



Tecnologie di abbattimento nel settore delle acque potabili – MM

19 febbraio 2025

Fabio Marelli Direttore Acquedotto e Fognatura MM

Sommario

- L'Acquedotto di Milano
- Gli impianti di potabilizzazione
- Le tecnologie di trattamento
- I Pfas – esperienze a Milano
- I carboni attivi granulari per la rimozione dei microinquinanti e dei PFAS
- PFAS Catene lunghe e corte
- Le caratteristiche del CAG
- La scelta del CAG per la rimozione dei PFAS
- La sperimentazione di MM con il Politecnico di Milano

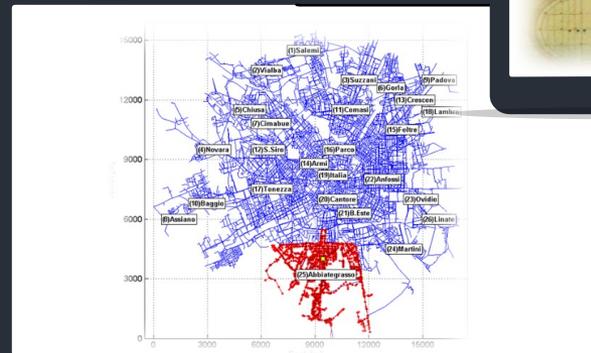


ACQUEDOTTO DI MILANO

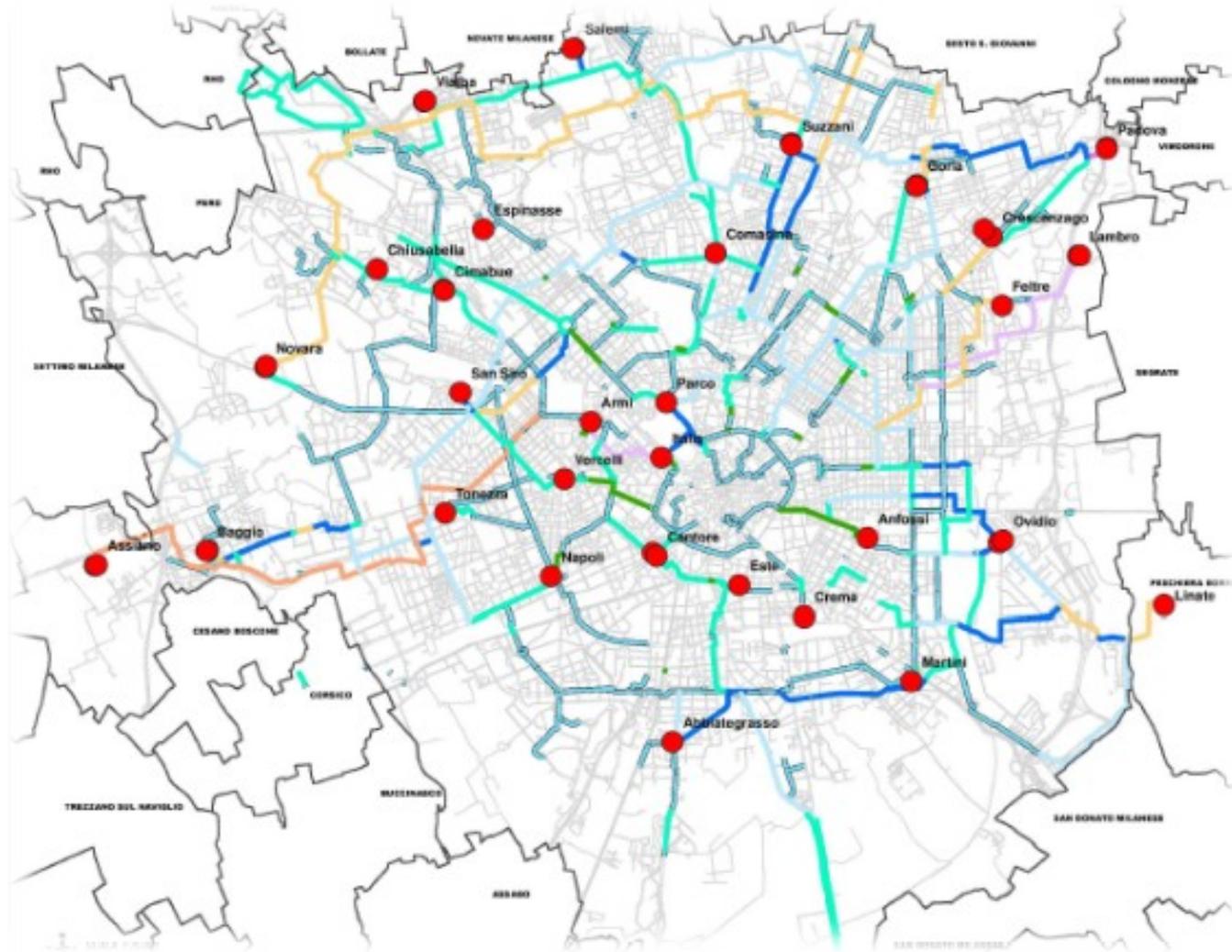
- Nasce nel 1888 con lo scopo di provvedere all'approvvigionamento idrico per tutti i cittadini, senza far più ricorso a sorgenti esterne alla città, con la falda sotterranea unica fonte di approvvigionamento.

