

Sfide tecnologiche

Nella gestione di acque contaminate da PFAS

Carlo Bianco

Ricercatore Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI) - Politecnico di Torino

Rajandrea Sethi e CWC



Politecnico
di Torino



Promuove **approcci e tecnologie innovative** per affrontare le numerose sfide legate all'**approvvigionamento sostenibile dell'acqua**.

Integra **competenze multidisciplinari** in ingegneria dei materiali, meccanica dei fluidi, sistemi di energia rinnovabile, tecniche di monitoraggio e processi di decontaminazione dell'acqua e degli ecosistemi acquatici.

E' composto da **> 20 docenti/ricercatori di diversi dipartimenti** tra i quali: Ambiente, Territorio ed Infrastrutture; Energia; Scienze Applicate e tecnologia; Elettronica



Oltre 60 progetti di ricerca su:

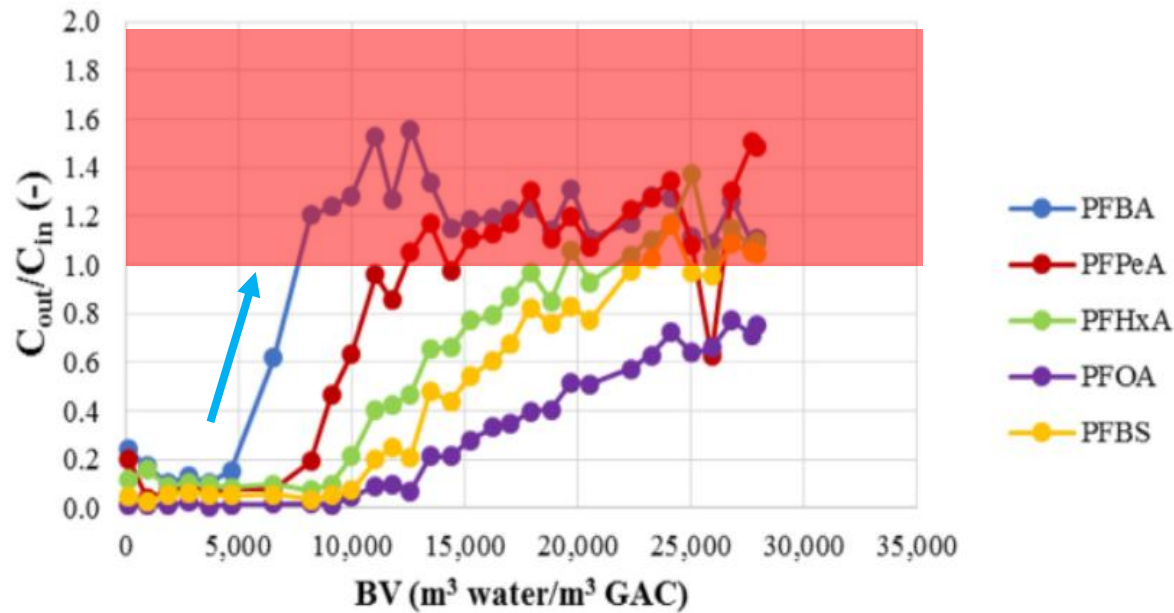
- Depurazione acque e desalinizzazione
- Riutilizzo acque
- Water/Energy nexus
- Managed Aquifer Recharge
- Nanoremediation
- Minimal/Zero liquid discharge
- Recupero di materiali/risorse
- Digital water
- Emerging contaminants
- Early warning



Carboni attivi per la rimozione dei PFAS dalle acque

- Diverse **tecnologie innovative** (incenerimento, ossidazione supercritica - SCWO, ossidazione elettrochimica, ball milling, plasma, sonochimica, fotochimica, trattamento alcalino idrotermale HALT, foam fractionation, ecc) **non del tutto mature o applicate su larga scala.**
- I **Carboni attivi (CA)** rappresentano l'approccio più comunemente impiegato per la rimozione dei contaminanti e di conseguenza dei **PFAS** dalle acque:
 - impianti di potabilizzazione, trattamento reflui, TAF -> GAC & PAC
 - in trattamenti di bonifica in-situ -> PAC, CAC
- La gestione ordinaria degli impianti di adsorbimento, dimensionati per altri contaminanti, spesso **non consente di trapiantare limiti normativi stringenti per i PFAS** (Regione Piemonte – L.R. n.25 19-10-2021) e/o si ha necessità di **frequenti sostituzioni** del materiale adsorbente.

