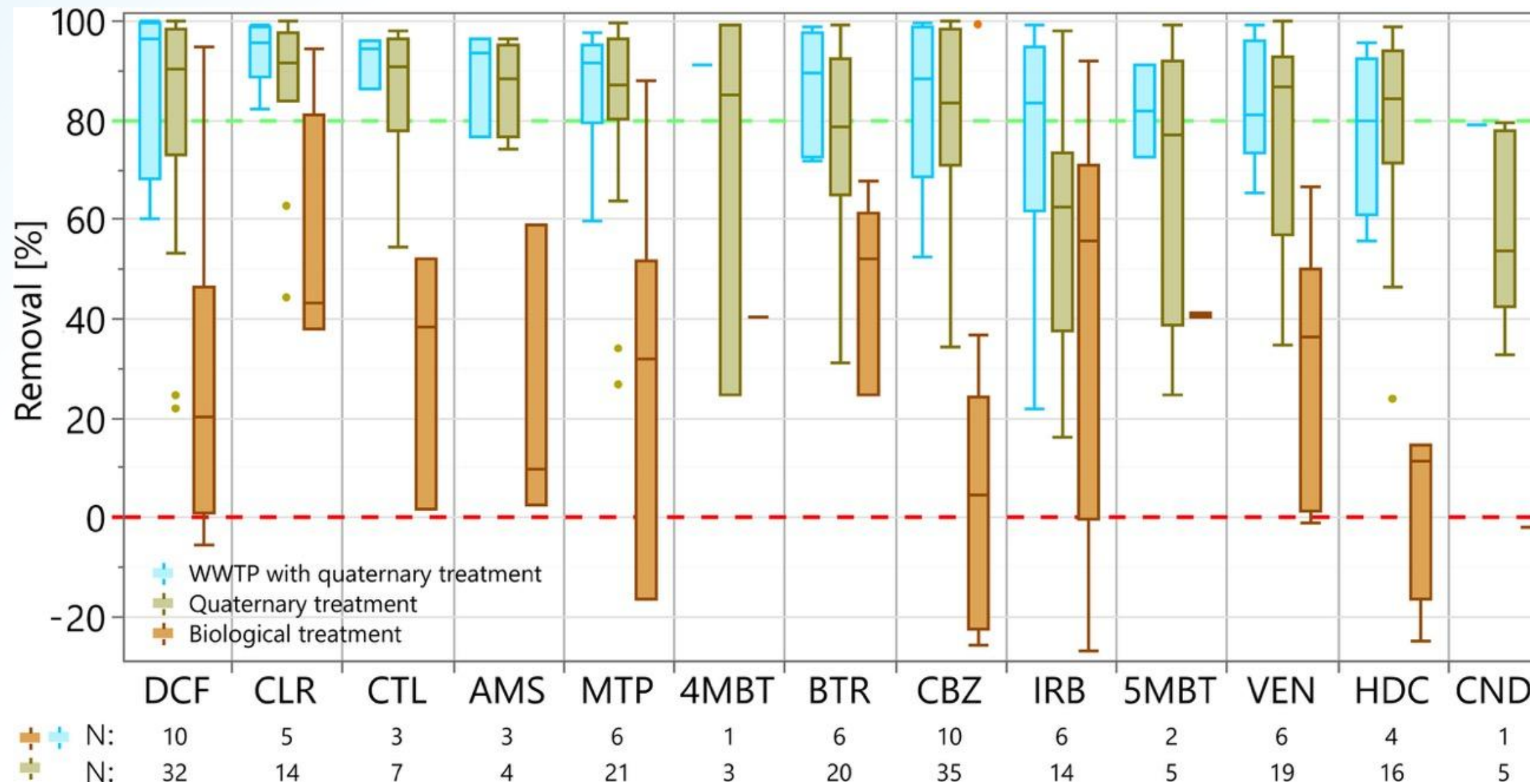
Definizione di piani di monitoraggio efficaci

Due esempi:

- Rimozione dei farmaci elencati nella Direttiva UWWTD
- Rimozione dei PFAS da acque reflue municipali e industriali