- N°584 pozzi totali (circa 400 disponibili) profondità di emungimento da 40 a 180 m.

- Rete di distribuzione interconnessa con una lunghezza totale di 2.200 Km.
200 milioni m³ di acqua distribuita all'anno.
Popolazione servita di 2M di abitanti.



IMPIANTI DI POTABILIZZAZIONE



IMPIANTI DI POTABILIZZAZIONE

N° 28 centrali.

**N° 27 Impianti di
Trattamento:**

- 27 trattamento CAG
- 1 Trattamento con torri di strippaggio
- 1 Trattamento con osmosi inversa
- Disinfezione con ipoclorito di sodio e lampade UV

**Capacità
Trattamento da
200 a 1.500
m³/h**

**2.936
campioni
analizzati nel
2024**

**200 mln m³ acqua distribuita nel
2024**

IMPIANTI DI POTABILIZZAZIONE



PRETRATTAMENTI



1 Sedimentazione, Filtrazione grossolana.
Utilizzati per rimuovere particelle grossolane in sospensione e prevenire il danneggiamento dei successivi step di trattamento.

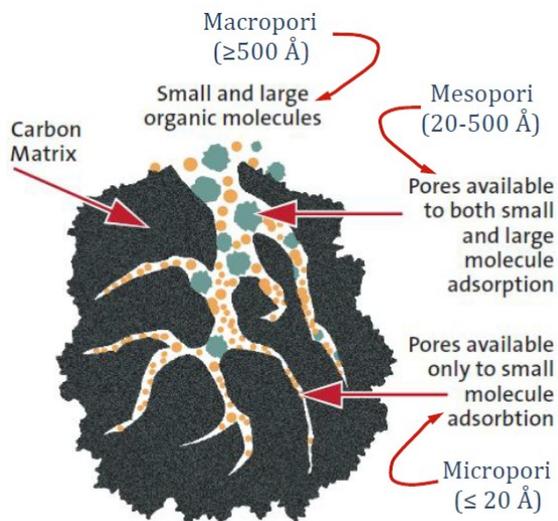
2 Filtrazione con carbone attivo.
Principale tecnologia di trattamento., utilizzata per la rimozione di COV, pesticidi, tri+tetra cloroetilene, BTEX... e PFAS.

3 Torri di aerazione, osmosi inversa.
Utilizzate per la rimozione di specifici inquinanti come cloroformio e nitrati

4 Disinfezione chimica con ipoclorito di sodio
Disinfezione fisica con lampade UV



CARBONE ATTIVO GRANULARE



Filtri in pressione

1 Sedimentazione, Filtrazione grossolana.
Utilizzati per rimuovere particelle grossolane in sospensione e prevenire il danneggiamento dei successivi step di trattamento.

2 Filtrazione con carbone attivo.
Principale tecnologia di trattamento., utilizzata per la rimozione di COV, pesticidi, tri+tetra cloroetilene, BTEX... e PFAS.