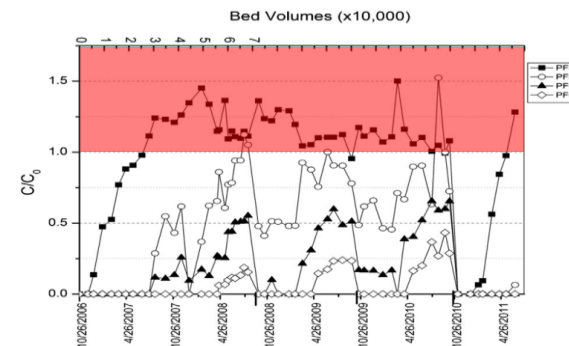




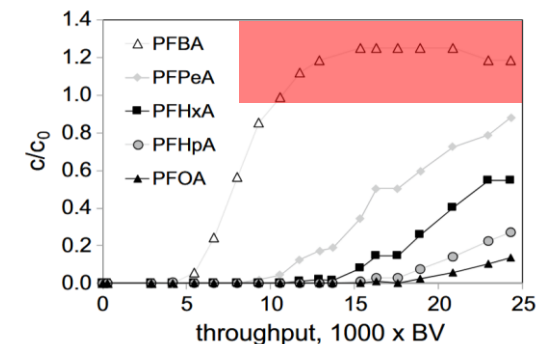
Impianto di depurazione nei pressi di Vicenza

- Rapido incremento dei PFAS a catena corta
- Concentrazioni superiori a quelle in ingresso !!