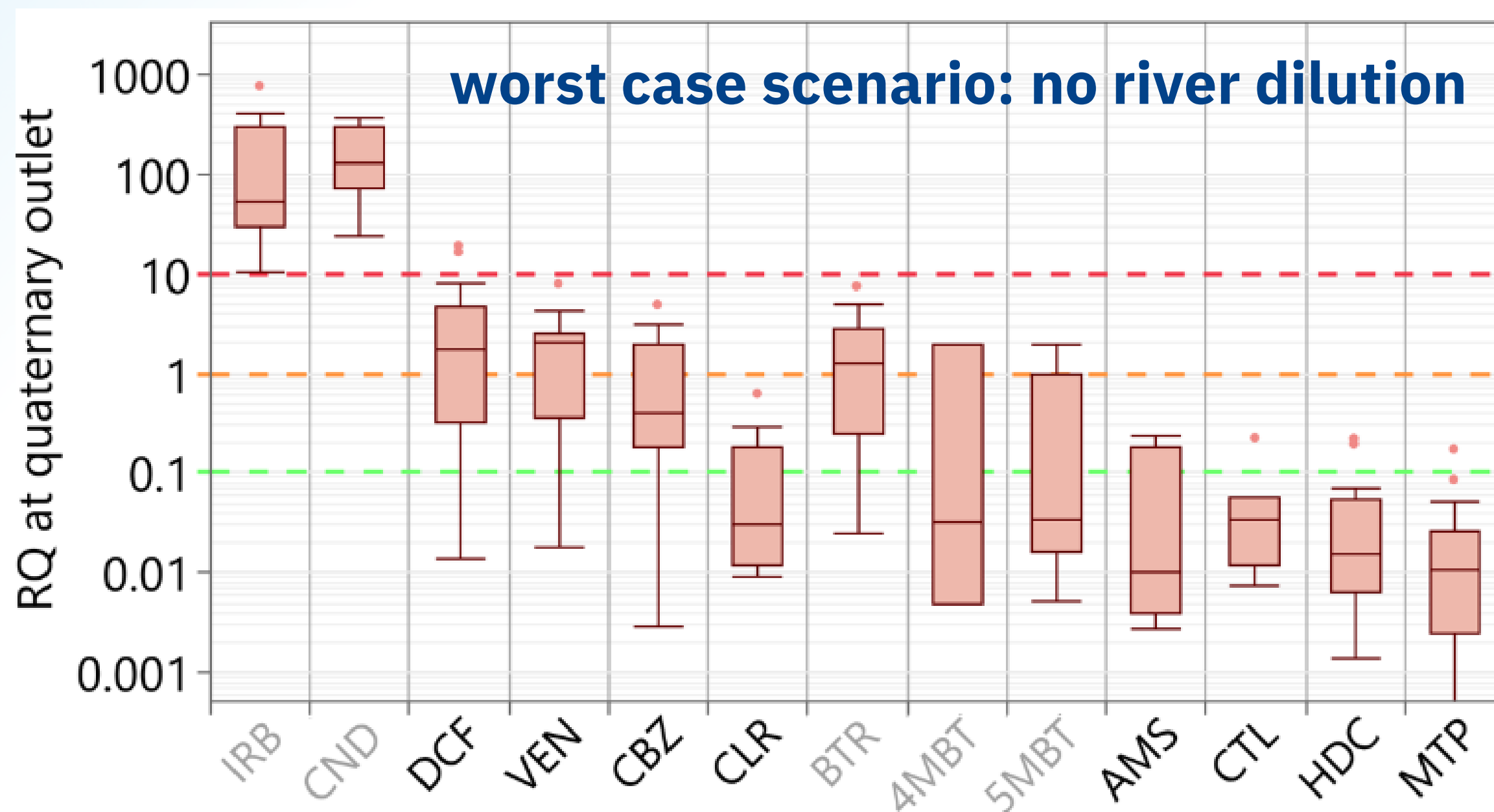


Rimozione dei MIE inclusi in direttiva



- Il **processo biologico** è adeguato solo per alcuni contaminanti (CLR)
- L'80% di rimozione può essere raggiunto solo in presenza di **trattamenti quaternari**
- CND e IRB sono i più “refrattari” ai **trattamenti quaternari**