3 Tori di aerazione, osmosi inversa.
Utilizzate per la rimozione di specifici inquinanti come cloroformio e nitrati

4 Disinfesione chimica con ipoclorito di sodio
Disinfesione fisica con lampade UV

ALTRE TECNOLOGIE DI TRATTAMENTO



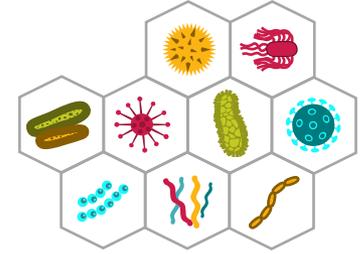
1 Sedimentation, Gross Filtration.
Used to remove gross material and to prevent damaging of the next treatment units.

2 Activated carbon filtration.
Main treatment technology, used to remove pollutants such as VOC, pesticides, tri-tetra chloroethylene, BTEX...

3 Torri di aerazione, osmosi inversa.
Utilizzate per la rimozione di specifici inquinanti come cloroformio e nitrati

4 Disinfezione chimica con ipoclorito di sodio
Disinfezione fisica con lampade UV

DISINFEZIONE



Lampade UV



Dosaggio NaClO

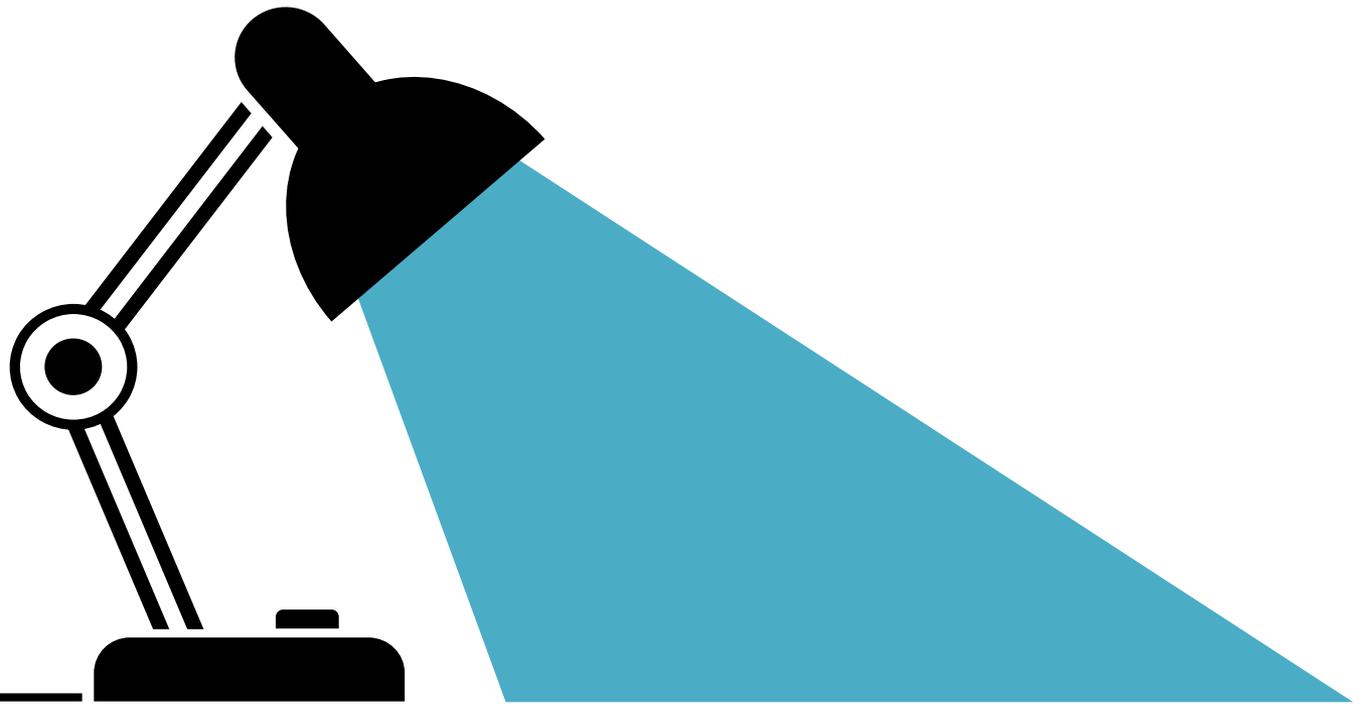
1 Sedimentation, Gross Filtration.
Used to remove gross material and to prevent damaging of the next treatment units.