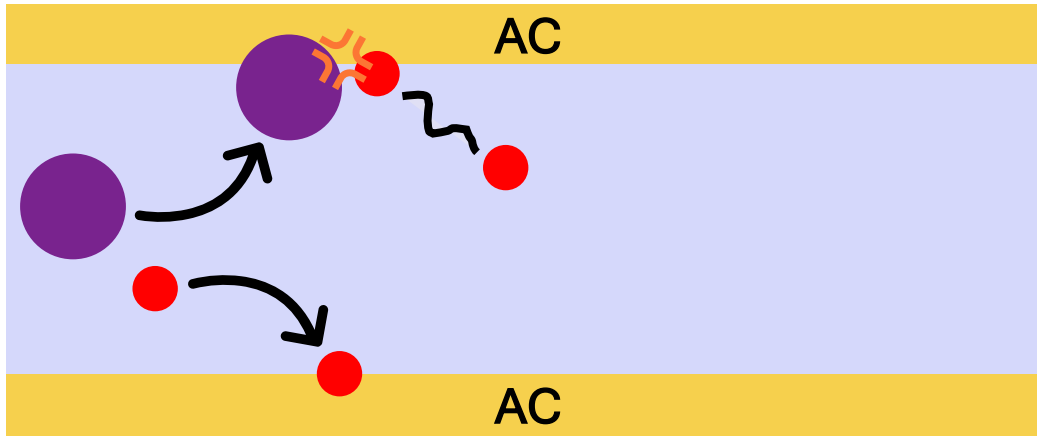
-> Fenomeni di competizione



Utility 20, USA. Appleman 2014

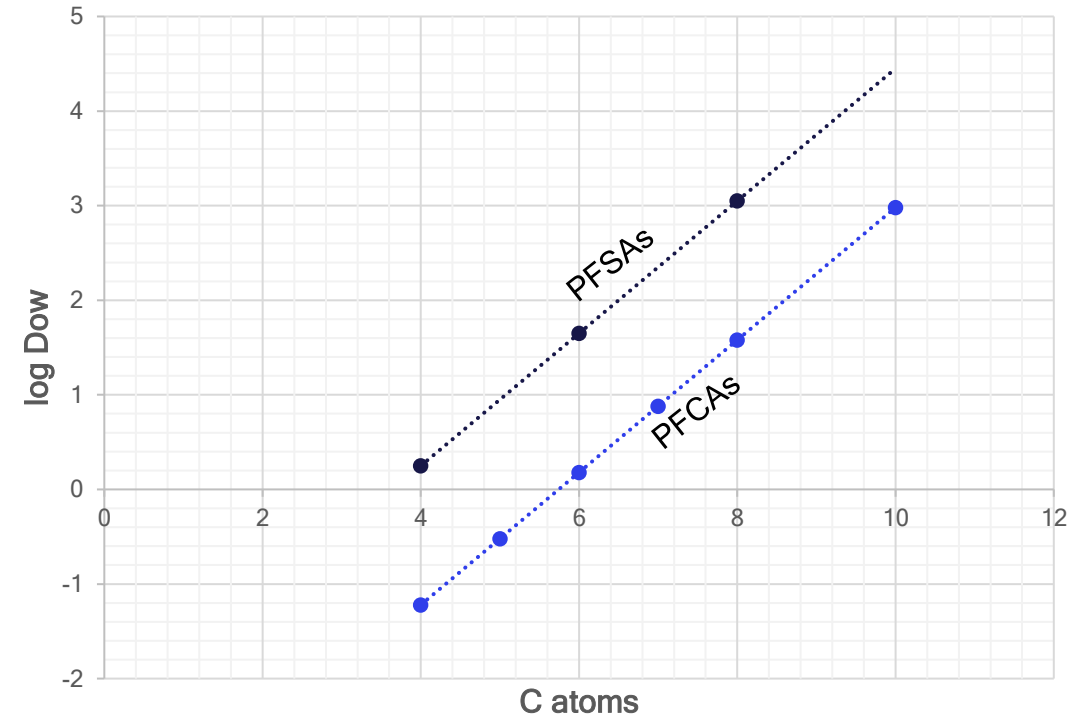


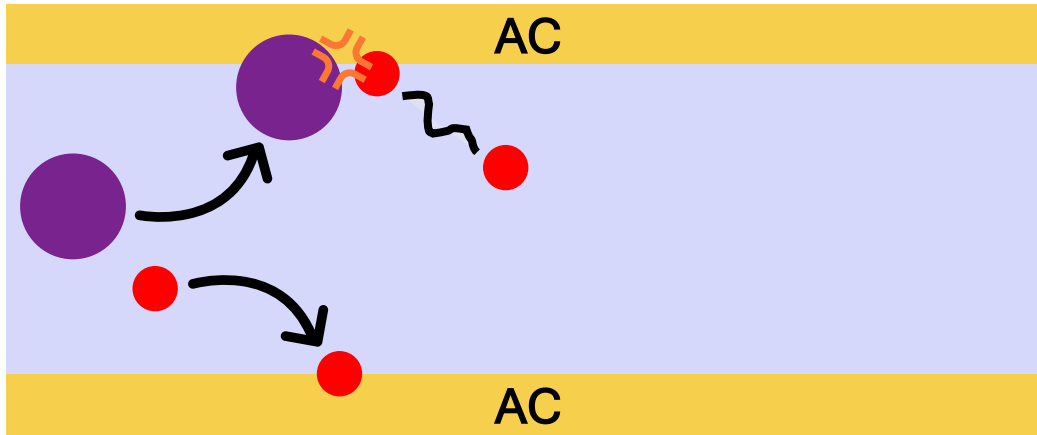
GW treatment plant, Germany



I composti più affini (alto D_{ow}) al CA **spiazzano** e **inibiscono** l'adsorbimento e spiazzano i composti meno affini.

Competitor tipici sono altri PFAS, inquinanti organici o DOC in genere.