Rimozione dei MIE inclusi in direttiva



$$RQ = \frac{C_{\text{exp}}}{PNEC}$$

PNEC: <http://www.norman-network.net/>

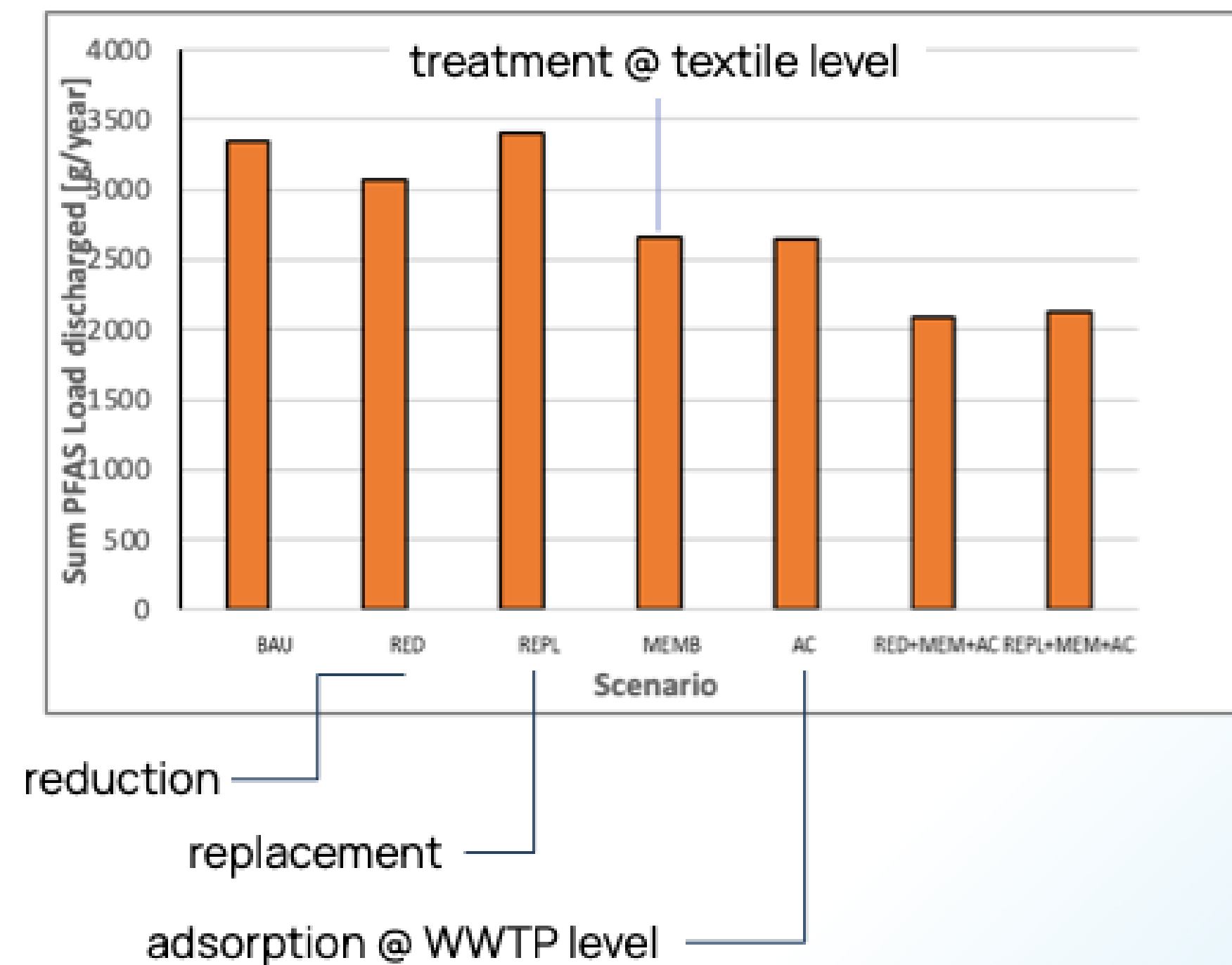
- **Presenza di rischio:** IRB, CND, DCF, VEN
- **Rischio elevato (>10)** anche rimuovendo CND e IRB
- **Nessun rischio** anche alla concentrazione influente: 4MBT, 5MBT, AMS, CTL, HDC, MTP)