2 Activated carbon filtration.
Main treatment technologies, used to remove pollutants such as VOC, pesticides, ...

3 Stripping Tower, revers osmosis.
Ad-hoc solution to remove specific pollutants ...

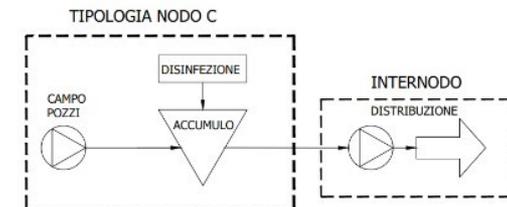
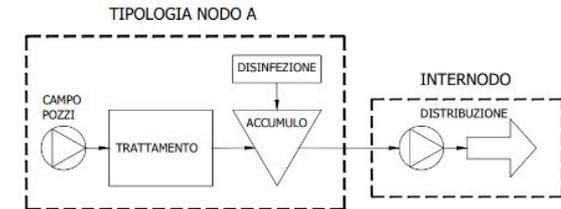
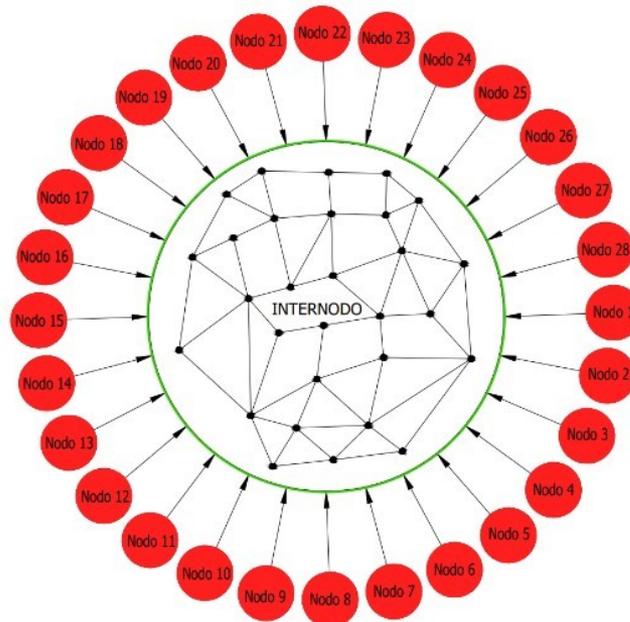
4 Disinfesione chimica con ipoclorito di sodio
Disinfezione fisica con lampade UV

PFAS Tecnologie di Rimozione



PFAS – esperienze a Milano

NODO	CENTRALE POZZI	TIPOLOGIA NODO	
1	Centrale Abbiategrosso	A	
2	Centrale Anfossi		
3	Centrale Armi		
4	Centrale Assiano		
5	Centrale Bagglo		
7	Centrale Cantore		
8	Centrale Chlusabella		
9	Centrale Cimabue		
10	Centrale Comasina		
12	Centrale Crescenzago		
14	Centrale Feltrè		
15	Centrale Gorla		
16	Centrale Italla		
17	Centrale Lambro		
18	Centrale Linate		
19	Centrale Martini		
20	Centrale Novara		
21	Centrale Ovidio		
22	Centrale Padova		
23	Centrale Parco		
24	Centrale Salemi		
25	Centrale San Siro		
26	Centrale Suzzani		
27	Centrale Tonezza		
28	Centrale Vialba		
6	Centrale Bicocca		B
11	Centrale Bruzzano		B
13	Centrale Este		C