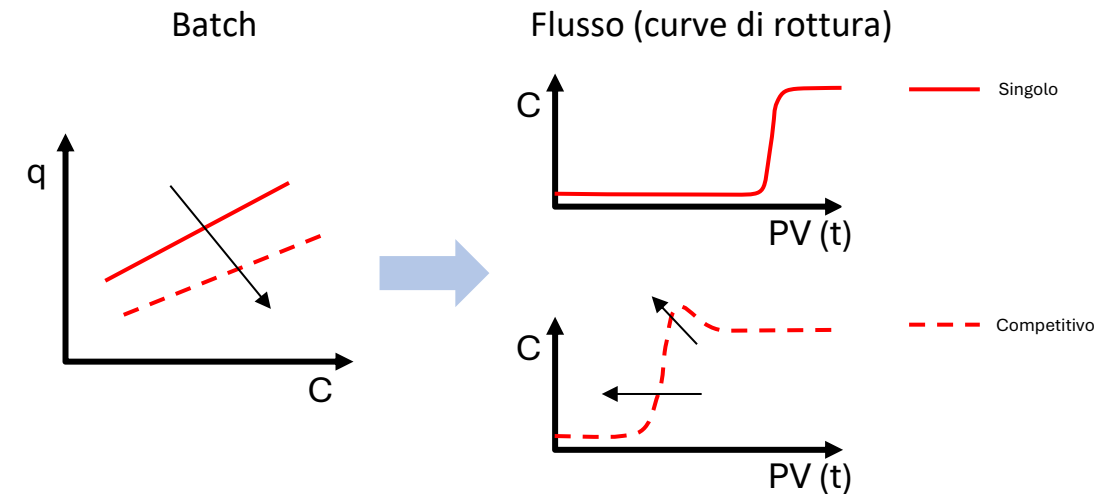




I composti più affini (alto D_{ow}) al CA **spiazzano** e **inibiscono** l'adsorbimento e spiazzano i composti meno affini.

Competitor tipici sono altri PFAS, inquinanti organici o DOC in genere.

Effetto della competizione



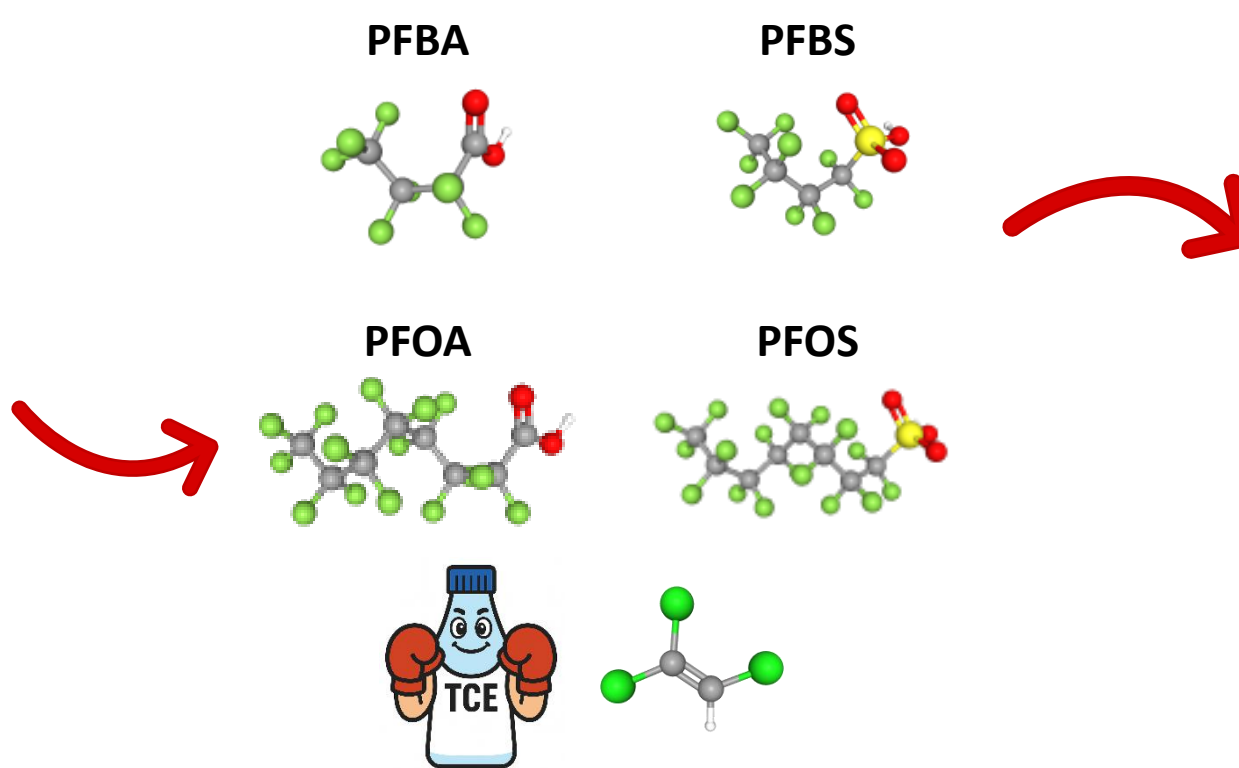
- Riduzione dell'affinità e della capacità di adsorbimento
- Breakthrough anticipata
- Picchi di concentrazione in uscita ($C_{out}/C_{in} > 1$)