Rimozione di PFAS da acque reflue

Distretto tessile comasco: reflui industriali e municipali

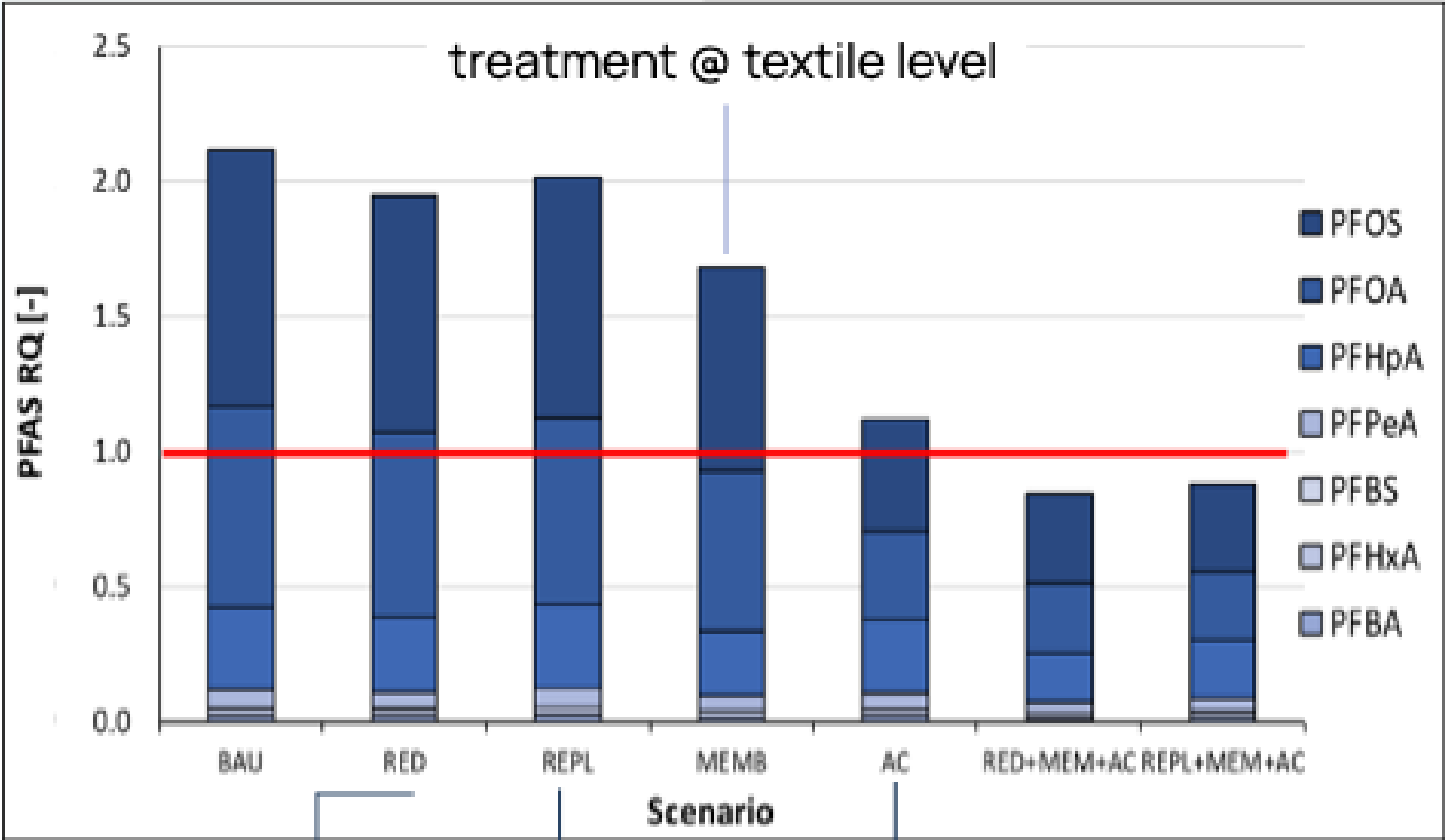
- 10 scenari a confronto con lo scenario BAU (Business As Usual)
- 8 PFAS (catena lunga e catena corta)
- Analisi di rischio per miscele
- Target: Environmental Quality Standards (EQS) per le acque superficiali (EU Parliament, 2022):
- $EQS_{PFAS,TOT} = 0.0044 \mu\text{g/L PFOA-eq}$