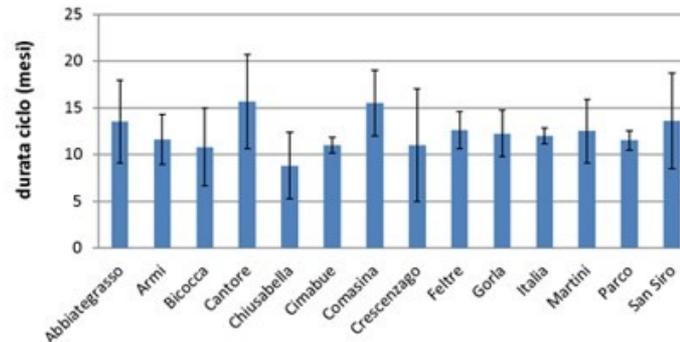
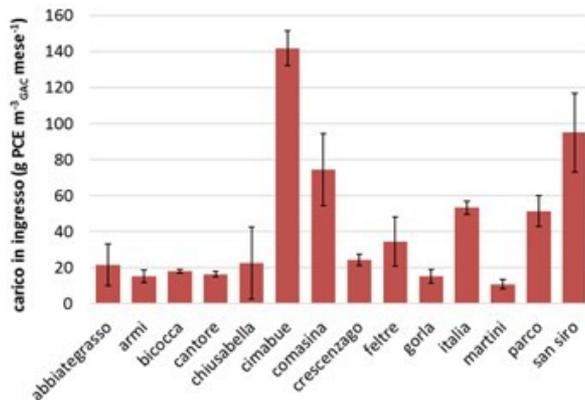
Frequenze di rigenerazione CAG

- **Prassi ordinaria:** rigenerazione del carbone attivo esausto con reintegro con carbone attivo vergine in funzione della perdita in massa durante il processo rigenerativo
- Fino ad (almeno) **10 cicli di rigenerazione** prima di una sostituzione completa con carbone vergine
- Storicamente: GAC di origine **minerale**, ma da alcuni anni in alcune centrali si sta usando anche GAC **vegetale** con prestazioni migliori sui microinquinanti presenti in falda
- Rigenerazione **esclusivamente termica**, senza aggiunta di sostanze chimiche
- Fornitura di carbone attivo umido, già pre-lavato, per velocizzare le operazioni di movimentazione e garantire acque di controlavaggio nei limiti per lo scarico in corpo idrico superficiale

Frequenze di rigenerazione CAG

Qualche dato sul funzionamento degli impianti GAC

Inquinante prevalente: **PCE** → Nella maggior parte delle centrali il PCE è il composto limitante per la gestione ordinaria visto il limite normativo di riferimento (**10 µg/L** come somma di PCE e TCE, tricloroetilene)



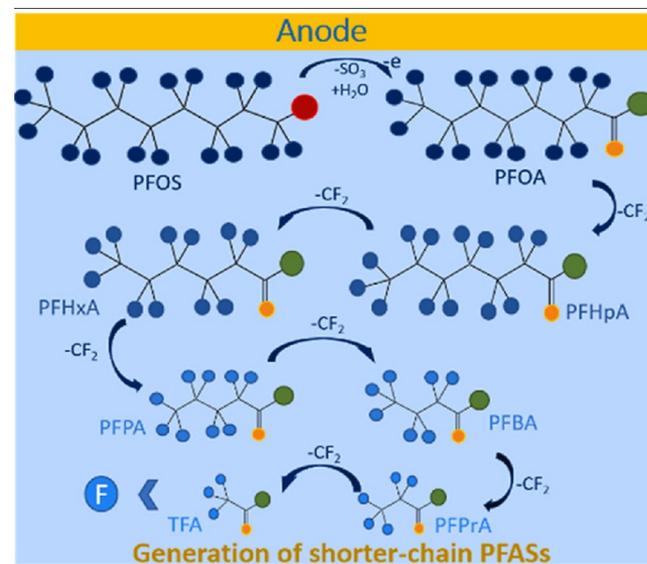
Necessità di continuità di fornitura e cautele rispetto a possibili non conformità portano talvolta a rigenerare prima di aver effettivamente raggiunto il breakthrough



- Rigenerazione mediamente ogni anno: 12 ± 3 mesi
- 50% dei valori compreso tra 10 e 13 mesi