Obiettivo della sperimentazione

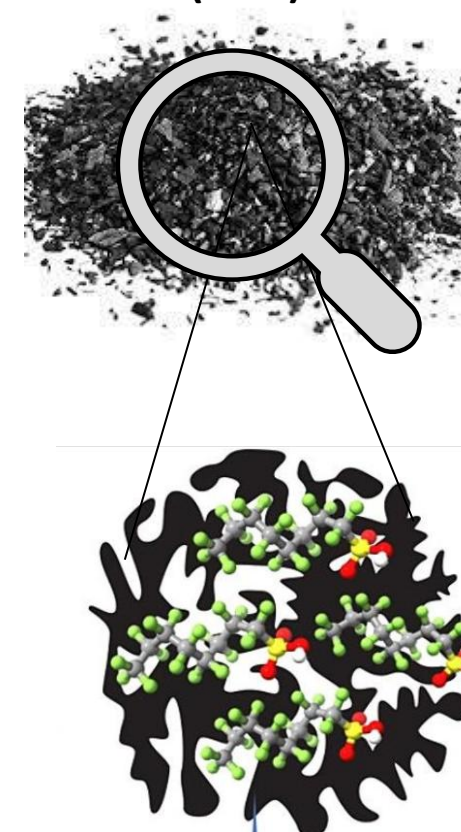
- Studiare l'efficacia di rimozione dei PFAS in impianti TAF esistenti e progettati per contaminanti diversi
- Valutare l'influenza della **competizione intraspecifica e interspecifica**
- Competitor: **tricloroetilene – TCE**, tipico contaminante target in impianti TAF.



Composto	VLE (µg/L)
PFBA	7
PFBS	3
PFOA	0.1
PFOS	0.00065



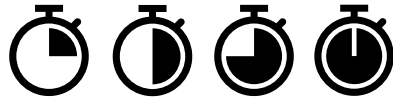
Carbone attivo granulare (GAC)



1. Aggiunta di GAC e DIW



3. Idratazione overnight



5. In agitazione



7. Prelievo campioni e analisi

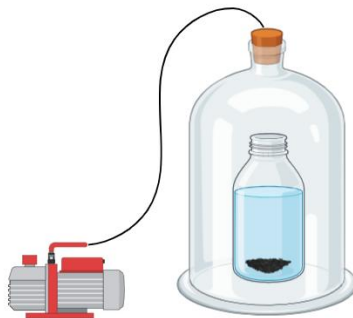
HPLC-MS/MS

(ASTM D7979-20)

GC-MS

(EPA 5021A 2014; EPA 8260D 2018)

2. Degasaggio GAC sottovuoto



4. Aggiunta di PFAS e/o TCE



6. Raccolta campioni



Test batch di adsorbimento

TEST SINGOLI

[PFAS] = 375 ppb

[TCE] = 1 ppm

TEST COMPETITIVI

[PFAS] = 100 ppb

[TCE] = 1 ppm



TEST CINETICI

Concentrazione GAC:

0.05 g/L - 0.1 g/L - 0.2 g/L



Tempi di campionamento

0 h - 3 h - 6 h - 24 h - 48 h - 72 h -
144 h

TEST EQUILIBRIO

Concentrazione GAC range:

da 0.02 g/L a 0.7 g/L



Tempi di campionamento

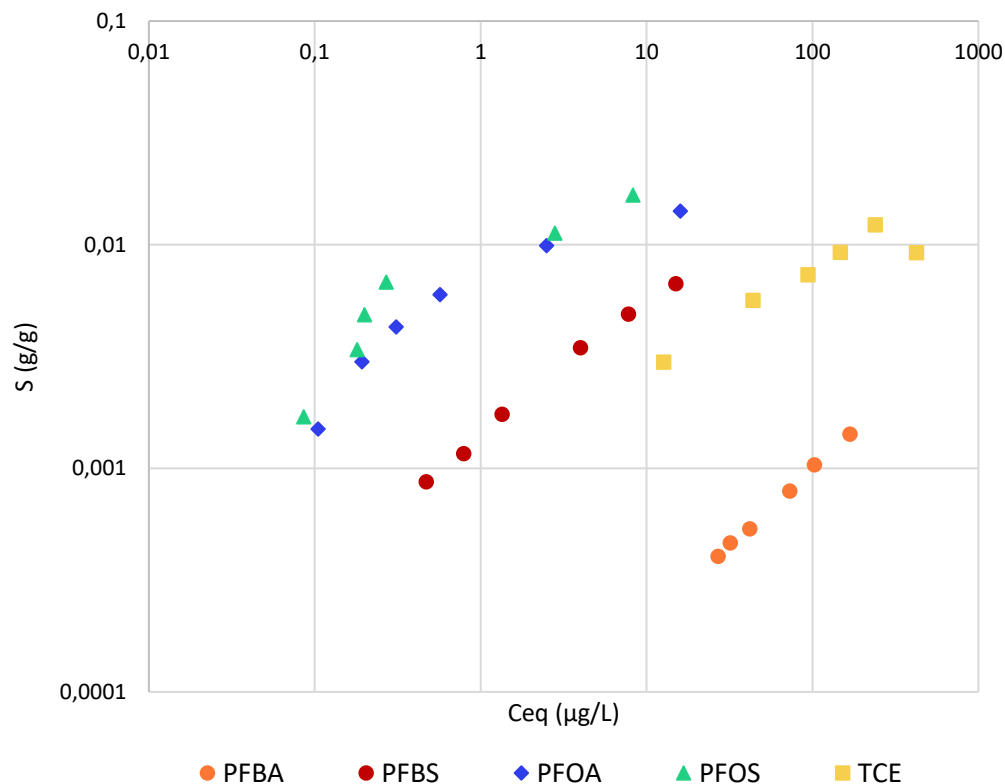
72 h - 144 h

Determinazione **costanti**
cinetiche e verifica condizione
di **equilibrio**

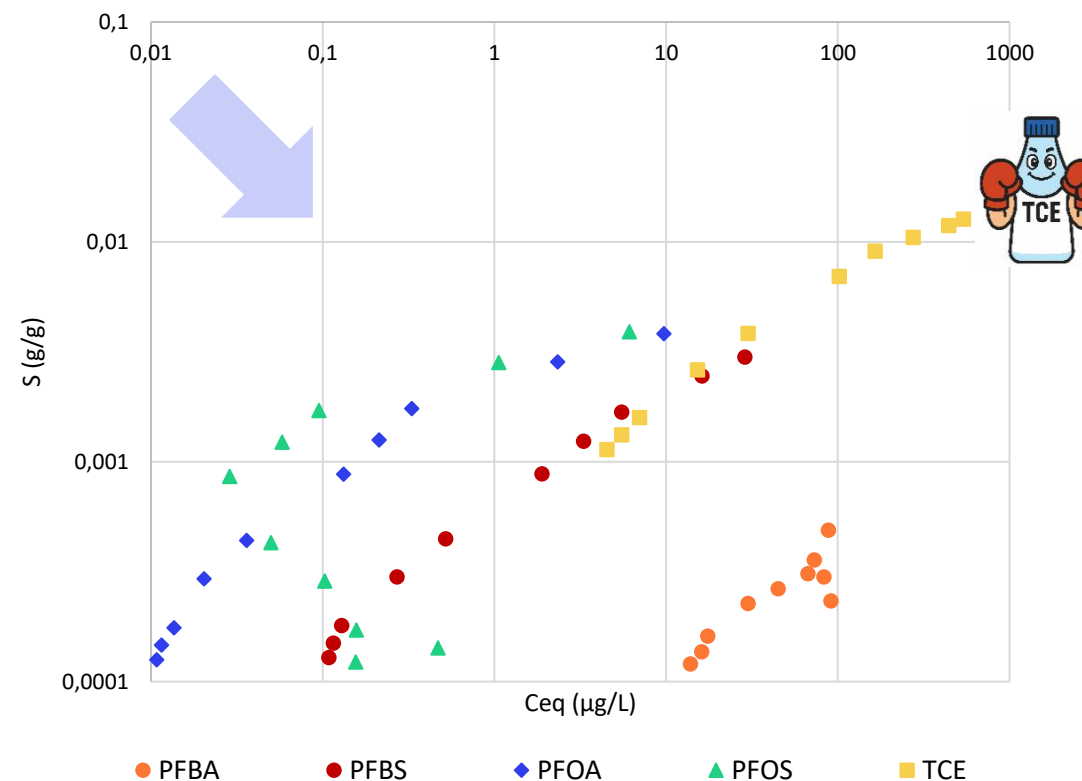
Determinazione
isoterme di
adsorbimento

Adsorbimento singolo vs competitivo

Adsorbimento singolo



Adsorbimento competitivo



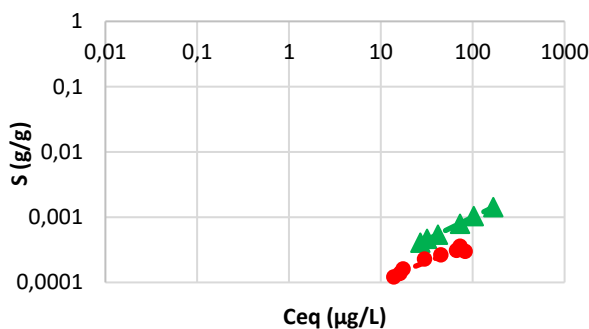
In condizioni di competizione tra contaminanti, si osserva una riduzione capacità di adsorbimento per tutti i PFAS.

Da singolo a competitivo, si osserva una riduzione sia di K_f sia di $1/n$ per tutti i PFAS analizzati. Questo evidenzia un chiaro **effetto competitivo** nel processo di adsorbimento.