approccio basato sui carichi



Rimozione di PFAS da acque reflue

approccio basato sul rischio

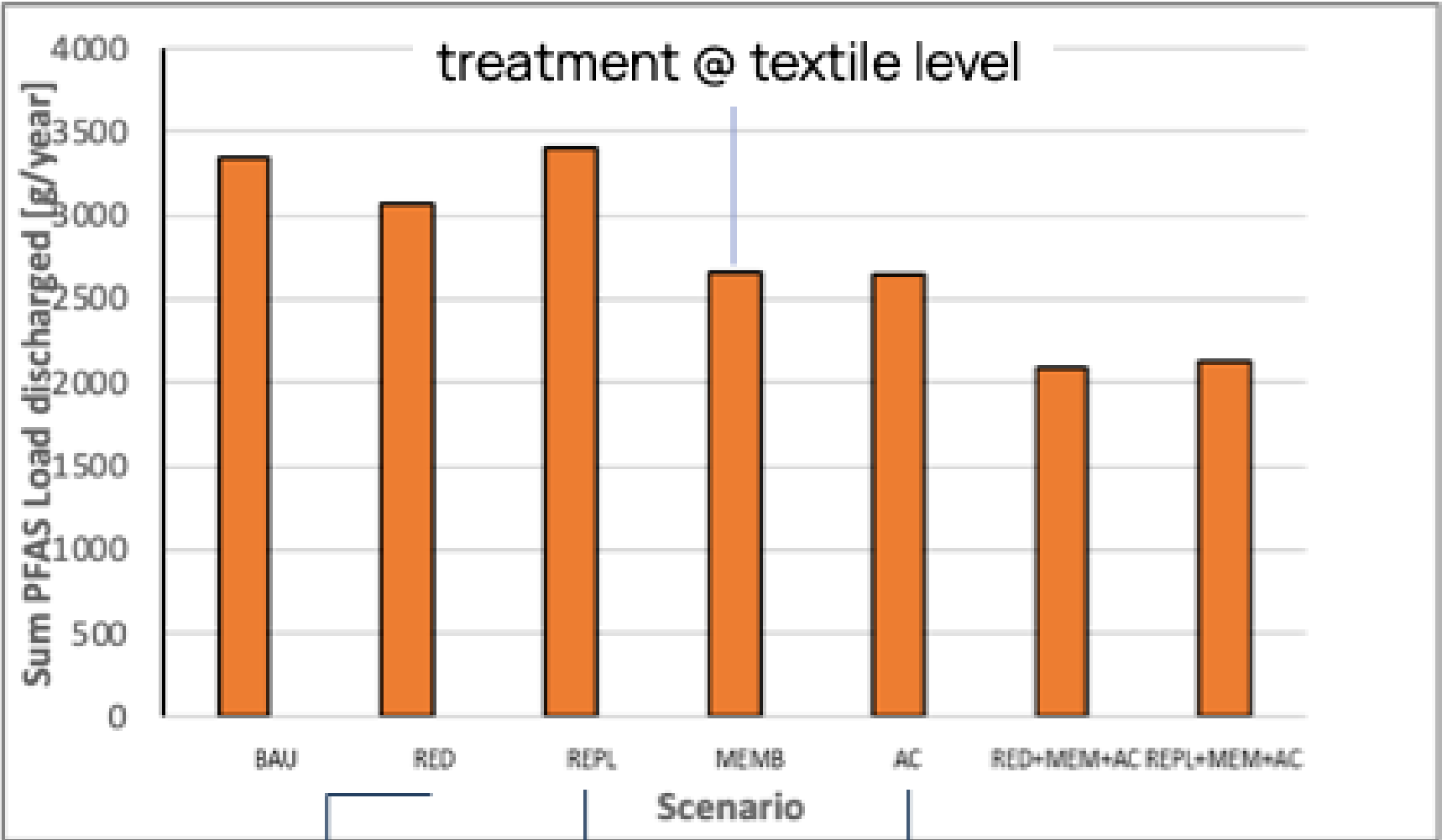