PFAS – Catene lunghe - corte

1. Acido perfluorobutanoico (PFBA): 4 atomi di carbonio.
2. Acido perfluoropentanoico (PFPeA): 5 atomi di carbonio.
3. Acido perfluoroesanoico (PFHxA): 6 atomi di carbonio.
4. Acido perfluoroeptanoico (PFHpA): 7 atomi di carbonio.
5. Acido perfluorooottanoico (PFOA): 8 atomi di carbonio.
6. Acido perfluorononanoico (PFNA): 9 atomi di carbonio.
7. Acido perfluorodecanoico (PFDA): 10 atomi di carbonio.
8. Acido perfluoroundecanoico (PFUnDA): 11 atomi di carbonio.
9. Acido perfluorododecanoico (PFDoDA): 12 atomi di carbonio.
10. Acido perfluorotridecanoico (PFTrDA): 13 atomi di carbonio.
11. Acido perfluorobutanossolfonico (PFBS): 4 atomi di carbonio.
12. Acido perfluoropentansolfonico (PFPeS): 5 atomi di carbonio.
13. Acido perfluoroesansolfonico (PFHxS): 6 atomi di carbonio.
14. Acido perfluoroeptansolfonico (PFHpS): 7 atomi di carbonio.
15. Acido perfluorooottansolfonico (PFOS): 8 atomi di carbonio.
16. Acido perfluoronansolfonico (PFNS): 9 atomi di carbonio.
17. Acido perfluorodecansolfonico (PFDS): 10 atomi di carbonio.
18. Acido perfluoroundecansolfonico: 11 atomi di carbonio.
19. Acido perfluorododecansolfonico: 12 atomi di carbonio.
20. Acido perfluorotridecansolfonico: 13 atomi di carbonio.
21. Acido 2,3,3,3-tetrafluoro-2-(eptaffluoropropossi)propanoico (HFPO-DA o GenX): 6 atomi di carbonio.
22. Acido dodecafluoro-3H-4,8-diossanonanoico (ADONA): 9 atomi di carbonio.
23. Fluorotelomero solfonato (6:2 FTS): 6 atomi di carbonio nella catena perfluoroalchilica.
24. Acido difluoro[[2,2,4,5-tetrafluoro-5-(trifluorometossi)-1,3-diossolan-4-yl]ossi]acetico (C6O4): 6 atomi di carbonio.



PFAS – Le caratteristiche del CAG

× Parametri caratterizzanti la matrice:

- contenuto di ceneri,
- durezza,
- densità,
- distribuzione granulometrica (D_{10} , CU),
- indice di iodio, indice di blu di metilene,
- superficie specifica, volume e distribuzione delle porosità,
- analisi cristallografiche (SEM, XRD)

× Parametri indicatori di prestazioni:

- parametri delle isoterme di adsorbimento,
- parametri derivanti da prove in colonna

× Parametri per la verifica della messa in esercizio e il monitoraggio di operatività:

- parametri di test di lisciviazione,
- parametri di qualità dell'acqua trattata,
- permeabilità del letto

PFAS – La scelta del CAG

1. SELEZIONE DELLE TIPOOGIE DI GAC PIU' INDICATE

- Un'indagine tra i fornitori di carbone attivo, unitamente all'analisi critica dei parametri caratterizzanti, consentono di selezionare alcune tipologie di carbone attivo potenzialmente adeguate per la rimozione degli inquinanti di interesse.

2. ESECUZIONE DI ISOTERME DI ADSORBIMENTO

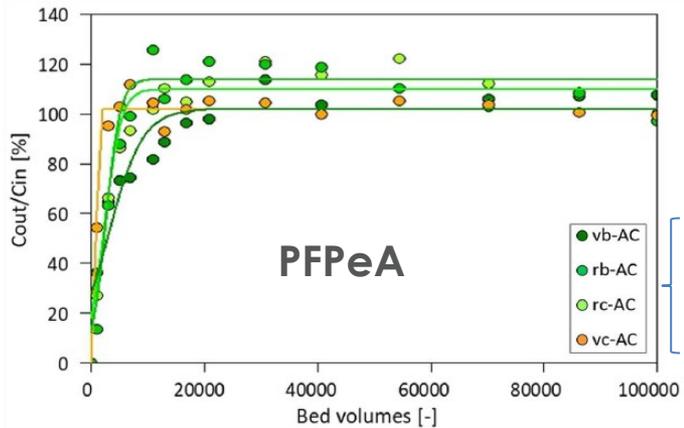
- Vanno eseguite isoterme di adsorbimento utilizzando la matrice acquosa da trattare, al fine di stimare i parametri dell'isoterma di Freundlich.
- E' opportuno procedere preliminarmente alla valutazione, seppur approssimativa, della cinetica del processo, per definire correttamente il tempo di equilibrio per l'esecuzione delle isoterme.
- Il confronto dei parametri di isoterma permetta di scegliere il GAC più idoneo.