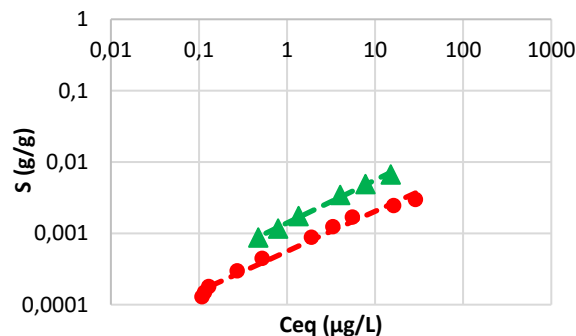
Legenda

- ▲ Singolo
- Competitivo
- Modello
- Modello

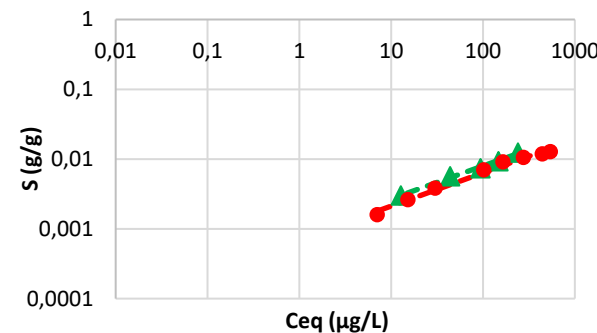
PFBA



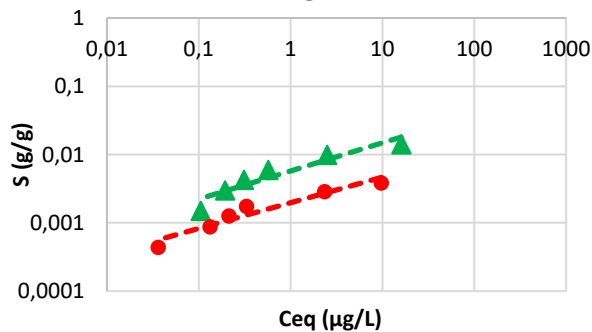
PFBS



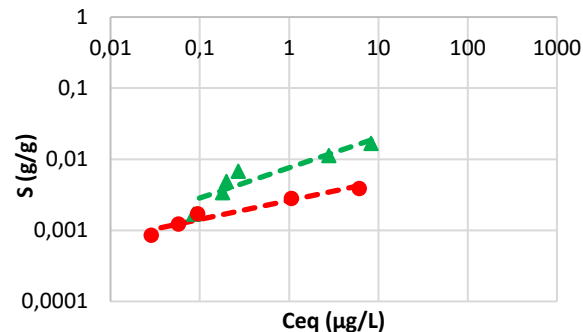
TCE



PFOA



PFOS



Modello di Freundlich

$$S = K_f \cdot C_e^{\frac{1}{n}}$$

	SINGOLO			COMPETITIVO		
	K_f [(mg/g)*(mg/L)^{-1/n}]	$1/n$ [-]	R^2	K_f [(mg/g)*(mg/L)^{-1/n}]	$1/n$ [-]	R^2
PFBA	4.86	0.689	0.99	1.68	0.543	0.99
PFBS	89.2	0.601	0.99	19.8	0.561	0.99
PFOA	98.8	0.412	0.89	26.3	0.376	0.93
PFOS	142	0.424	0.91	16.4	0.266	0.95
TCE	23.2	0.470	1.00	18.9	0.475	0.99