reduction

replacement

adsorption @ WWTP level

approccio basato sui carichi



reduction

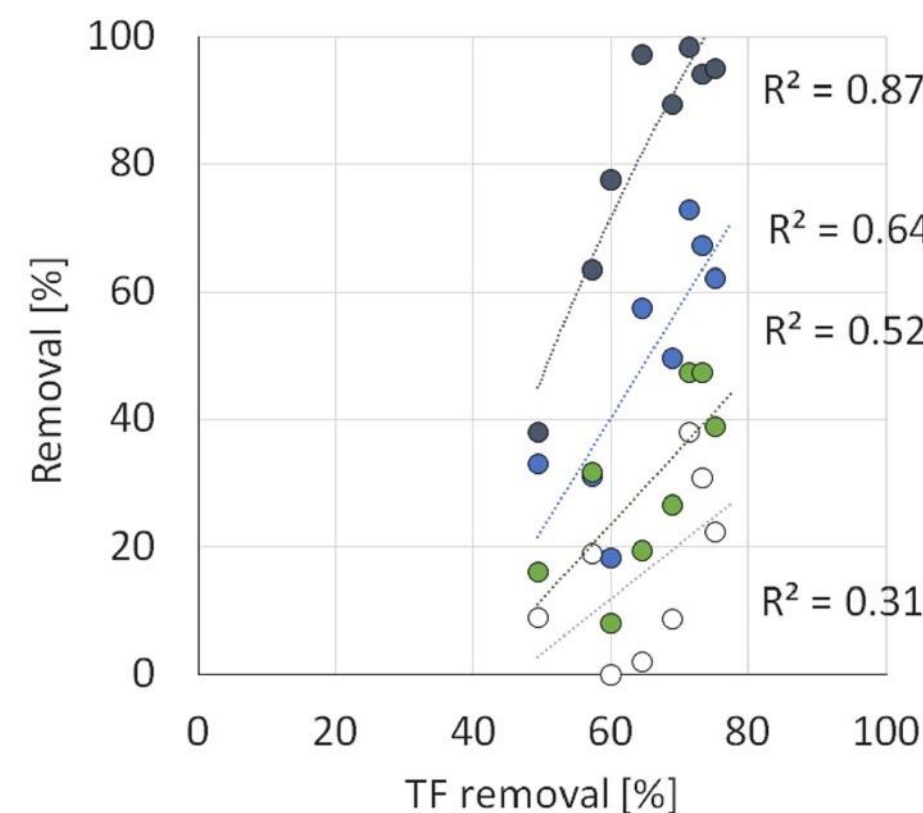
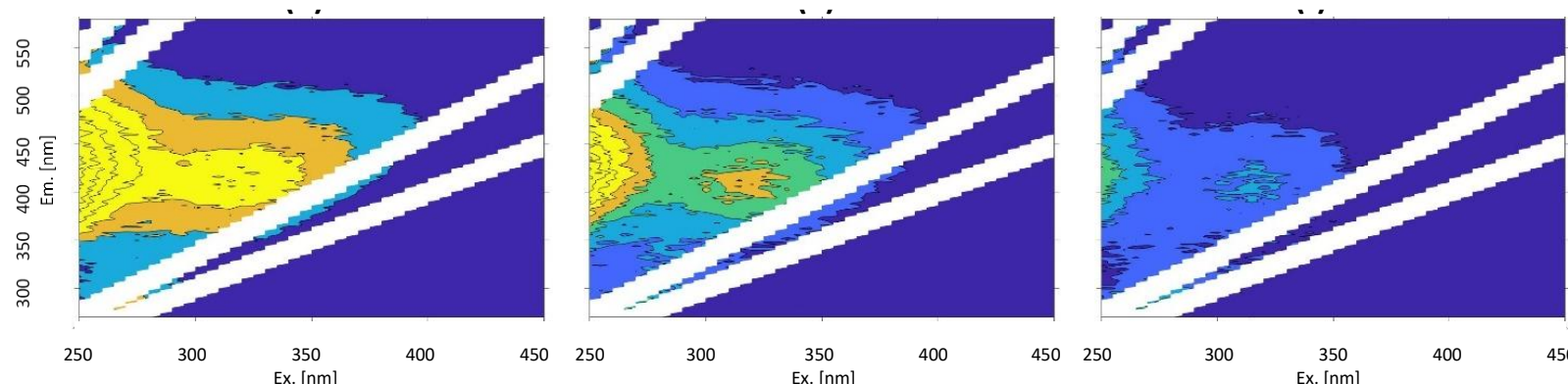
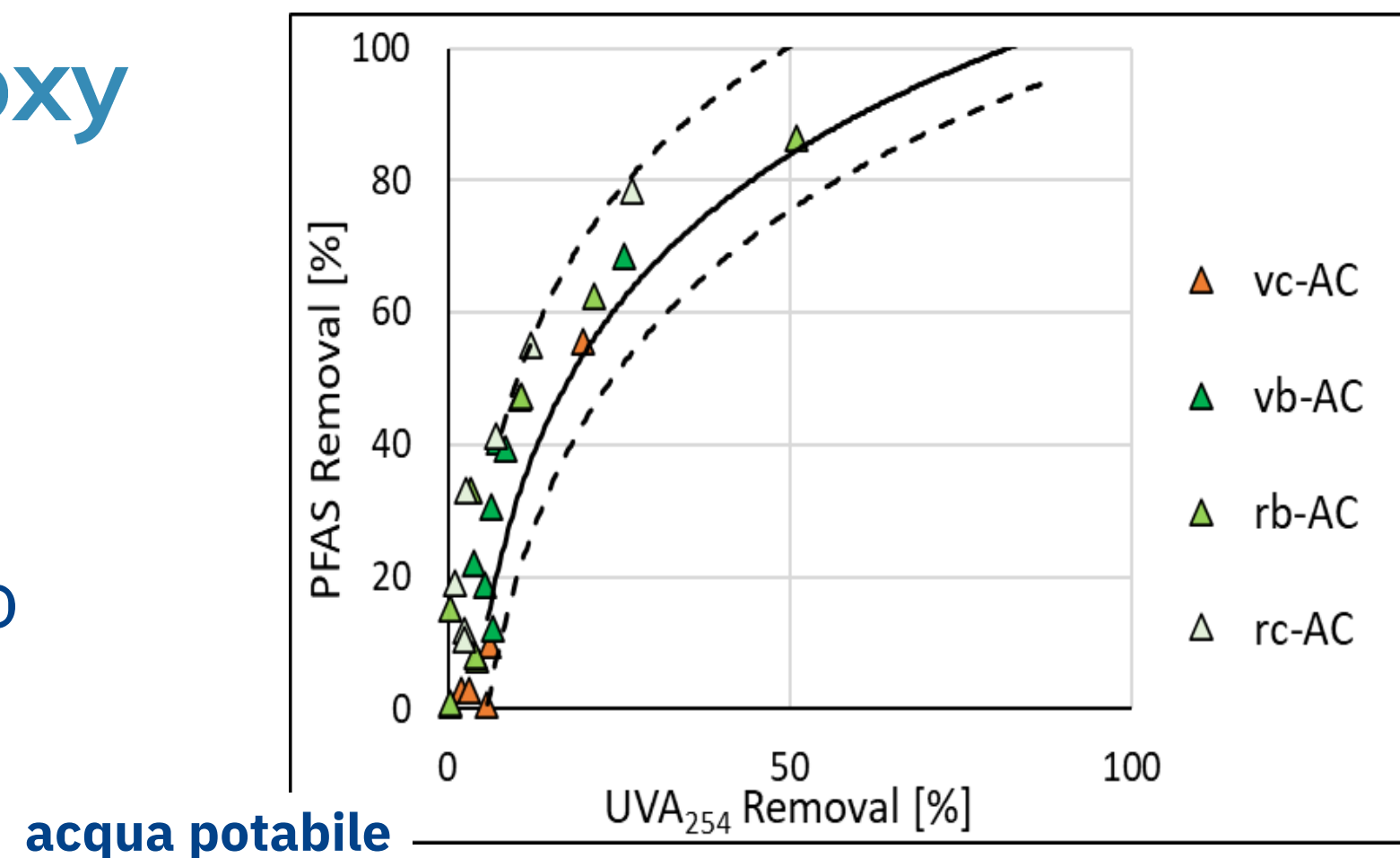
replacement