3. ESECUZIONE DI PROVE IN COLONNA

- Il GAC ritenuto più promettente può essere utilizzato in prove in colonna per stimare il tempo di esaurimento, oltre che l'instaurarsi di fenomeni competitivi significativi in condizioni lontane dalle condizioni di equilibrio.



PFAS – Politecnico di Milano



vb – rb
minerale
vc – rv
vegetale

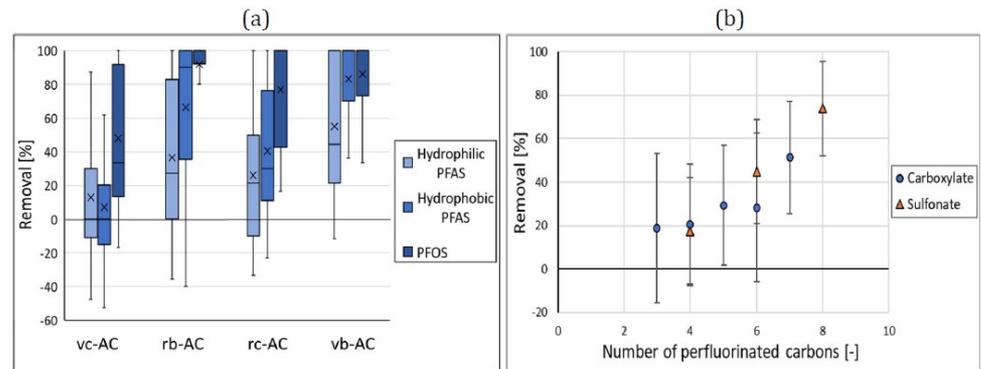
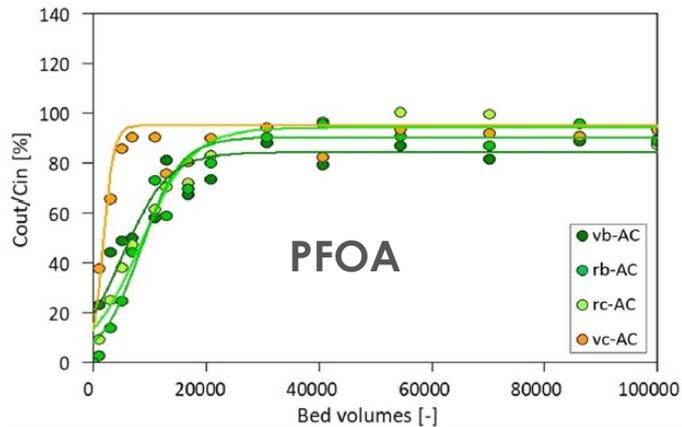
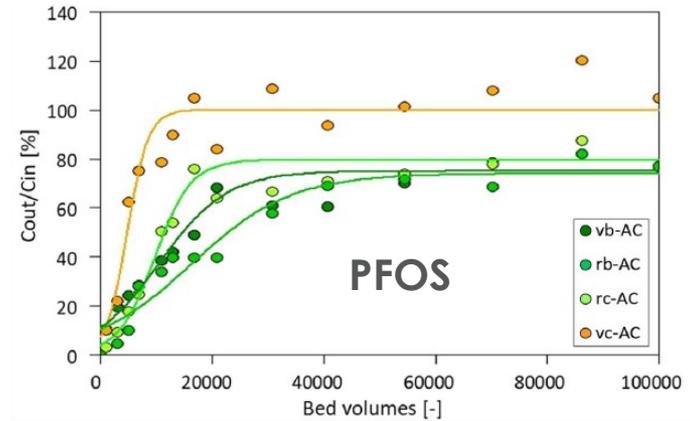


Figure 6. Full-scale PFAS removal as a function of: (a) AC type and PFAS group, (b) number of fluorinated carbons in each compound and functional group in the PFAS molecule.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE



f.marelli@mmspa.eu