Decremento dei parametri



Equazioni di trasporto

$$\frac{\partial}{\partial t} (\epsilon C_i) + \frac{\partial}{\partial t} (\rho_b S_i) + \frac{\partial}{\partial x} (q_x C_i) - \frac{\partial^2}{\partial x^2} (\epsilon D C_i) = 0$$

Singolo:

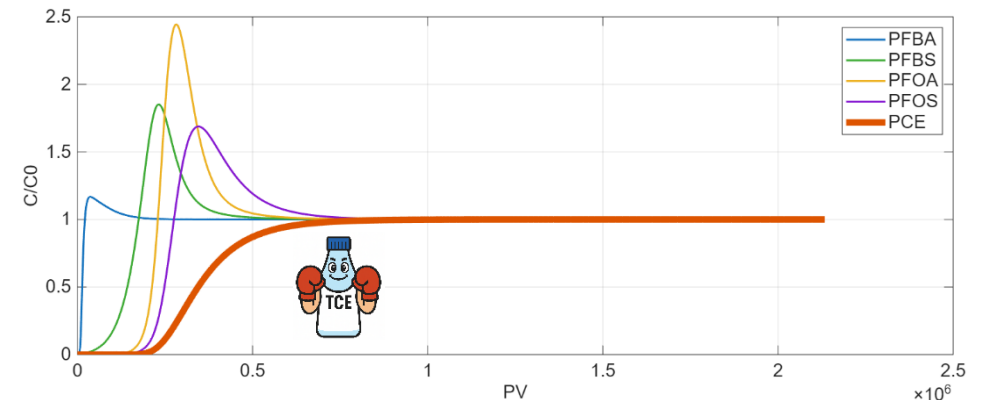
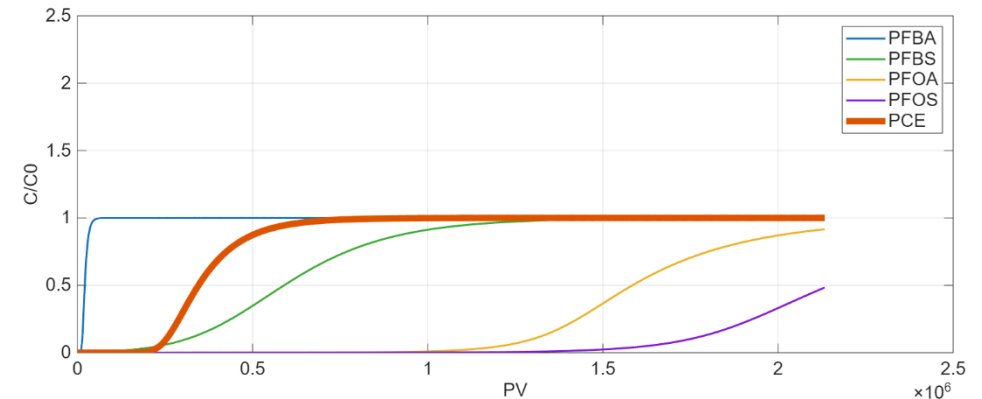
Freundlich isotherm

$$S = KC^n$$

Competitivo:

IAST multicomponent isotherm

$$C_i = \frac{S_i}{\sum_j S_j} \left(\frac{n_i}{K_i} \sum_j \frac{S_j}{n_j} \right)^{1/n_i}$$



- Capacità di rimozione monocomponente:
PFBA < TCE < PFBS < PFOA < PFOS
- La presenza di **competizione** determina un minore adsorbimento di tutti i PFAS con **una anticipazione del fronte di breakthrough e concentrazioni superiori a quelle in ingresso.**
- La **progettazione** deve tenere conto di fenomeni di competizione.
- La **modellazione multicomponente** è fondamentale per l'interpretazione dei dati sperimentali e per guidare la progettazione di **sistemi in flusso continuo.**
- L'**abbattimento dei competitors** è di fondamentale importanza per garantire longevità dei filtri.





Carlo Bianco

carlo.bianco@polito.it

Rajandrea Sethi

rajandrea.sethi@polito.it

Sanitary / Groundwater Engineering Research Group

Politecnico di Torino

<https://www.polito.it/groundwater>