adsorption @ WWTP level

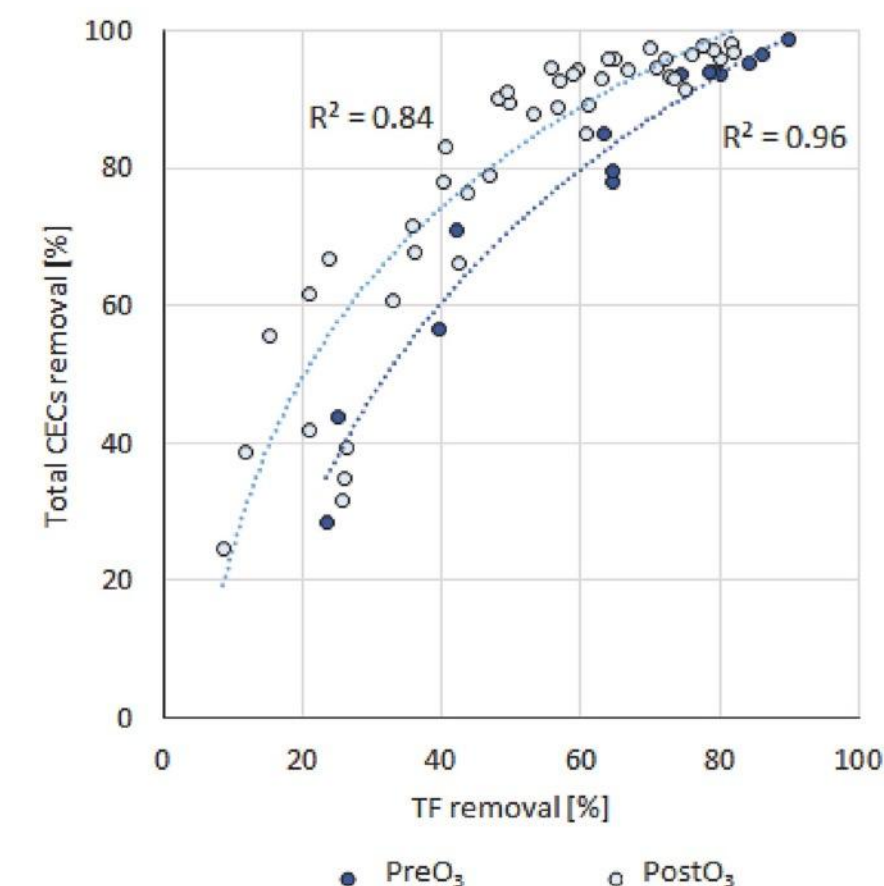
Controllo di processo: variabili proxy

Analisi dei MIE costosa e non rapida:

- parametri surrogati per i quali è possibile il monitoraggio tramite strumenti on-line
- sensori virtuali (➡ soft sensors) che sfruttano l'intelligenza artificiale applicata a sensori a basso livello informativo



● Highly-oxidizable ● Medium-oxidizable
○ Poorly-oxidizable ● Total CECs



<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148821>

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119537>

In sintesi ...

- Necessario un approccio integrato alla rimozione dei MIE per individuare le strategie più efficaci
- L'implementazione di scenari *what-if* è una buona prassi per guidare il processo decisionale
- Indispensabile il controllo di processo per minimizzare costi e esternalità mediante integrazione di sensori e machine learning



Grazie per l'attenzione

CONTATTI

valeria.mezzanotte@unimib.it

francesca.malpei@polimi.it

manuela.antonelli@polimi.it